

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE**

WELLINGTON NUNES DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA PAISAGEM DA BACIA
HIDROGRÁFICA E DO RESERVATÓRIO DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE**

GOIÂNIA – GO

2013



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Wellington Nunes de Oliveira		
E-mail:	wellington.wno@gmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	☒ Sim	☐ Não	
Vínculo empregatício do autor	Bolsista		
Agência de fomento: Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais	Sigla:	Reuni	
País:	Brasil	UF:	GO
		CNPJ:	
Título:	Avaliação da Qualidade Ambiental da Paisagem da Bacia Hidrográfica e do Reservatório do Ribeirão João Leite		
Palavras-chave:	Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite, Geoprocessamento, Produção de Sedimentos, SWAT		
Título em outra língua:	Environmental Quality Assessment on Landscape of Basin and Reservoir of João Leite Stream		
Palavras-chave em outra língua:	João Leite Stream Watershed, Geoprocessing, Sediment Production, SWAT		
Área de concentração:	Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	09/07/2013		
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pós-Graduação <i>Stricto Sensu</i> em Engenharia do Meio Ambiente		
Orientador (a):	Nilson Clementino Ferreira		
E-mail:	nclferreira@gmail.com		
Co-orientador (a):*			
E-mail:			

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.


Assinatura do (a) autor (a)

Data: 06/08/2013

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE**

WELLINGTON NUNES DE OLIVEIRA

**AValiação da Qualidade Ambiental da Paisagem da Bacia
Hidrográfica e do Reservatório do Ribeirão João Leite**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira

GOIÂNIA – GO

2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

Oliveira, Wellington Nunes de.
O428a Avaliação da qualidade ambiental da paisagem da bacia hidrográfica e do reservatório do Ribeirão João Leite [manuscrito] / Wellington Nunes de Oliveira. – 2013
179 f.: il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2013.
Bibliografia.
Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.
Apêndice.

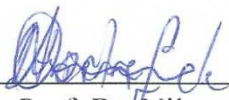
1. João Leite, Ribeirão – Bacia hidrográfica. 2. João Leite, Ribeirão – Geoprocessamento. 3. Sedimentos, produção de. I. Título.

CDU: 556.18(817.3)

WELLINGTON NUNES DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA PAISAGEM DA BACIA
HIDROGRÁFICA E DO RESERVATÓRIO DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE**

Dissertação defendida e aprovada no Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do título de Mestre, em 09 de Julho de 2013, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:



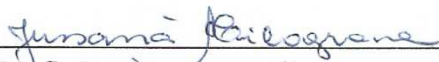
Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira (UFG)
Orientador



Prof. Dr. Alexandre Kepler Soares (UFG)
Examinador interno



Prof. Dr. José Vicente Granato de Araújo (UFG)
Examinador interno



Prof.ª Dra. Jussanã Milograna (IFG)
Examinadora externa

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares, amigos, e a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para o meu crescimento pessoal e profissional nessa etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado do apoio e da colaboração de diversas pessoas e instituições. Assim, agradeço profunda e sinceramente:

Aos meus familiares, pelo o apoio e incentivo que sempre me deram para que eu sempre prosseguisse com meus estudos, buscando assim meu aperfeiçoamento pessoal e profissional;

Ao professor Nilson Clementino Ferreira pela orientação, confiança depositada e pela oportunidade de crescimento profissional ao longo do desenvolvimento deste trabalho;

Um agradecimento especial ao sempre prestativo professor Alexandre Kepler Soares pelo grande auxílio prestado no desenvolvimento deste trabalho;

À Universidade Federal de Goiás (UFG) e, em especial, ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) juntamente com todo o quadro de professores pela oportunidade de aprimoramento profissional.

Um agradecimento aos colegas de mestrado que de alguma maneira ou outra me auxiliaram nessa jornada, e um mais que especial para a “Turma da Drenagem Urbana” Ana Seibt, Marcos Carvalho, Fernanda Posch, e ao grande companheiro Anselmo Claudino, que tanto me ajudou nesse trabalho, e por falar em companheirismo não poderia deixar de agradecer aos meus mais que colegas do geoprocessamento Victor Tomaz e Natalia Lino por todo apoio concedido nesse período;

Ao colega Aldrei Marucci por todo auxílio prestado juntamente com os professores da Universidade de Brasília (UNB) Ricardo Minoti, Sérgio Koide e da aluna Sara Ferrigo pelo curso básico de SWAT oferecido pela instituição;

Um agradecimento muito especial à Jéssika Rodrigues pelo apoio e companheirismo;

À Empresa Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO) e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) por fornecer dados e informações necessárias a realização deste trabalho;

Agradeço também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo auxílio financeiro (Projeto 20101026700092) juntamente com o Ministério da Educação (MEC) pelo fornecimento da Bolsa Reuni;

Aos membros que compõe a banca examinadora e de maneira geral a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

RESUMO

A análise do uso e cobertura do solo é uma das etapas fundamentais para realização do planejamento estratégico de conservação e manejo de uma bacia hidrográfica. Este trabalho tem por objetivo analisar a paisagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite localizada no estado de Goiás a noroeste da cidade de Goiânia, utilizando ferramentas de geoprocessamento como Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto com intuito de fornecer subsídios para gerar um diagnóstico ambiental da mesma. Em uma análise multitemporal realizada com imagens do satélite TM/Landsat-5 entre os anos de 1985 e 2011 demonstrou que na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite houve um decréscimo na área de remanescentes de vegetação nativa de 7,4% e que dentre os municípios que compõe a bacia, Anápolis foi o que mais apresentou supressão dessas áreas (11,1%). O resultado dessa análise merece atenção das instituições que tratam da gestão ambiental já que a degradação dessa vegetação influencia diretamente na qualidade ambiental da paisagem da bacia. Esse estudo possibilitou ainda a avaliação de diferentes cenários na estimativa de produção de sedimentos na bacia e no reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite utilizando o modelo hidrossedimentológico SWAT, o qual demonstrou que dentre os cenários propostos o cenário contendo a vegetação nativa como uso e cobertura do solo predominante apresentou um menor valor na estimativa da produção de sedimentos na bacia. Ainda sobre a estimativa da produção de sedimentos foram utilizadas imagens dos satélites PRISM/ALOS e TM/Landsat-5 com resoluções espaciais respectivamente de 2,5 e 30 metros, o resultado dessa estimativa entre as duas simulações demonstrou que a mesma ocorreu de forma distribuída na bacia, sendo que os maiores valores se encontraram praticamente nas mesmas sub-bacias, o que demonstrou que a variação entre os resultados foi mínima.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite; Geoprocessamento; Produção de Sedimentos; SWAT.

ABSTRACT

The land use and cover analysis is one fundamental phase for performing the strategic planning on conservation and management of a watershed. This study aims to analyze the landscape of João Leite stream watershed, located in the Goiás state, on northwest of the Goiânia city, by using geoprocessing tools, as Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing, in order to provide input to generate a environmental diagnosis. In an analysis performed using multitemporal satellite images TM/Landsat-5 between the years 1985 to 2011 showed that in watershed of João Leite stream occurred a decrease in the area of remnant native vegetation in 7,4%. Among municipalities that compose the watershed, Anápolis had the most suppression of these areas (11.1%). The results of this analysis can be used by sectors dealing with environmental management because the vegetation degradation has direct influences the environmental quality of the watershed landscape. This study also permitted an evaluation of different scenarios in estimating sediments production in the reservoir supply and João Leite stream watershed using the hydrosedimentological SWAT model, which showed that among the proposed scenarios, when occur the preservation and recovering the native vegetation, also occur a lower value in sediment production in the watershed. Concerning the estimation of sediment production was also used PRISM/ALOS and TM/Landsat-5 satellite images with spatial resolutions respectively of 2,5 and 30 meters, the result of this estimate considering the two simulations showed that it occurred proportionally in the watershed, and the highest values were found almost in the same sub-basins, which demonstrated that the variation between the results was minimal.

Keywords: João Leite Stream Watershed; Geoprocessing; Sediments Production; SWAT.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO GERAL	22
OBJETIVO GERAL	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
QUESTÕES DE PESQUISA	24
ASPECTOS GERAIS SOBRE O FORMATO DESTE MANUSCRITO	25
CAPITULO I: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
1.1 - PAISAGEM	26
1.2 - BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO	27
1.3 - RESERVATÓRIO	28
1.4 - HIDROSEDIMENTAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	29
1.5 - MODELOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS	30
1.5.1 - Modelo <i>Soil and Water Assessment Tool</i> – SWAT	32
1.5.2 - ArcSWAT.....	38
1.6 - GEOPROCESSAMENTO E SIG	38
1.7 - SENSORIAMENTO REMOTO	41
1.8 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	43
CAPITULO II: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE.....	44
2.1 - LOCALIZAÇÃO.....	44
2.2 - CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS	46
2.3 - CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	48
2.3.1 - Solos.....	49
2.3.1.1 - Argissolos (PVA)	50

2.3.1.2 – Cambissolos (Cx)	51
2.3.1.3 - Gleissolos (Gj)	51
2.3.1.4 - Latossolos (LVe)	52
2.3.2 - Uso e cobertura do solo	52
2.3.3 - Relevo	53
2.3.4 - Ocupação na bacia	55
2.3.5 - Clima	67
2.4 - CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA	68
2.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71

CAPITULO III: AVALIAÇÃO MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT-5..... 73

3.1 - INTRODUÇÃO	73
3.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	74
3.3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
3.4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	86

CAPITULO IV: SIMULAÇÃO HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA E DO RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE UTILIZANDO O MODELO SWAT..... 87

4.1 - INTRODUÇÃO	87
4.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	88
4.2.1 - Sistemas computacionais	90
4.2.2 - Construção da base de dados	90
4.2.2.1 - Modelo digital de elevação.....	90
4.2.2.2 - Imagens de satélite	91
4.2.2.3 - Uso e cobertura do solo.....	91
4.2.2.4 - Solos.....	94
4.2.2.4.1 - Grupos hidrológicos	95

4.2.2.4.2 – Curva Número	98
4.2.2.4.3 - Fator K (USLE_K).....	99
4.2.2.4.4 - Características granulométricas e texturais do solo	100
4.2.2.5 - Parâmetros climáticos.....	105
4.2.2.5.1 - Temperatura no ponto de orvalho.....	107
4.2.2.5.2 - Radiação solar	108
4.2.2.5.3 - Estimativas de precipitação.....	109
4.2.3 - Determinação das unidades de resposta hidrológica - HRU's.....	113
4.2.4 - Simulações.....	115
4.2.4.1 - Simulação de cenários.....	115
4.2.5 - Período de aquecimento do modelo	116
4.2.6 - Análise de sensibilidade	117
4.2.7 - Calibração/validação do modelo	118
4.3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	119
4.3.1 - Resultados gerados pelo modelo SWAT	119
4.3.2 - Subdivisões da bacia	120
4.3.3 - Aplicação do modelo	123
4.3.3.1 - Ajustes	123
4.3.3.2 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos na bacia em diferentes cenários	127
4.3.3.2.1 - Cenário 1- Paisagem com uso e cobertura do solo atual	127
4.3.3.2.2 - Cenário 2 - Paisagem com uso e cobertura do solo obedecendo ao Código Florestal Brasileiro - Áreas de Preservação Permanente - APP's preservadas.....	128
4.3.3.2.3 - Cenário 3 - Paisagem com uso e cobertura do solo contendo APP's mais restritivas (200 metros) e preservadas	129
4.3.3.2.4 - Cenário 4 - Paisagem com Uso e cobertura do solo contendo Agricultura Genérica.....	130
4.3.3.2.5 - Cenário 5 - Paisagem com uso e cobertura do solo contendo Pastagem	131

4.3.3.2.6 - Cenário 6 - Paisagem com uso e cobertura original do solo - ocupação hipotética da bacia com Vegetação Nativa	132
4.3.3.2.7 - Comparativo da estimativa de produção de sedimentos entre os cenários propostos	133
4.3.3.2.8 - Estimativa de produção e aporte de sedimentos no reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite	137
4.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	139
 CAPITULO V: AVALIAÇÃO DO USO DE IMAGENS OBTIDAS PELOS SENSORES TM - LANDSAT-5 E PRISM - ALOS NA SIMULAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE.....	
5.1 - INTRODUÇÃO	141
5.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	142
5.2.1 - Aquisição e processamento de dados para análise multi-resolução da bacia	143
5.2.2 - Construção da base de dados para a modelagem hidrossedimentológica	145
5.2.3 - Uso e Cobertura do Solo	145
5.2.4 - Determinação das Unidades de Resposta Hidrológica - HRU's	145
5.2.5 - Simulações.....	146
5.2.6 - Calibração/Validação do modelo	146
5.3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	147
5.3.1 - Resultado da análise multi-resolução na bacia.....	147
5.3.2 - Resultados gerados pelo modelo SWAT	151
5.3.2.1 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos na bacia utilizando imagens TM/Landsat-5 e PRISM/ALOS	151
5.3.2.1.1 - Simulação utilizando imagens TM/Landsat-5	151
5.3.2.1.2 - Simulação – PRISM/ALOS	152
5.3.2.1.3 – Comparativo da estimativa de produção de sedimentos entre as simulações.....	153
5.4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
 CAPITULO VI: OBSERVAÇÕES FINAIS	 159

6.1 - PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES SOBRE O TEMA ABORDADO.....	159
6.2 - QUESTÕES DE PESQUISA REVISITADAS	160
6.3 - OPORTUNIDADES PARA NOVOS ESTUDOS.....	162
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	164
APÊNDICE	175

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1.1 - Origem do modelo SWAT	33
FIGURA 1.2 - Fluxograma de processamento do SWAT.....	35
FIGURA 1.3 - Fluxograma dos processos de execução do modelo SWAT.....	36
FIGURA 1.4 - Esquema de entrada e saída de dados e informações em um SIG.....	40

CAPÍTULO II

FIGURA 2.1 - Localização da área de estudo	45
FIGURA 2.2 - Delimitação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite e a localização de seus corpos d'água.....	47
FIGURA 2.3 - Tipos de vegetação do bioma Cerrado	48
FIGURA 2.4 - Mapa de tipo de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	50
FIGURA 2.5 - Mapa de uso cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite	53
FIGURA 2.6 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	54
FIGURA 2.7 - Pontos amostrais da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	55
FIGURA 2.8 - Assoreamento no Córrego Pedreira e Drenagem Pluvial no local	56
FIGURA 2.9 - Assoreamento no Córrego Pedreira e Drenagem Pluvial no local	56
FIGURA 2.10 - BR 060/153	56
FIGURA 2.11 - Área alagada da Barragem do Ribeirão João Leite	57
FIGURA 2.12 - Pastagem e agricultura as margens da BR 060/153	57
FIGURA 2.13 - GO-466.....	58
FIGURA 2.14 - Vegetação existente em alguns corpos d'água	58
FIGURA 2.15 - Ribeirão João Leite a montante da barragem	59
FIGURA 2.16 - Local de despejo de terra de Olarias	59
FIGURA 2.17 - Córrego afluente do Ribeirão João Leite.....	60
FIGURA 2.18 - Área de pastagem	60
FIGURA 2.19 - Cultura de cana de açúcar.....	61

FIGURA 2.20 - GO-333.....	61
FIGURA 2.21 - Perímetro urbano da cidade de Anápolis.....	62
FIGURA 2.22 - Pastagem em local de declividade acentuada.....	62
FIGURA 2.23 - Faixa em processo de urbanização e olarias na cidade de Anápolis	63
FIGURA 2.24 - Faixa em processo de urbanização e olarias na cidade de Anápolis	63
FIGURA 2.25 - Córrego visivelmente degradado.....	63
FIGURA 2.26 - Frigorífico em Anápolis	64
FIGURA 2.27 - Olaria	64
FIGURA 2.28 - Perímetro Urbano da Cidade de Anápolis.....	65
FIGURA 2.29 - Área de pastagem presente no Município de Anápolis	65
FIGURA 2.30 - Córrego Jurubatuba	66
FIGURA 2.31 - Área de pastagem em contraste com área de vegetação preservada	66
FIGURA 2.32 - Áreas de pastagem e cultura.....	67
FIGURA 2.33 - Distribuição da precipitação pluvial média mensal (1973/2006) na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite	68
FIGURA 2.34 - População dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	69
FIGURA 2.35 - IDH-Municipal, Renda, Educação e Longevidade dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	69
FIGURA 2.36 - Efetivo de aves, bovinos e suínos nos municípios localizados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (2004).....	70
FIGURA 2.37 - Área (ha) destinada à produção agrícola (2007) dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite	71

CAPÍTULO III

FIGURA 3.1 - Fluxograma de atividades realizadas.....	74
FIGURA 3.2 - Uso e cobertura do solo bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite de 1985..	78
FIGURA 3.3 - Uso e cobertura do solo bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite de 2011..	79
FIGURA 3.4 - Representação do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	80

FIGURA 3.5 - Cálculo da Área de Preservação Permanente na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite entre 1985 e 2011	83
FIGURA 3.6 - Delimitação da Área de Preservação Permanente (APP) de 200 metros sob a drenagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	84
FIGURA 3.7 - Áreas de Preservação Permanente sem cobertura vegetal nativa contida na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite no ano de 2011	85

CAPÍTULO IV

FIGURA 4.1 - Fluxograma de atividades realizadas.....	89
FIGURA 4.2 - Uso cobertura do solo Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite de 2011	92
FIGURA 4.3 - Janela de escolha dos usos dos solos.....	93
FIGURA 4.4 - Uso e cobertura do solo reclassificado	94
FIGURA 4.5 - Triângulo de Classificação Textural	102
FIGURA 4.6 - Janela de entrada de dados de classes de solos	104
FIGURA 4.7 - Solos reclassificados	104
FIGURA 4.8 - Valor médio da precipitação anual na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite para o ano de 2012.....	106
FIGURA 4.9 - Janela de entrada dos dados climáticos no SWAT.....	112
FIGURA 4.10 - Janela de entrada de dados meteorológicos.....	113
FIGURA 4.11 - Janela para determinação de HRU's	114
FIGURA 4.12 - Janela de simulação no ArcSWAT com definição do período de aquecimento do modelo	117
FIGURA 4.13 - Delimitação das Sub-bacias da bacia do Ribeirão João Leite.....	121
FIGURA 4.14 - Relatório da bacia e sub-bacias (sub-bacia 1) do Ribeirão João Leite.....	122
FIGURA 4.15 - Relatório topográfico da bacia e sub-bacias do Ribeirão João Leite	122
FIGURA 4.16 - Comparativo entre vazões simuladas (sem calibração) e observadas entre 1992 e 2007	123
FIGURA 4.17 - Dados plotados de vazão observada e vazão ajustada após a calibração	127
FIGURA 4.18 - Dados plotados de vazão observada e vazão ajustada após a calibração(validação).....	128

FIGURA 4.19 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos para o cenário contendo uso e cobertura do solo atual da bacia	128
FIGURA 4.20 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos da bacia para o cenário contendo uso e cobertura do solo obedecendo ao Código Florestal Brasileiro	129
FIGURA 4.21 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos da bacia para o cenário contendo uso e cobertura do solo com APP de 200 metros.....	130
FIGURA 4.22 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos na bacia para o cenário contendo uso e cobertura do solo contendo agricultura genérica na bacia.....	131
FIGURA 4.23 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos na bacia para o cenário contendo uso e cobertura do solo contendo pastagem.....	132
FIGURA 4.24 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos na bacia para o cenário contendo uso e cobertura do solo como vegetação nativa	133
FIGURA 4.25 - Estimativa de produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	135
FIGURA 4.26 - Distribuição espacial geral da estimativa de produção de sedimentos na bacia para os cenários propostos.....	136

CAPÍTULO V

FIGURA 5.1 - Fluxograma de atividades realizadas.....	143
FIGURA 5.2 - Mapa do uso e cobertura do solo obtido da classificação da imagem TM/Landsat-5 de 2009	147
FIGURA 5.3 - Mapa do uso e cobertura do solo obtido da classificação da imagem PRISM/ALOS de 2009.....	148
FIGURA 5.4 - Representação das áreas classificadas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	149
FIGURA 5.5 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos para a simulação utilizando imagens TM/Landsat-5.....	152
FIGURA 5.6 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos para a simulação utilizando imagens ALOS/PRISM	153
FIGURA 5.7 - Estimativa de produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	154
FIGURA 5.8 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos na bacia para as diferentes simulações.....	155

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I

QUADRO 1.1 - Trabalhos acadêmicos utilizando o modelo SWAT.....	36
QUADRO 1.2 - Exemplos de análises espaciais típicas de um SIG	40

CAPÍTULO II

QUADRO 2.1 - Características morfométricas da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	46
QUADRO 2.2 - Distribuição da área dos municípios na bacia do Ribeirão João Leite.....	68

CAPÍTULO III

QUADRO 3.1 - Valor das áreas (%) classificadas entre os anos de 1985 e 2011	79
QUADRO 3.2 - Uso e cobertura do solo das áreas dos municípios contidas na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite	81

CAPÍTULO IV

QUADRO 4.1 - Analogia entre o uso do solo da bacia e o banco de dados do SWAT.....	93
QUADRO 4.2 - Grupos hidrológicos	96
QUADRO 4.3 - Enquadramento dos tipos de solos aos grupos hidrológicos.....	97
QUADRO 4.4 - Descrição dos parâmetros de solos exigidos pelo modelo SWAT.....	98
QUADRO 4.5 - Classificação granulométrica do solo.....	100
QUADRO 4.6 - Densidade aparente do solo.....	101
QUADRO 4.7 - Localização da estação meteorológica	105
QUADRO 4.8 - Parâmetros climáticos calculados a partir dos dados da estação climática de Goiânia-GO	112
QUADRO 4.9 - Descrição dos parâmetros e ranking de cada uma das variáveis após a realização da Análise de Sensibilidade do modelo SWAT	124
QUADRO 4.10 - Ajuste dos parâmetros posterior a calibração.....	125
QUADRO 4.11 - Estimativa da produção de sedimentos para todos os cenários.....	134
QUADRO 4.12 - Estimativa da produção de sedimentos das áreas de contribuição direta para o reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite	138

CAPÍTULO V

QUADRO 5.1 – Classificação entre imagens dos sensores TM (satélite Landsat-5) e PRISM (satélite ALOS) no ano de 2009	149
QUADRO 5.2 - Resultado da aplicação do Índice Kappa	150
QUADRO 5.3 - Índice Kappa e o correspondente conceito do desempenho da classificação	150
QUADRO 5.4 - Estimativa da produção de sedimentos para as simulações	154
QUADRO 5.5 - Estimativa da produção anual de sedimentos das áreas de contribuição direta para o reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite	156

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ALOS	Advanced Land Observing Satellite
Alpha_Bf	Fator alfa do fluxo base (dias)
AGRL	Agricultura Genérica
ANION_EXCL	Porosidade
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
AVNIR-2	Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2
Biomix	Eficiência da mistura biológica
Blai	Índice máximo de área foliar
Canmx	Armazenamento máximo de água no dossel vegetativo (mm)
Ch_N2	Coeficiente de Manning do canal principal
Cm	Centímetros
Cn2	Valor da Curva Número inicial do Soil Conservation Service
COE	Coeficiente de Nash-Sutcliffe
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Cx	Cambissolos
DEM	Modelo digital de elevação
DEWPT	Média diária do ponto de orvalho para determinado mês
Dv	Desvio observado (%)
Epc	Fator de compensação da retirada das plantas
Esco	Fator de compensação da evaporação do solo
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETM+	Enhanced Thematic Mapper, Plus
FRSE	Vegetação Nativa
Gj	Gleissolo
GO	Goiás
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Gw_Delay	Retardo do escoamento subterrâneo
Gw_Revap	Coeficiente de re-evaporação da água subterrânea
Gwqmn	Concentração de nitrato na água subterrânea contribuinte (mgN/L)
Ha	Hectares
HidroWeb	Sistema de Informações Hidrológicas
HRU	Unidades de resposta hidrológicas
HYDGRP	Grupo hidrológico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAXA	Agência de Exploração Aeroespacial do Japão
km ²	Quilômetros Quadrados
kPa	Quilopascal

LabGis	Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Lve	Latossolos
Mbar	Milésimos de bar
MJ	Megajoules
NASA	Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica dos Estados Unidos da América
NRCS	Natural Resource Conservation Service
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PAST	Pastagem
PCPD	Média mensal de dias de precipitação
PCPMM	Média mensal da precipitação total
PCPSKW	Coeficiente de assimetria Skew para a precipitação máxima
PCPSTD	Desvio padrão para a precipitação diária do mês
PEAMP	Parque Ecológico Altamiro de Moura Pacheco
PR_W1	Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias secos para o determinado mês
PR_W2	Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos para o determinado mês
PRISM	Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping
PVA	Argissolos
RAINHHMX	Valor máximo de meia hora de chuva em todo o período de registros de um determinado mês
SAD-69	South American Datum 1969
SANEAGO	Saneamento de Goiás S/A
SEMARH	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás
SEPIN	Superintendência de Estatística, Pesquisa e Informação
SEPLAN-GO	Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás
SIEG	Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Slsubbsn	Comprimento da declividade média (m)
Smfmn	Fator de derretimento da neve em dezembro (mm H ₂ O/°C/dia)
Smfmx	Fator de derretimento da neve em junho (mm H ₂ O/°C/dia)
Smtmp	Temperatura de base para derretimento de neve (°C)
SOLARAV	Média de radiação solar diária para um determinado mês
SOL_ALB	Albedo do solo
SOL_AWC	Capacidade de água disponível (mm H ₂ O / mm solo)
SOL_CBN	Conteúdo de carbono orgânico
SOL_K	Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
SOL_Z	Profundidade da camada (mm)
SOL_ZMX	Profundidade máxima de solo que a raiz alcança (mm)
Surlag	Tempo de retardo do escoamento superficial
Surq	Escoamento superficial
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
TM	Thematic Mapper

TMPMN	Média mensal de temperatura mínima diária
TMPMX	Média mensal de temperatura máxima diária
TMPSTDMN	Desvio padrão para a temperatura mínima diária de cada mês
TMPSTDMX	Desvio padrão para a temperatura máxima diária de cada mês
Tr	Período de retorno
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
USDA	United States Department of Agriculture
USLE	Universal Soil Loss Equation
UTM	Universal Transverso de Mercator
WNDV	Média diária da velocidade do vento para determinado mês
WXGEM	Gerador climático
XPR	Coordenada X
YPR	Coordenada Y

INTRODUÇÃO GERAL

A bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite pode ser considerada de suma importância para a cidade de Goiânia, pois a mesma é uma de suas principais fontes de abastecimento público de água. Esta bacia teve suas áreas ocupadas de maneira desprovida de planejamento, havendo uma tendência de avanço ocupacional nas áreas remanescentes que ainda conservam suas potencialidades hídricas, ecológicas e culturais de sua paisagem.

Segundo Hardt & Hardt (2007) de forma genérica, as paisagens podem ser subdivididas em naturais e antropizadas, de acordo com o predomínio da origem de seus elementos constituintes. Pela progressiva interferência humana, as primeiras podem paulatinamente ser transformadas nas segundas, sendo sua expressão máxima representada pela paisagem urbana.

De acordo com Santos & Pena (2011) o geoprocessamento é uma importante ferramenta para se compreender a estrutura e a dinâmica das paisagens em diversas escalas temporais e espaciais, quando aplicado à paisagem traz elementos para o estudo das interações do homem com o meio ambiente. Nesse sentido a avaliação temporal do uso e cobertura do solo em uma bacia hidrográfica se faz necessária para o melhor entendimento dessa dinâmica.

Do ponto de vista dos recursos hídricos, Ávila *et al.* (1999) afirmam que o geoprocessamento está representado pela integração de imagens digitais de diversos sensores remotos com Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Isso, entretanto, constitui apenas um primeiro nível de integração relevante à hidrologia e aos recursos hídricos. A integração última está na união do geoprocessamento com os modelos que busquem uma melhor compreensão de fenômenos edafoclimáticos e a gestão de recursos hídricos.

A bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite carece de espacialização do seu grau de antropização assim como um panorama geral de sua situação quanto a qualidade da água de seu reservatório de abastecimento e sua vida útil tendo em vista a quantidade de sedimentos que o mesmo recebe.

O conhecimento da produção de água e de sedimentos é de fundamental importância para estudos na bacia hidrográfica, por isso a modelagem auxilia neste entendimento. Neste contexto, Neistch *et al.* (2005) descrevem que o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) foi desenvolvido no início da década de 90 pelo *United States Department of Agriculture* (USDA), e permite simular espacialmente uma bacia hidrográfica com diversos usos e coberturas do solo e tipos de solo, e possibilita a análise de cenários alternativos de

manejos. Lopes (2008) complementa que a finalidade deste modelo é auxiliar os gestores de recursos hídricos na avaliação de impactos de práticas de manejo do solo em relação à água, ao sedimento e ao agrotóxico em bacias hidrográficas complexas.

Com isso esse trabalho objetiva a avaliação da qualidade ambiental da paisagem da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite utilizando diferentes ferramentas de geoprocessamento com o intuito de espacializar e diagnosticar o seu nível de antropização juntamente com a estimativa de produção de sedimentos da mesma utilizando o modelo hidrossedimentológico SWAT.

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a qualidade ambiental da paisagem da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite utilizando ferramentas de geoprocessamento integradas com ferramentas de modelagem hidrológica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral desse trabalho, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Mapear e analisar o uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite por meio do uso de imagens do sensor TM/Landsat-5 no período de 1985 a 2011;
- Testar a aplicabilidade do modelo hidrossedimentológico SWAT na estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica e no reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite em diferentes cenários (mudança de paisagem);
- Avaliar o uso de imagens obtidas pelos sensores TM/Landsat-5 e PRISM/ALOS na simulação hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite utilizando o modelo SWAT.

QUESTÕES DE PESQUISA

Segundo Rabelo (2009) a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite é responsável pelo fornecimento de cerca de 55% da água utilizada na cidade de Goiânia, capital do Estado de Goiás. Por se tratar de uma bacia que contribui para o abastecimento público a mesma sofre com a ocupação irregular, pressão imobiliária, atividades antrópicas impactantes, e falta de programas de sustentabilidade ambiental. De acordo com Santos *et al.* (2010) a expansão da área de agricultura na bacia do Ribeirão João Leite nos últimos anos, que se deu basicamente sobre áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa e pastagens, em termos absolutos respondeu pela maior alteração na cobertura vegetal, que foi de 117 km², as referidas áreas foram ocupadas, ao longo da bacia, por culturas anuais e perenes. Com base nesses dados justifica-se um estudo mais detalhado sobre a bacia devido à sua importância para o abastecimento público, hoje a mesma carece de espacialização e quantificação do nível de antropização em que se encontra, assim como a mensuração da qualidade ambiental de sua paisagem. Com base nesta demanda, o presente trabalho tem as seguintes questões de pesquisa:

- Até que ponto o uso de ferramentas de geoprocessamento podem auxiliar na avaliação da paisagem da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite?
- Qual(is) município(s) que compõe(m) a bacia está(ão) contribuindo para o aceleramento de sua antropização? E quais são essas atividades?
- Qual é a influência da atual paisagem da bacia na produção de sedimentos para o reservatório de abastecimento? Essa estimativa pode ser considerada confiável? O modelo SWAT representa bem esse processo na bacia?
- Qual seria a configuração espacial da paisagem ideal ou menos impactante para preservação da bacia?
- A utilização de imagens obtidas pelos sensores TM/Landsat-5 e PRISM/ALOS como dados de entrada no modelo SWAT apresentam uma diferença significativa na resposta final do modelo quanto à estimativa da produção de sedimentos na bacia?

ASPECTOS GERAIS SOBRE O FORMATO DESTE MANUSCRITO

A presente dissertação foi dividida em seis (6) capítulos, sendo os capítulos 2, 3, 4 e 5 apresentados em forma de artigo. O primeiro capítulo trata do referencial teórico de todos os assuntos abordados no trabalho.

No segundo capítulo foi realizada uma análise exploratória da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite com a finalidade de reunir características de sua área e as possíveis fontes de antropização por meio de visitas “*in loco*”.

O terceiro capítulo objetiva a avaliação da dinâmica do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite por meio de uma análise multitemporal de imagens TM/Landsat-5 entre os anos de 1985 e 2011, o que possibilitou mensurar quais vem sendo as atividades mais impactantes na bacia de forma geral e uma análise individual dessas atividades nos municípios que a constituem.

O quarto capítulo apresenta a aplicação do modelo hidrossedimentológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite para estimativa da produção de sedimentos em diferentes cenários, possibilitando a análise do uso e cobertura do solo dentre outras características que influenciam nesse processo.

No quinto capítulo é realizada uma análise multi-resolução comparando imagens dos satélites ALOS e Landsat-5 e sua utilização como dados de entrada em *softwares* de modelagem hidrossedimentológica como o SWAT, verificando dessa forma a influência que essas imagens exercem sobre a resposta final do modelo aplicado a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

No sexto e último capítulo são apresentados os principais tópicos abordados, as considerações gerais e principais conclusões deste trabalho, considerando também, as questões de pesquisa apresentadas no início deste manuscrito. Finalmente, são apresentadas algumas oportunidades de estudos futuros no intuito de complementar o presente trabalho.

CAPITULO I: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo foi elaborada toda a fundamentação teórica para um melhor entendimento sobre a análise da paisagem e da aplicação de modelos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas e em reservatórios utilizando ferramentas de geoprocessamento.

1.1 – PAISAGEM

A paisagem aparece identificada, pelo menos desde o século XVIII, como a fisionomia de uma dada área, e sua expressão visível (SALGUEIRO, 2001). Bertrand (2004) complementa que a paisagem é, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.

Segundo Moschini (2005) o ser humano vive em um mundo transformado, no qual as paisagens vêm sendo alteradas de forma mais rápida, mais intensa e em maior extensão do que em qualquer outro momento da história humana, de modo que, atualmente somente dez por cento da superfície terrestre ainda resguarda as suas características originais.

O mesmo autor afirma que esse processo de transformação resultante das mudanças demográficas, econômicas e sociais tem se sobrepujado aos processos naturais, afetando profundamente as propriedades dos ecossistemas, produzindo paisagens moldadas por forças econômicas, pela tecnologia e pelo elevado consumo de recursos e energia.

De acordo com Montina (2007) o estudo de bacias hidrográficas, segundo a perspectiva geográfica, precisa ser embasado num esboço teórico metodológico que contemple as interações natureza - sociedade e, notadamente, como estas interações se plasmam na paisagem; esta, vista sempre como o resultado de um processo histórico, onde a estrutura socioeconômica atuou e atua sobre a estrutura geoecológica para construir a paisagem atual.

A visão setorizada dentro de um conjunto de elementos que compõem a paisagem tem levado a desequilíbrios ambientais. Guerra & Cunha (2004) vêem na bacia hidrográfica a unidade integradora desses setores (naturais e sociais), que deve ser administrada com esta função, a fim de que os impactos ambientais sejam minimizados. Nesse sentido, Moraes *et al.* (2012) reforçam que o estudo da fragmentação da paisagem em uma bacia é de extrema

importância por avaliar o status de conservação da vegetação, um recurso essencial para a manutenção da qualidade da água.

1.2 - BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO

Uma Bacia Hidrográfica pode ser entendida como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Nas depressões longitudinais se verifica a concentração das águas das chuvas, isto é, do lençol de escoamento superficial, formando o lençol concentrado – os rios. A noção de bacia hidrográfica obriga naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores d'água, cursos d'água principais, afluentes, subafluentes, etc. Em todas as bacias hidrográficas deve existir uma hierarquização na rede, e a água se escoar normalmente dos pontos mais altos para os mais baixos (GUERRA & GUERRA, 1997).

Tucci (2001) afirma que a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e também os infiltrados profundamente.

No entanto, o conceito de bacia hidrográfica como um sistema hidrogeomorfológico é mais amplo e a define como uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial (XAVIER, 2009).

A quantidade e a qualidade dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica representam os reflexos das ações modificadoras da paisagem. Diagnosticar as causas é fundamental para subsidiar a tomada de decisão no sentido de mitigar e reduzir os impactos negativos na mesma. Nesse contexto, Coelho Netto (2001) ressalta que alterações significativas na composição ambiental de certa porção de uma bacia hidrográfica poderão afetar outras áreas a jusante, ou seja, os efeitos hidrológicos e geomorfológicos de processos naturais ou antrópicos irão refletir num determinado ponto de saída de uma bacia, podendo propagar-se a jusante por meio de bacias adjacentes.

Haja vista a atual importância dada às bacias hidrográficas, os estudos científicos trataram de identificar as ditas bacias representativas, cujas características são intrínsecas de uma determinada região, do ponto de vista hidrológico (LOPES, 2003). Segundo Vitte & Guerra (2004), desde 1980 vem evoluindo a adoção da bacia hidrográfica como unidade

territorial de estudo, especialmente as áreas da geografia física e a ciência do solo. Os principais temas discutidos são: erosão, manejo e conservação dos solos e planejamento ambiental. A década de 1990 caracterizou-se não só pelo aumento da produção de trabalhos ligados à área ambiental, tendo como delimitação territorial a bacia hidrográfica, como também pelas pesquisas relacionadas ao uso e qualidade das águas.

De acordo com Lopes (2003), desta forma, a bacia hidrográfica revela-se como uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos e das ligações espaciais entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como o planejamento regional.

1.3 – RESERVATÓRIO

O aproveitamento das águas fluviais, com o barramento de um rio para a formação do reservatório, está associado à geração de uma série de alterações fluviais em especial na dinâmica fluvial. Esses impactos no canal fluvial são na maioria, fenômenos localizados que ocasionam efeitos em cadeia, com reações muitas vezes irreversíveis. A construção de barragens em vales fluviais rompe a sequência natural dos rios em três áreas distintas. Na parte a montante da barragem, o nível de base local é levantado, alterando a forma do canal e a capacidade de transporte sólido, quando ocorre o assoreamento na desembocadura e no fundo do vale principal e afluentes. Os impactos registrados no local não se limitam à área próxima do reservatório e à faixa de inundação, estendendo-se gradualmente para a montante, ao longo dos perfis dos rios. Geram o aumento no fornecimento de sedimentos para o reservatório, modificando, muitas vezes, a sua vida útil e alterando a biota fluvial (CUNHA, 2001).

Segundo Xavier (2009), em um reservatório, em virtude da mudança da situação lótica para lântica, a atuação dos ventos e ondas nas margens torna-se mais importante do que o impacto da energia cinética das correntes sobre o fundo. Desenvolvem-se as margens de abrasão, cujos declives favorecem a atuação dos processos gravitacionais, o recuo das margens ou das falésias lacustres e a formação de praias. Os impactos mencionados aumentam a carga de fundo e de suspensão, provocando o assoreamento do reservatório com consequente redução da vida útil do mesmo.

O mesmo autor afirma que os sistemas de abastecimento de água, de irrigação, ou hidrelétricos que contassem somente com as águas captadas diretamente nos cursos de água não seriam capazes de satisfazer a demanda de seus usuários durante as estiagens, sobretudo

se intensas. Portanto a construção de reservatórios, em alguns casos torna-se inevitável. Nesse contexto se enquadra a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

1.4 - HIDROSEDIMENTAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Segundo Lopes (2008) os processos hidrossedimentológicos são resultados da interação entre os processos hidrológicos e sedimentológicos. A água é um dos principais agentes causadores do desprendimento de partículas de rochas e solos, estas irão percorrer a encosta da bacia até atingir os cursos d'água e, finalmente, alcançar o exutório e irão contribuir para a produção de sedimentos da bacia.

Os sedimentos em suas diversas conformações e características são componentes naturais integrantes dos cursos hídricos mesmo quando em estado de equilíbrio e livre de interferências antrópicas, uma vez que estão associados intimamente aos fenômenos erosivos naturais, ou como resultados da erosão geológica. Trata-se do material sólido mineral ou orgânico que, originado da erosão fomentada pela ação eólica, pelo impacto das chuvas, pelo escoamento superficial, entre outros, em porções continentais da bacia hidrográfica, atinge os cursos hídricos e nele são transportados em suspensão ao longo do fluxo hídrico, podendo ser depositado ao longo do leito do curso a depender das características sedimentológicas e da dinâmica hídrica. Contudo, dependendo da quantidade e da qualidade dos sedimentos aportados aos corpos de água, há a possibilidade de manifestação de diversos fenômenos prejudiciais a sua qualidade. A presença de quantidades relativamente altas de sólidos suspensos pode provocar redução do índice fótico das águas com consequente diminuição da disponibilidade de energia luminosa para os organismos aquáticos fotossintetizantes, recobrir ovos e alimentos da população de peixes, sufocar recifes de corais, matar zonas de filtração, comprometer guelras de peixes, bem como podem servir de veículo para contaminantes adsorvidos (SANTOS, 2010).

Conforme Carvalho (1994) o transporte de sedimento pode causar também, pelas partículas em suspensão, a degradação da qualidade de água para os usos humanos (consumo, atividade industrial e agrícola, além da recreação); pode ainda impedir a penetração da luz e calor, reduzindo a atividade da fotossíntese necessária à salubridade dos corpos d'água e alterar a vida aquática. O acúmulo de sedimentos no leito pode prejudicar a navegação ou elevar o nível de água provocando enchentes locais mais frequentemente. No entanto, existe um efeito benéfico, os sedimentos carregam nutrientes, que fertilizam o solo e, dependendo da

concentração de sedimentos, permite transportar microrganismos ou matéria orgânica que melhora a fauna fluvial.

A produção de sedimentos é definida como o sedimento total que passa pelo exutório da bacia hidrográfica. A produção de sedimentos é função da quantidade de erosão total dentro da bacia e a eficiência do sistema de drenagem em transportar os materiais erodidos para fora da bacia (CHOW, 1964). A mesma também é influenciada pela cobertura vegetal. Segundo Meira *et al.* (2006), a vegetação dissipa a energia da precipitação, aumenta a porosidade pelo sistema de raiz e reduz a umidade do solo devido à evapotranspiração.

A produção de sedimentos varia de bacia para bacia conforme a combinação de diversos fatores. De acordo com Kramer & Meyer (1969) de forma geral, nas porções altas de uma bacia hidrográfica há maior erosão e transporte de sedimentos, devido principalmente à acentuada declividade dessas áreas que geram maiores velocidades de escoamento.

De acordo com Keller (1996), existe uma relação geral entre o tamanho da bacia de drenagem e a carga de sedimentos que sugere que à medida que o tamanho da bacia aumenta a produção de sedimentos por unidade de área diminui. Essa relação é resultado do aumento na probabilidade do sedimento ser depositado ou armazenado em porções da bacia antes de alcançar os cursos hídricos. Por outro lado, em geral, as bacias pequenas são mais íngremes, fato que aumenta a energia disponível para erosão do solo e transporte de sedimentos.

O uso e manejo do solo também são fatores de grande importância na produção de sedimentos. O manejo de solo altera as condições de infiltração de água no solo (VERSTRAETEN *et al.*, 2006). A implementação de práticas conservacionistas visa o controle de erosão por meio do aumento da cobertura do solo, da infiltração e do controle do escoamento superficial.

1.5 - MODELOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS

Sempre que se pretende investigar fenômenos largamente distribuídos no espaço e no tempo, como é o caso das avaliações aplicadas a bacias hidrográficas, é bastante comum que se empreguem modelos que simulem os fenômenos pertinentes, bem como as interações entre os mesmos. Isso porque a quantidade de medições de campo necessárias ao se considerar a ausência de modelos, em geral, tornaria financeiramente proibitiva a maioria dos projetos de avaliação, planejamento e manejo de bacia hidrográfica (PRADO, 2005).

Segundo Uzeika (2009), modelos hidrossedimentológicos são ferramentas computacionais que se baseiam em equações matemáticas para reproduzir os efeitos dos principais agentes ambientais (clima, solo, topografia e uso do solo) na estimativa dos componentes do processo erosivo (desagregação, deposição e transporte de sedimentos).

Os processos hidrossedimentológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica são extremamente complexos, não podendo ser inteiramente representados por um único modelo. De acordo com Merritt *et al.* (2003), cada tipo de modelo serve para um propósito, sendo que nenhum modelo pode ser aplicado em todas as situações. Assim, a escolha do modelo deve ser feita considerando-se o objetivo específico a ser alcançado pela sua aplicação, sendo que alguns fatores afetam sua escolha:

- dados requeridos pelo modelo, incluindo as variações temporais e espaciais dos dados de entrada e saída;
- precisão e validade do modelo, considerando suas premissas básicas;
- componentes do modelo que refletem sua capacidade;
- objetivos do usuário do modelo, incluindo sua facilidade de uso, a escala e a forma dos dados de saída; e,
- necessidade de capacidade computacional.

A partir da década de 1990, o uso de intervenções computacionais vem alcançando cada vez mais espaço nas mais variadas ciências, incluindo a engenharia, sobretudo pelo aperfeiçoamento das interfaces para o usuário. Desta forma, mais especificamente, a ciência computacional associada a sistemas de recursos hídricos superficiais e subterrâneos vem se desenvolvendo progressivamente, englobando tanto interesses acadêmicos múltiplos quanto procedimentos práticos de engenharia. Estão difundidos e são aplicados atualmente vários modelos de simulação com várias naturezas, podendo ser classificados em diversas categorias, a exemplo de modelos físicos e matemáticos, contínuos e discretos, dinâmicos e estáticos, descritivos e conceituais, estocásticos e determinísticos, etc. (VIESSMAN & LEWIS, 1995).

Os modelos aplicados a bacias hidrográficas são capazes de propiciar um melhor entendimento das relações entre as atividades de uso do solo e os processos intervenientes na qualidade dos recursos hídricos inseridos na bacia em estudo (IM *et al.*, 2003). A modelagem quando bem aplicada pode se posicionar como instrumento integrador da complexidade dos sistemas ambientais, sendo capaz de lidar com a dinâmica dos processos naturais.

Entretanto, é preciso considerar que qualquer processo de modelagem carrega consigo um grau de incerteza com origem na resolução dos dados de entrada, nas abstrações do modelo e heterogeneidade natural das bacias hidrográficas (ARABI *et al.*, 2007). Por outro lado, essa questão pode ser suficientemente minimizada com o emprego adequado de procedimentos de calibração e validação do modelo.

Nesse sentido, objetivando um melhor entendimento dos processos que regem a produção de sedimentos, bem como das suas consequências, existem atualmente vários modelos que se destacam pelo caráter quantitativo, ou como ferramenta de previsão e planejamento, a exemplo dos modelos WEPP, WESP e KINEROS2, já amplamente conhecidos e utilizados (FARIAS, 2008). Por outro lado, outro modelo tem despertado interesse mais recentemente pela possibilidade de conferir maior representatividade e maior praticidade de execução e aplicação, sendo o caso do modelo SWAT.

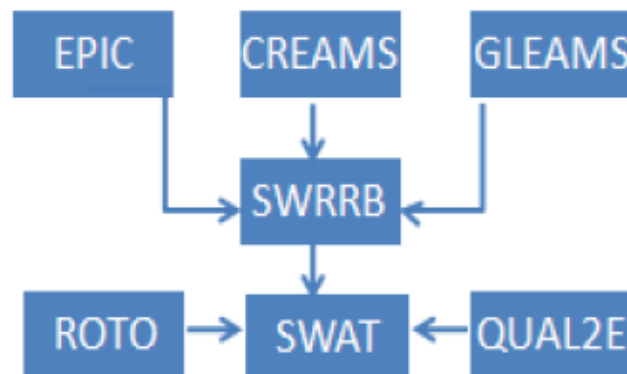
1.5.1 - Modelo *Soil and Water Assessment Tool* – SWAT

O SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) é um modelo matemático de parâmetro semi-distribuído que foi desenvolvido em escala de bacia hidrográfica com a finalidade de prever o impacto de práticas do solo em relação à água, sedimentos e produção química agrícola em bacias hidrográficas complexas não instrumentadas com diversas combinações de solos, usos e coberturas do solo e condições de manejo sobre longos períodos de tempo (NEITSCH *et al.*, 2005). Para satisfazer a estes objetivos o modelo é baseado em características físicas da bacia e usa dados de entrada normalmente disponíveis, é computacionalmente eficiente para operar sobre médias a grandes bacias ($>1.000 \text{ km}^2$) e é contínuo no tempo, sendo capaz de simular longos períodos (>100 anos) de forma a computar os efeitos das alterações no uso do solo (MACHADO, 2002).

Com aproximadamente 30 anos de trabalho conduzidos pelo USDA-ARS (*United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service*), o modelo hidrossedimentológico SWAT agrega diversos fundamentos de outros modelos. Os modelos SWRRB (*Simulator for Water Resources in Rural Basins*), QUAL2E e ROTO (*Routing Outputs To Outlets*) foram diretamente adaptados para a origem do SWAT. O primeiro citado, SWRRB, foi originado através da junção das funcionalidades dos modelos GLEAMS (*Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems*), CREAMS (*Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*) e EPIC (*Erosion-Productivity Impact Calculator*), além de diversas modificações que proporcionaram maior avanço para

realizar as simulações. Com isto, é possível perceber que o modelo foi concebido já com uma vasta gama de experiência intrínseca, haja vista que tais modificações, agregadas pelos diversos modelos, foram feitas visando a superação de obstáculos (GASSMAN, 2007). Um esquema do desenvolvimento histórico do SWAT e suas adaptações pode ser observado na Figura 1.1.

FIGURA 1.1 - Origem do modelo SWAT.



Fonte: Adaptado de Gassman (2007)

O modelo tem como característica: (i) ser empiricamente baseado pela incorporação de equações de regressão que descrevem a relação entre as variáveis de entrada e saída, pelos processos físicos associados com o movimento da água e dos sedimentos, pelo crescimento vegetal e pela ciclagem de nutrientes que são diretamente modeladas pelo SWAT. Os benefícios devido às estas características são que bacias hidrográficas sem monitoramento podem ser modeladas e os impactos relativos às alterações nos dados de entrada podem ser quantificados; (ii) utilizar dados de entrada normalmente disponíveis; (iii) ser computacionalmente eficiente, as simulações de grandes bacias ou de bacias com diversas estratégias de manejo podem ser desempenhadas sem altos investimentos de tempo e dinheiro; e (iv) ser contínuo no tempo e capaz de simular longos períodos para determinar os impactos das alterações de manejo (ARNOLD *et al.*, 1998; NEITSCH *et al.*, 2004; ARNOLD & FOHRER, 2005).

Segundo Marchioro (2008) o modelo é composto pelos seguintes elementos:

- 1- Clima: possibilita a geração estocástica de dados climáticos por meio de um algoritmo baseado na cadeia de Markov para uma localidade específica, tais como precipitação, temperatura, velocidade do vento, radiação solar.
- 2- Hidrologia: calcula infiltração, movimento da água no solo, umidade relativa, balanço hídrico diário, fluxo sub-superficial lateral, escoamento superficial e retorno de fluxo.

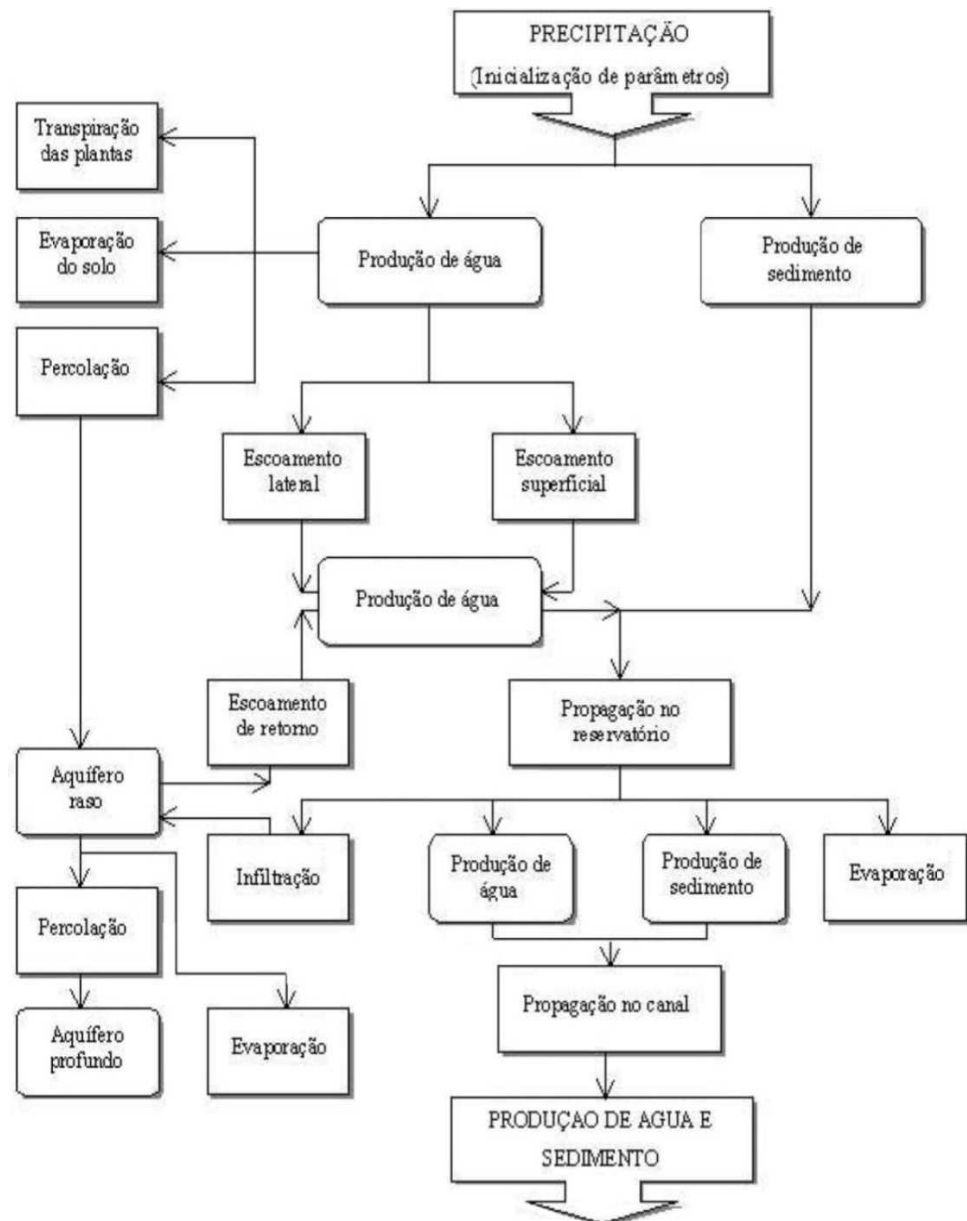
- 3- Crescimento das plantas: simula as mudanças temporais das plantas e resíduos, tais como altura da copa, profundidade de raiz e biomassa produzida pelas plantas.
- 4- Solos: requer parâmetros físicos (profundidade do perfil e dos horizontes, textura, entre outros) e hídricos como condutividade hidráulica e disponibilidade de água por horizonte.
- 5- Processo de erosão/sedimentação: gerenciado pela MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) que utiliza o escoamento para simular a erosão e produção de sedimentos.
- 6- Nutrientes e pesticidas: o modelo simula o comportamento para a variável encosta e a propagação no canal fluvial.
- 7- Manejo: permite que o usuário indique o tipo, início e fim do manejo para que o modelo possa simular sua variação temporal.
- 8- Irrigação: o modelo determina a significância da chuva sobre a área irrigada.

Para o propósito da modelagem, a bacia pode ser dividida em sub-bacias. Cada sub-bacia pode ser parametrizada pelo SWAT usando uma série de Unidades de Resposta Hidrológica (Hydrologic Response Units – HRU's), as quais correspondem a uma única combinação de uso da terra e solos dentro da sub-bacia.

As HRU's são partes da sub-bacia que possuem uma única combinação de uso da terra/solo/manejo. Uma ou mais combinações de uso da terra/solo podem ser criadas pra cada sub-bacia. Subdividir a bacia em áreas contendo combinações únicas possibilita ao modelo refletir diferenças na evapotranspiração e outras condições hidrológicas para diferentes usos e solos. O escoamento é calculado para cada HRU e propagado para obter o escoamento total para a sub-bacia. Isso pode aumentar a precisão das predições e fornecer uma melhor descrição física do balanço de água na bacia (ARNOLD *et al.*, 1998).

Os processos representativos do modelo são apresentados na Figura 1.2.

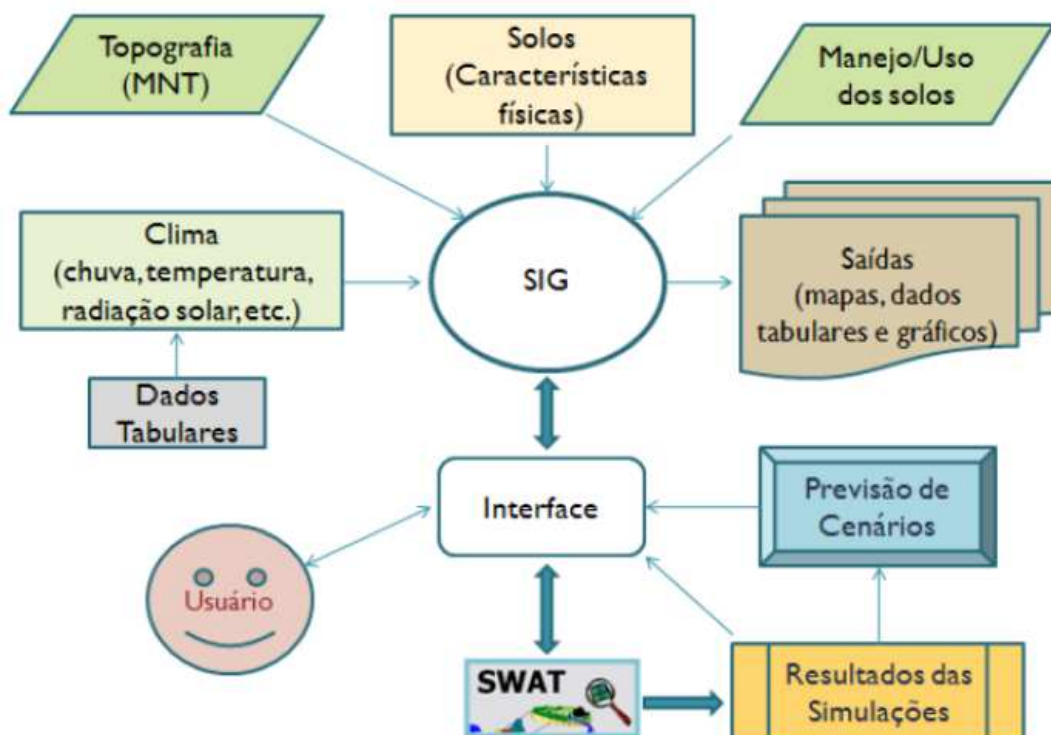
FIGURA 1.2 – Fluxograma de processamento do SWAT



Fonte: Modificado de King *et al.* 1996.

Quanto à integração com o *software* SIG, verifica-se que isto acontece sob a forma do “acoplamento firme” ou, segundo a proposta de Melo (2010): existe uma integração avançada, na qual o modelo opera internamente no SIG de maneira conectada, e com total compartilhamento de dados. O fluxograma com os procedimentos para a devida execução do modelo SWAT está ilustrado na Figura 1.3.

FIGURA 1.3 - Fluxograma dos processos de execução do modelo SWAT



Fonte: Uzeika, 2009.

O SWAT prediz o efeito de diferentes cenários de manejo na qualidade da água, produção de sedimentos e cargas de poluentes em bacias hidrográficas agrícolas (SRINIVASAN *et al.*, 1994). Muitos trabalhos foram desenvolvidos tomando-se como base o modelo SWAT, devido a importância da modelagem hidrossedimentológica no contexto mundial e nacional. Alguns destes estão brevemente apresentados aqui neste trabalho e serviram de referência para o desenvolvimento do mesmo (Quadro 1.1).

QUADRO 1.1 - Trabalhos acadêmicos utilizando o modelo SWAT

Descrição	Referência	Instituição / Área	Observações
A utilização da Interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos	Moro, 2005, Dissertação, Mestrado	USP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / Pós Graduação em Agronomia	Bom desempenho do modelo para o escoamento superficial e produção de sedimentos, além do estudo de vários cenários alternativos.

Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT	Lopes, 2008 Dissertação, Mestrado	UFSC / Pós Graduação em Engenharia Ambiental	Resultados satisfatórios para pequenas bacias após calibração.
Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT para uma Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá	Baldisserra, 2005 Dissertação, Mestrado	UFMT / Pós Graduação de Física e Meio Ambiente	Bons coeficientes de desempenho por sub-bacia na bacia com 28.500 km ² .
Aplicabilidade do modelo SWAT na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural	Uzeika, 2009 Dissertação, Mestrado	UFRS / Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento	Utilização direta do modelo, sem calibração, obtendo resultados satisfatórios para escoamento a nível mensal e superestimação da produção de sedimentos.
Evolução do uso das terras e produção de sedimentos na Bacia Hidrológica do Rio Jundiá-Mirim	Prado, 2005 Dissertação, Mestrado	Instituto Agrônomo / Pós Graduação em Agricultura Tropical e Sub-tropical	Execução do modelo SWAT para cinco diferentes cenários.
Contribuições metodológicas para o estudo da produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Manso utilizando o modelo SWAT	Xavier, 2009 Dissertação, Mestrado	UFMT / Pós Graduação em Física e Meio Ambiente	Estudo de cenários.
Modelo SWAT 2005 aplicado às sub-bacias dos Rios Conrado e Pinheiros - Pato Branco / PR	Baltokoski, 2008 Dissertação, Mestrado	Universidade Estadual do Oeste do Paraná / Pós Graduação em Engenharia Agrícola	Aplicação de testes de sensibilidade do modelo, além de estudo de dois cenários. Bons resultados quanto ao desempenho do modelo, no escoamento superficial, produção de sedimentos e concentração de fósforo.
Avaliação da aplicação do modelo hidrológico SWAT à Bacia do Ribeirão Concórdia - Lontas / SC	Lubitz, 2008 Dissertação, Mestrado	Universidade Regional de Blumenau / Pós Graduação em Engenharia Ambiental	Bons resultados a nível mensal da vazão e produção de sedimentos. Índices baixos quanto a concentração de nitrito, nitrato, ortofostato e fósforo total.

1.5.2 – ArcSWAT

O modelo geo-espacial ArcSWAT é uma extensão para o *software* de SIG ArcGIS (ESRI – *Environmental Systems Research Institute*) utilizado como ferramenta de pré e pós-processamento de dados para a execução do modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*).

Entre os dados de entrada, a interface é capaz de armazenar dados geoespaciais, numéricos e de texto (OLIVERA *et al.*, 2006). Dados geoespaciais referem-se aos arquivos do Modelo Digital de Elevação (MDE), Uso e cobertura do solo e Tipo de Solo. Enquanto que os dados numéricos e de texto caracterizam os dados espaciais, climáticos e hidrológicos. O MDE além de proporcionar o processo de delimitação da bacia hidrográfica, pela identificação da rede de drenagem por meio do “Algoritmo de Oito Direções”, também permite a extração de todos os parâmetros topográficos necessários para a execução do modelo. O Algoritmo de Oito Direções (D-8) trata da identificação de uma célula central na qual haverá fluxo superficial para uma das oito células vizinhas, sendo o critério para o escoamento a maior declividade (LACROIX *et al.*, 2002). Diante disto, a interface delimita para cada canal sua respectiva sub-bacia, uma vez que o modelo SWAT exige tal perspectiva para correta execução (WINCHELL *et al.*, 2007).

Ainda, de vital importância no pré-processamento de dados está a configuração da chamada Unidade de Resposta Hidrológica (HRU) contida nas sub-bacias. A interface é capaz de fazer conversões dos dados geoespaciais de Uso e Tipo de Solo para o banco de dados, encontrando combinações únicas destes dois aspectos e obedecendo a intervalos de declividade definidos pelo usuário. É no âmbito da área de uma HRU que o SWAT procede com suas simulações.

Por fim, a interface provê um gerador de dados climáticos (velocidade do vento, radiação solar, temperatura e umidade do ar) para fornecimento de algumas variáveis para suas simulações. Enquanto ferramenta de pós-processamento a interface é capaz de proceder com uma organização estrutural dos resultados promovendo visualização objetiva com diversos arquivos de saída.

1.6 - GEOPROCESSAMENTO E SIG

Segundo Câmara & Davis (2001) o termo Geoprocessamento denota a disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para a produção da informação geográfica.

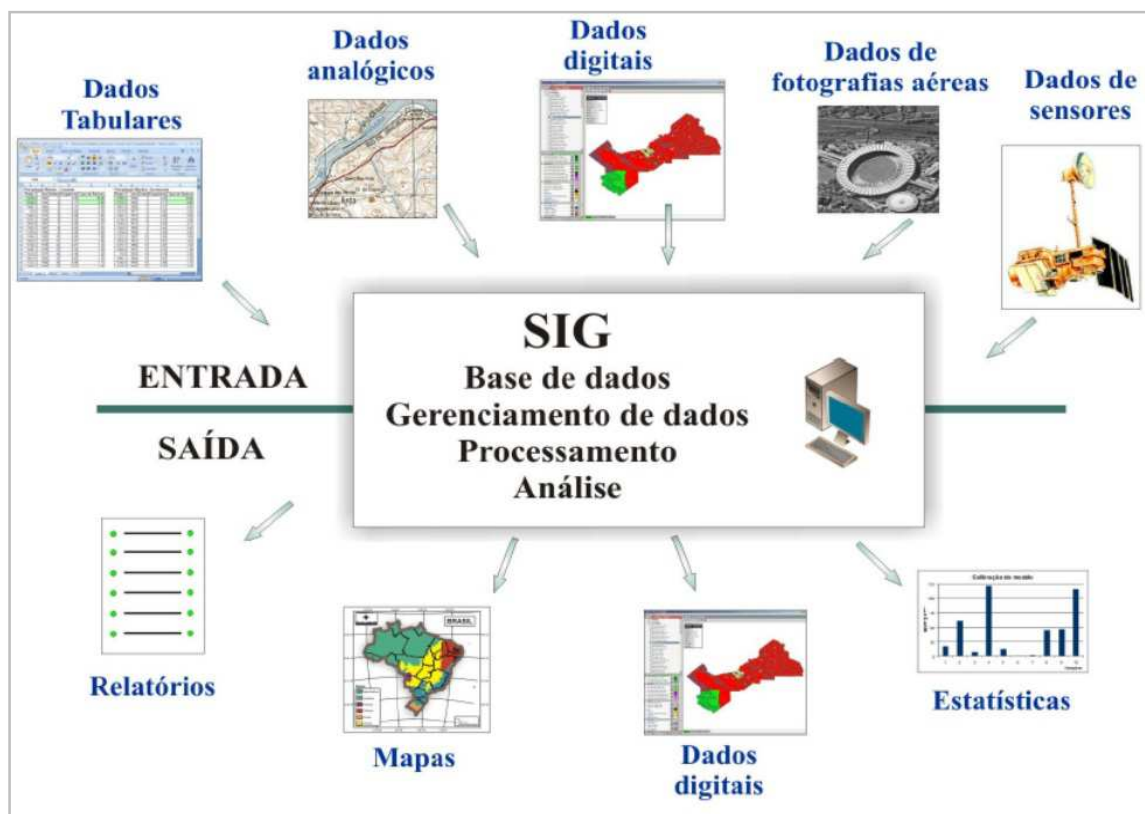
Essa disciplina vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicação, entre outras. O componente mais importante do Geoprocessamento é o Sistema de Informações Geográficas (SIG), que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes, geralmente organizados em banco de dados georreferenciados. O geoprocessamento é ferramenta usual na produção da informações ambientais geograficamente referenciadas acerca de bacias hidrográficas. Segundo Ribeiro *et al.*, (2005), os métodos convencionais de obtenção manual das características fisiográficas das bacias hidrográficas a partir de mapas topográficos são repetitivos e intensivos em mão de obra, representando sempre um grande desafio, mesmo para técnicos experientes. Antes do advento dos SIG's, a obtenção de parâmetros mais complexos como declividade, comprimento da hidrografia, trajeto de escoamento superficial, área de contribuição, entre outros para grandes extensões era dificultada, sobremaneira, pelo volume de trabalho, limitando assim, aplicações potenciais de análise de drenagem. Além disso, o armazenamento e o compartilhamento desses tipos de informações analógicas era praticamente inviável.

Segundo Ferreira (2006) existem dois significados distintos para SIG, um deles se refere a uma aplicação real de SIG, incluindo equipamentos, dados, programas computacionais, recursos humanos e métodos necessários para resolver um problema (uma aplicação de SIG) e o outro significado se refere a um tipo de programa computacional vendido, ou compartilhado, ou ainda disponibilizado gratuitamente por um desenvolvedor de programas computacionais.

O mesmo autor diz que atualmente, um SIG pode ser aplicado a praticamente todas as atividades humanas, uma vez que essas atividades são sempre executadas em algum local, em alguma posição geográfica. Os SIG's têm por característica a possibilidade de integrar, dados com referencia espacial provenientes de fontes diversas (Figura 1.4). Eles oferecem, ainda, mecanismos para combinar os vários dados por meio de algoritmos de manipulação e analise, com os objetivos para consultar, recuperar, visualizar e produzir informações geográficas de forma rápida e eficiente.

Uma das mais importantes capacidades dos SIG's e do geoprocessamento é a capacidade de realizar analises espaciais, ou seja, a capacidade de explicitar as relações espaciais entre dados diversos, conforme exemplificado no Quadro 1.2.

FIGURA 1.4 - Esquema de entrada e saída de dados e informações em um SIG.



Fonte: Adaptado de LabGis, 2008.

QUADRO 1.2 – Exemplos de análises espaciais típicas de um SIG.

Análise	Pergunta Geral	Exemplo
Condição	"O que está..."	"Qual a população desta cidade?"
Localização	"Onde está...?"	"Quais as áreas com declividade acima de 20%?"
Tendência	"O que mudou...?"	"Esta terra era produtiva há 5 anos atrás?"
Roteamento	"Por onde ir...?"	"Qual o melhor caminho para o metrô?"
Padrões	"Qual o padrão...?"	"Qual a distribuição da dengue em Fortaleza?"
Modelos	"O que acontece se...?"	"Qual o impacto no clima se desmatarmos a Amazônia?"

Fonte: Câmara, 2008.

Deste modo, pode-se apontar pelo menos quatro grandes dimensões dos problemas ligados aos Estudos Ambientais, onde é grande o impacto do uso da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica: Mapeamento Temático, Diagnóstico Ambiental, Avaliação de Impacto Ambiental, Ordenamento Territorial e os Prognósticos Ambientais (MEDEIROS & CÂMARA, 2011).

Como ferramentas essenciais ao planejamento e gestão ambiental, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com a integração do Sensoriamento Remoto torna possível automatizar e integrar dados para o manejo sustentável dos recursos naturais, e ordenamento

territorial. Trata-se da tecnologia base para construção de sistemas inteligentes e de apoio à tomada de decisão, que em conjunto fortalecem a avaliação e o monitoramento dos recursos, base material para o desenvolvimento comunal (BOCCO *et al.*, 2000). Nesse contexto a utilização de produtos oriundos do Sensoriamento Remoto se faz necessário na aplicação da modelagem de bacias hidrográficas devido seu alto potencial de investigação.

1.7 - SENSORIAMENTO REMOTO

Define-se sensoriamento remoto como a ciência e a arte de obter informações a respeito de um objeto, área ou fenômeno, por meio da análise da radiação eletromagnética que foi refletida ou emitida pelo objeto, área ou fenômeno investigado. Trata-se, portanto, de uma ciência que possibilita a produção de dados acerca da superfície terrestre, e das suas mudanças ao longo do tempo. Tais dados são obtidas a partir da análise e processamento de imagens obtidas por sensores instalados em plataformas orbitais ou aerotransportadas (MACHADO & QUINTANILHA, 2008).

Florenzano (2002) acrescenta que o sensoriamento remoto permite obter imagens da superfície terrestre por meio da captação e do registro da energia eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo.

Atualmente, vários estudos fazem uso do Sensoriamento Remoto, visto que as alterações ambientais provocadas pelas ações antrópicas, podem ser monitoradas permitindo, inclusive, a aplicação do princípio da prevenção, sendo este, imprescindível quando se trata de preservação dos recursos naturais.

Novo (1992) esclarece que para extrair informações a partir de sensoriamento remoto, se faz necessário o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem nesse comportamento. Neste sentido, três tipos de interações acontecem entre a radiação eletromagnética e o alvo: reflexão, transmissão e absorção. Os objetos ainda emitem radiação eletromagnética. No entanto, as propriedades desses objetos vão definir as proporções da ocorrência dessas interações, o que varia de acordo com o sensor utilizado e o produto gerado, no caso a imagem.

As imagens obtidas por sensores remotos são produzidas em níveis de cinza, e a sua representação depende da quantidade da energia refletida ou emitida pelos objetos, e varia entre o branco (quando refletem ou emitem toda a radiação eletromagnética em um dado comprimento de onda) e o preto (quando absorvem toda a radiação eletromagnética em um dado comprimento de onda). Quando imagens, obtidas em distintos comprimentos de onda da

radiação eletromagnética, são projetadas, através de filtros coloridos, azul, verde e vermelho (cores primárias), geram-se imagens coloridas; onde a cor de um objeto vai depender da quantidade de radiação eletromagnética por ele refletida ou emitida, da mistura das cores e da associação das cores com as imagens (FLORENZANO, 2002).

Soares Filho (1998) considera que as imagens obtidas por sensores remotos possibilitam a distinção dos materiais superficiais como a vegetação, os solos, rochas entre outros. Os diferentes comportamentos dos materiais superficiais ao longo do espectro eletromagnético possibilitam a distinção e a identificação dos mesmos nas imagens de satélite, o que se torna bastante útil se tratando da análise de uso e cobertura do solo em bacias hidrográficas.

Dentre a variada gama de satélites que possuem sensores de imageamento, atualmente disponíveis, é importante destacar o satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) o qual possui três tipos de sistemas sensores, sendo eles o sensor PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) com resolução espacial de 2,5 metros e faixa imageada de 35 km no modo *Triplet* e 70 km no modo nadir. O AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) com resolução espacial de 10 metros e faixa imageada de 70 km, e o sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) com resolução espacial de 10 metros no modo *fine* e 100 metros no modo *Scan SAR* e faixa imageada de 70 km no modo *fine*, 250 a 350 km no modo *Scan SAR* (ENGESAT, 2011). O mesmo autor complementa que assim, o ALOS pode imagear rapidamente áreas de interesse dos usuários em todo o planeta independentemente da existência e operação de estação de recepção. O satélite ALOS gera dados que podem ser usados para cartografia e levantamentos até a escala 1:25.000 com precisão e qualidade para uso e cobertura de solos e todas as aplicações temáticas relacionadas, sem precisar de pontos de controle em solo.

Outro satélite utilizado em análises ambientais é o LANDSAT-5 que foi lançado em 01 de Março de 1984 e funciona em órbita equatorial a 705 km de altitude. O sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite LANDSAT-5 faz o imageamento da superfície terrestre produzindo imagens com 185 Km de largura no terreno, com 7 bandas espectrais e resolução espacial de 30 metros (bandas 1-5 e 7) e 80 metros (banda 6). O tempo de revisita do satélite para imagear uma mesma porção do terreno é de 16 dias (SILVA, 2002).

Outro produto de sensoriamento remoto que vem ganhando destaque é o TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) o qual é uma missão espacial conjunta entre a Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica dos Estados Unidos da América

(NASA) e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) projetado para monitorar e estudar chuvas tropicais. O termo refere-se tanto a própria missão como o satélite que a missão utiliza para coletar dados. O TRMM faz parte da Missão da NASA para o Planeta Terra, a qual em longo prazo visa o esforço coordenado de investigação para estudar a terra como um sistema global. O satélite foi lançado em 27 de novembro de 1997 do *Space Tanegashima Center*, em Tanegashima, no Japão e possui um pixel que abrange uma área de 27 km por 27 km e é também utilizado para calibrar as estimativas de precipitação a partir de outros satélites (NASA, 2012).

Com isso, a utilização de imagens de satélites de sensoriamento remoto aliada aos Sistemas de Informações Geográficas se torna uma importante ferramenta de integração de dados geoespaciais, os quais são essenciais como entrada para o funcionamento de modelos como SWAT.

1.8 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

O modelo digital de elevação – MDE representa o relevo de forma real e assegura a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo assim, a consistência hidrológica do processo de simulação (FERRIGO, 2011).

Dentre os modelos digitais de elevação existe o Projeto TOPODATA o qual possui resolução espacial de 30 metros, e que de acordo com INPE (2011) foi desenvolvido por meio do processamento de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), oferecendo dados topográficos e suas derivações básicas em cobertura nacional. Desde que foi lançado pela primeira vez, em agosto de 2008, o processamento dos dados foi sucessivamente inspecionado e revisado, com vistas a aprimoramentos e correções. Os dados inicialmente disponibilizados seguiram fielmente as opções e especificações constantes no “Guia de utilização” associado ao TOPODATA. Porém, problemas na articulação entre folhas e a demanda por mais formatos levaram a um novo tratamento dos dados desde sua preparação, e detalhes do processamento de derivação geomorfométrica foram oportunamente melhorados, e os novos produtos estão disponíveis desde o dia 6 de maio de 2009.

CAPÍTULO II: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE

Neste capítulo apresentam-se as características gerais da área de estudo da presente pesquisa, a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. Assim, nele se encontram tópicos a respeito de sua localização, características morfométricas, físicas, climáticas e socioeconômicas.

2.1 – LOCALIZAÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite ocupa 766,8 km² entre as latitudes 16° 13' e 16° 39' Sul e longitudes 48° 57' e 49° 11' Oeste, estando localizada a nordeste de Goiânia (Figura 2.1). O Ribeirão João Leite é formado pelos córregos Jurubatuba e Pedreira, e faz parte do complexo Hidrográfico da Bacia do Paraná e após percorrer cerca de 85 km deságua no Rio Meia Ponte. Seu curso principal e afluentes percorrem os municípios de Ouro Verde, Campo Limpo, Anápolis, Goianápolis, Teresópolis de Goiás, Nerópolis e Goiânia, os quais são responsáveis por parte do abastecimento de água da capital juntamente com as captações feitas no Rio Meia Ponte e Córrego Samambaia (SANTOS *et al.*, 2010).

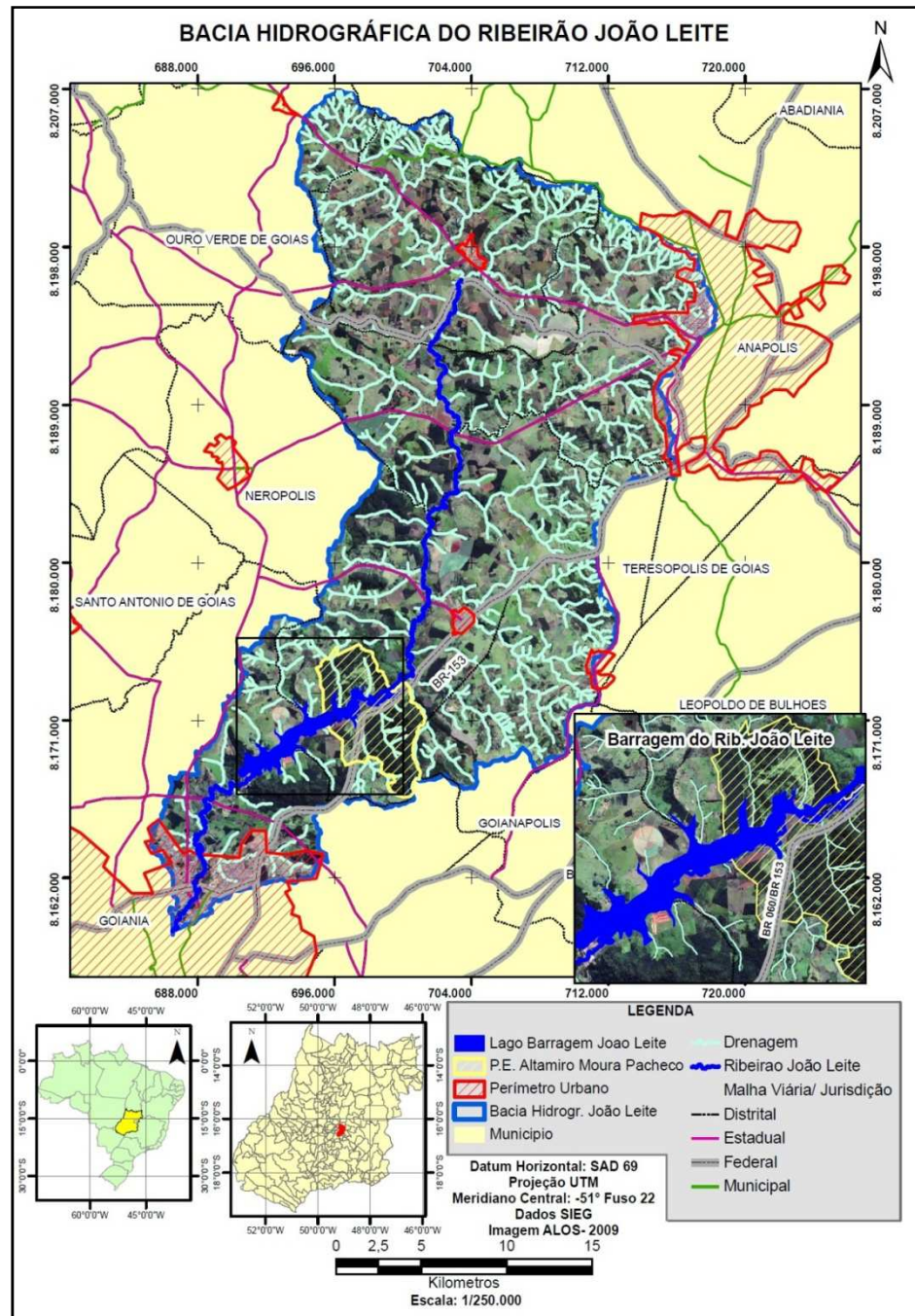
Segundo Silva *et al.* (2009) a Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite é composta por rochas muito antigas, do período Pré-Cambriano e possui um relevo plano a suavemente ondulado, circundado por relevos mais elevados. A vegetação original na região central da Bacia é o Cerrado e, nas bordas da bacia é possível encontrar Floresta Estacional decidual ou semidecidual. Os solos predominantes na área de estudo são os Latossolos Vermelhos, seguidos dos Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos.

De acordo com a SANEAGO (2011) a barragem do Ribeirão João Leite está situada junto ao morro do Bálsamo e Lindeira no Parque Estadual denominado Altamiro Moura Pacheco (PEAMP), distando 6,5 km a montante da capital do estado de Goiás. O volume total do reservatório é de 129 hm³, sendo o volume útil de 117 hm³ e o volume morto de 12 hm³. O reservatório apresenta conformação alongada com extensão de 15 km e largura média em torno de 800 m. Possui 3 captações para o abastecimento e uma para descarga. Até o ano de 2025, a barragem deverá atender aproximadamente 2.300.000 habitantes ou 98% da população estimada para a data.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite constitui uma Área de Proteção Ambiental (APA) estabelecida pelo Decreto Nº 5.704, de 27 de dezembro de 2002 e engloba

uma unidade de conservação permanente do PEAMP de 4.123 ha (SEMARH, 2009), mas dividido em duas áreas por um trecho da BR-153/GO-060 (Figura 2.1).

FIGURA 2.1– Localização da área de estudo



Fonte: O autor.

Conforme mencionado por Rabelo (2009), trata-se de uma bacia amplamente antropizada, mas ainda assim, com alguns de seus usos destinados ao abastecimento público de água. Visando manter a qualidade de suas águas foi criada para esta bacia a Área de Proteção Ambiental (APA) João Leite por meio do Decreto no 5.704, de 27 de dezembro de 2002, abrangendo toda a sua extensão, com os seguintes objetivos:

- “I - proteger os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite;
- II - assegurar condições para o uso do solo compatíveis com a preservação dos recursos hídricos;
- III - conciliar as atividades econômicas e a preservação ambiental;
- IV - proteger os remanescentes do bioma cerrado;
- V - melhorar a qualidade de vida da população local por meio de orientação e do disciplinamento das atividades econômicas;
- VI - disciplinar o turismo ecológico e fomentar a educação ambiental.”

2.2 - CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

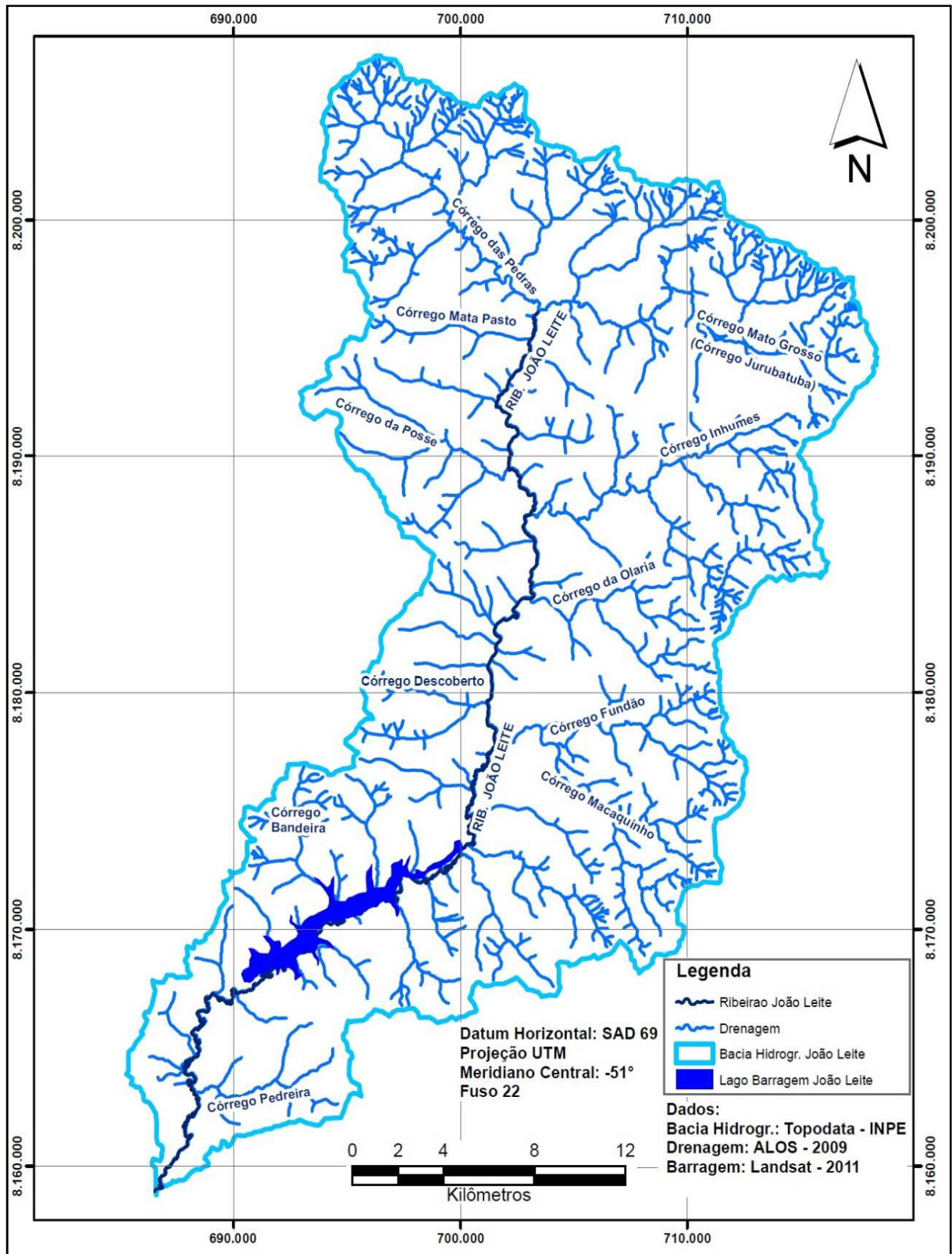
Tendo como referência a base cartográfica deste trabalho (Projeção UTM, Datum SAD 69, Fuso 22 Sul), a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, na escala 1:25.000, possui as seguintes características morfométricas (Quadro 2.1):

QUADRO 2.1 – Características morfométricas da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Área (km ²)	766,8
Comprimento do Ribeirão João Leite (km)	86
Perímetro da bacia (km)	157
Comprimento total dos cursos d'água (km)	699

A Figura 2.2 mostra a distribuição da rede de drenagem que compõe essa bacia e a localização de seus principais corpos d'água.

FIGURA 2.2– Delimitação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite e a localização de seus corpos d'água.



Fonte: O autor.

2.3 - CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

O Ribeirão João Leite já é objeto de estudo de vários pesquisadores, e de acordo com Vasconcelos *et al.* (2002) neste ribeirão é evidente o efeito negativo da ocupação urbana e atividade antrópica que gera “contribuições poluidoras difusas e pontuais para os mananciais que abastecem a cidade” o que compromete a qualidade da água. A avaliação de uso e cobertura das terras na área da Bacia do Ribeirão João Leite tem segundo Silva *et al.* (2009), em ordem decrescente o domínio de áreas de pastagem seguidas de áreas com solos expostos ou utilizados para agricultura e por último áreas de vegetação nativa e reflorestamento. Isto mostra o elevado índice de ação humana na área da bacia em questão.

Segundo Nishi *et al.* (2010) 29,75% da área da Bacia do João Leite está coberta com vegetação de cerrado remanescente e cerca de 70,25% da área está modificada pela ação humana. Esta vegetação se encontra em fragmentos sendo os maiores representados pela Fazenda Santa Branca na seção média e do Parque Ecológico Altamiro de Moura Pacheco na seção baixa, este último fragmentado em três partes pela passagem da BR-153/GO-060.

Por estar inserida no bioma Cerrado a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite tem sua vegetação original composta por diversas formações fitofisionômicas. Segundo Ribeiro & Walter (2009) são descritos onze tipos principais de vegetação para o bioma Cerrado, enquadrados em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre) conforme é representado na Figura 2.3. Ainda segundo esses autores, considerando-se também os subtipos neste sistema, são reconhecidos 25 tipos de vegetação.

FIGURA 2.3- Tipos de vegetação do bioma Cerrado.



Fonte: Ribeiro & Walter (2009).

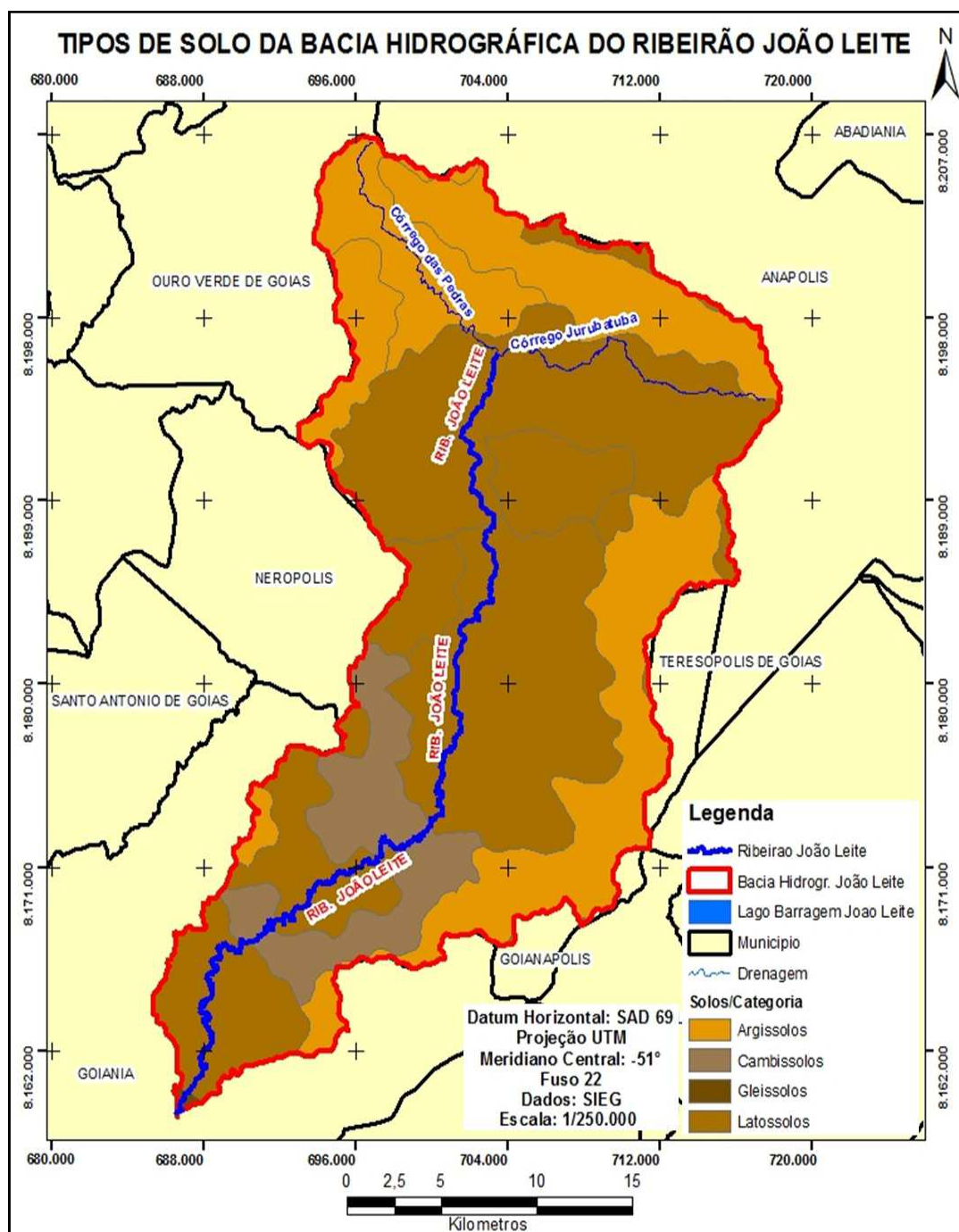
De acordo com Nascimento (1998) na bacia do Ribeirão João Leite estão presentes as seguintes formações vegetais: floresta estacional, cerradão, floresta aluvial e campos de várzea. Ainda de acordo com esse autor, as principais características dessas formações são:

- Floresta estacional - formação vegetal densa, cuja copa das árvores se tocam. Subdivide-se em três camadas. A primeira é composta por árvores de porte entre 25 e 30 metros, de troncos retos e cascas finas. Na segunda camada a altura das árvores varia entre 10 e 15 metros e as folhas são perenes. A última camada é composta por arbustos.
- Cerradão – formado por árvores de 15 a 30 metros de altura, densamente distribuídas, mas sem o contato entre as copas. No cerradão, há a presença de um substrato rasteiro composto por gramíneas. Os troncos dessas árvores são levemente retorcidos, as cascas são grossas e as folhas perenes.
- Floresta aluvial – formação vegetal tipicamente ribeirinha com estrutura semelhante à floresta ciliar. As árvores são de grande porte, com troncos retos, cascas finas e folhas perenes.
- Campos de várzea – também é uma formação que ocorre nas proximidades das margens dos cursos d'água. Sua principal característica é estar situada em áreas sujeitas a inundações periódicas. Em alguns casos ocorrem a formação de murundus, que segundo Resende *et al.* (2004) é um tipo de micro relevo em forma de pequena elevação, geralmente arredondado, muitas vezes apresentando solo e vegetação diferentes da área circundante .

2.3.1 - Solos

Quanto aos solos, a bacia do Ribeirão João Leite é composta em sua maioria por latossolos (quase 60% da área), seguida pela associação de argissolos/nitossolos (31%), conforme apresentado na Figura 2.4.

FIGURA 2.4– Mapa de tipo de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.



Fonte: O autor

2.3.1.1 – Argissolos (PVA)

Ocupando 32,65% da bacia a associação Argissolos, embora normalmente presente em áreas de relevo mais acidentado, é dotada de maior fertilidade natural e boa capacidade de retenção de água, o que, de acordo com Sano *et al.* (2008), os torna indicados

para pequenos agricultores e pecuaristas. Segundo o Manual Técnico de Pedologia/IBGE (2007) os solos desta classe têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), geralmente acompanhado de boa diferenciação também de cores e outras características. As cores do horizonte Bt variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A, são sempre mais escuras. A profundidade dos solos é variável, mas em geral são pouco profundos e profundos. É um dos solos mais expressivos do Brasil, sendo verificados em praticamente todas as regiões

2.3.1.2 – Cambissolos (Cx)

Com 9,72% da área da bacia, segundo o Manual Técnico de Pedologia/IBGE (2007), os Cambissolos são solos que podem ocorrer desde rasos a pouco profundos, além de apresentarem grande variabilidade também em relação às demais características. São solos minerais não hidromórficos, com horizonte A sobre horizonte B incipiente, ou seja, um horizonte pouco evoluído. Possuem pouca diferenciação de horizontes, ausência de acumulação de argila, textura franco-arenosa ou mais fina (mais argilosa), cores normalmente amareladas e brunadas. (BALDISSERA, 2005). Quando derivados de rochas cristalinas (gnaisse, granitos, migmatitos, xistos, filitos, etc.), de um modo geral, apresentam materiais primários facilmente decomponíveis no interior de sua massa, e podem ser muitas vezes, pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos.

2.3.1.3 – Gleissolos (Gj)

Representando uma parcela mínima da bacia (0,13%), são solos minerais hidromórficos, com horizonte Glei abaixo do horizonte superficial (A ou H, com menos de 40 cm) e cores características de oxi-redução, normalmente cinzentos ou azulados. São solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.). São mal, ou muito mal drenados, encharcados, suas maiores limitações de uso ocorrem em áreas baixas, com textura variável de média a muito argilosa, argila de atividade baixa ou alta, saturação por bases normalmente baixas, por vezes álicos. Ocorrem em praticamente todas as regiões brasileiras, ocupando principalmente as planícies de inundação de rios e córregos (IBGE, 2007).

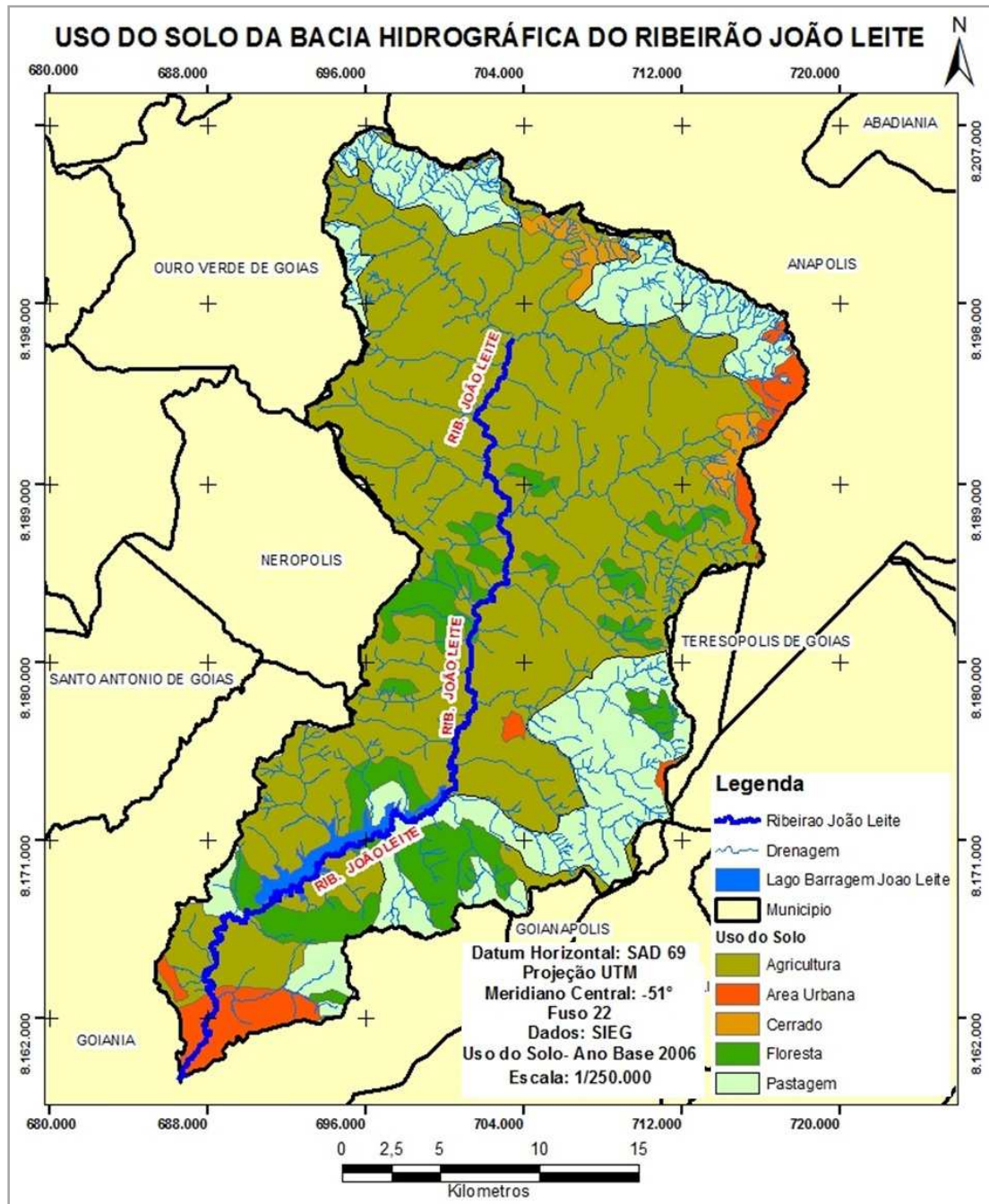
2.3.1.4 – Latossolos (LVe)

Com a maior representação na bacia (52,5%) os latossolos geralmente ocorrem em áreas de relevo adequado ao uso de maquinários (SANO *et al.*, 2008). São solos de horizonte B textural, que apresentam um incremento de argila com a profundidade e distinta individualização de horizontes. Os perfis são bem drenados, moderadamente porosos, de textura média ou argilosa, com estrutura em blocos subangulares. Geralmente possuem baixa fertilidade natural. Em geral, apresentam erosão moderada a forte, dependendo do relevo e da posição na paisagem. Cuidados especiais têm que ser tomados para o manejo destes solos, especialmente com aqueles que ocorrem em relevo acidentado, o que restringe sua utilização intensiva (MACEDO, 1994) apud (MORO, 2005). Possuem cores normalmente vermelhas a vermelho-amareladas, com teores de Fe_2O_3 (proveniente do ataque sulfúrico) iguais ou inferiores a 11% e, normalmente acima de 7%, não apresentam atração magnética. Ocorrem em praticamente todo o território brasileiro e quando de textura argilosa, são muito explorados com lavouras de grãos mecanizadas e quando de textura média, são usados basicamente com pastagens (IBGE, 2007).

2.3.2 - Uso e cobertura do solo

Segundo o mapeamento de uso e cobertura do solo elaborado em 2006 pela Agência Ambiental de Goiás na escala de 1:250.000, 63,6% da área da bacia do Ribeirão João Leite é utilizada para agricultura e 20,6% para pecuária. Somente cerca de 10% da área é coberta por remanescentes da vegetação original (Figura 2.5).

FIGURA 2.5 – Mapa de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.



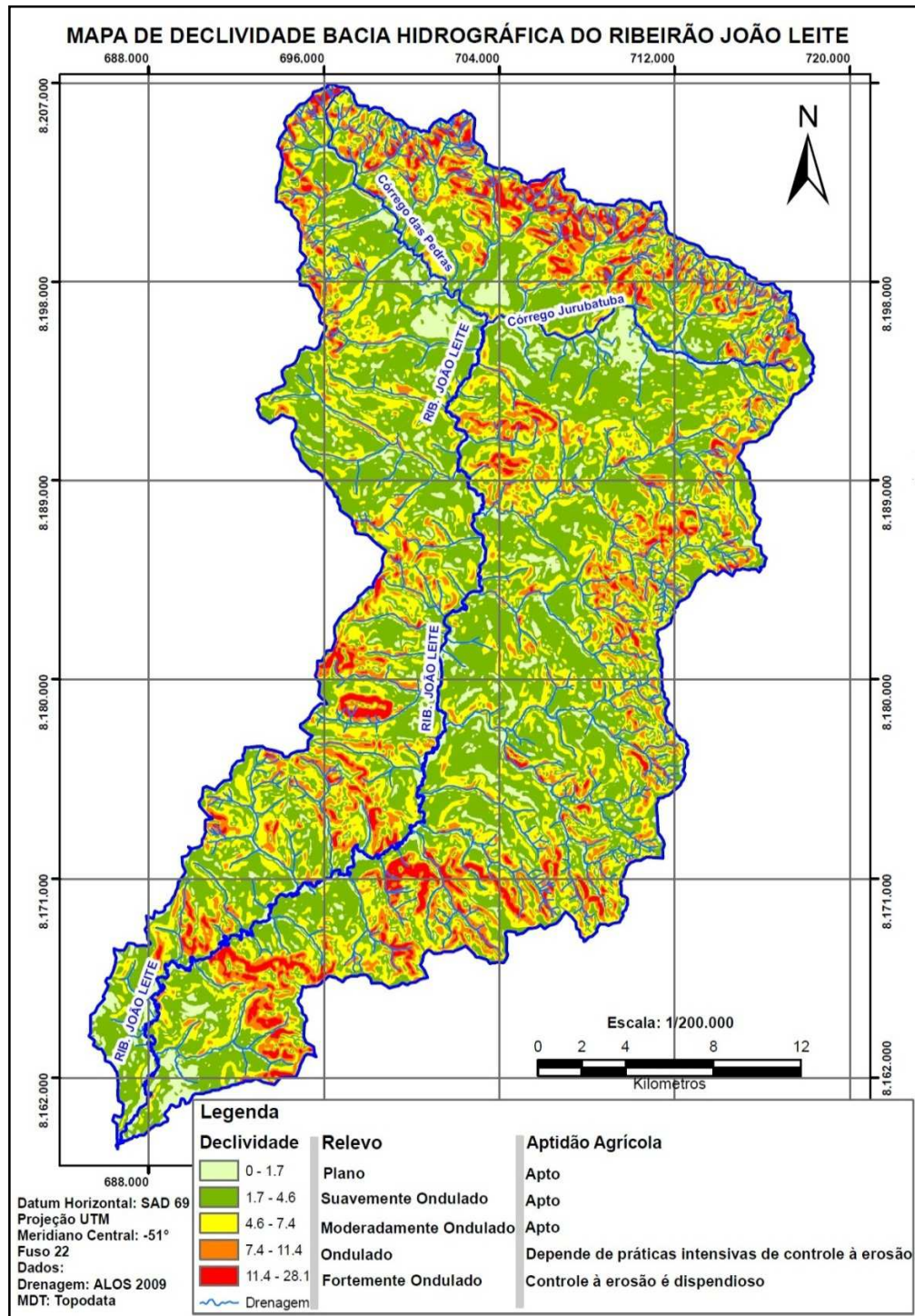
Fonte: O autor.

2.3.3–RELEVO

De acordo com Fushita (2006) tendo como referência a modificação da classificação da Embrapa para as classes de declividade, suas características e aptidão para a agricultura, cerca de 60% da área da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite é composta por relevo suavemente ondulado (entre 1,7 e 4,6° de inclinação). Apenas aproximadamente 10%

da área tem relevo ondulado a fortemente ondulado. Assim, a maior parte da área é considerada apta para agricultura, como é demonstrado na Figura 2.6.

FIGURA 2.6 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

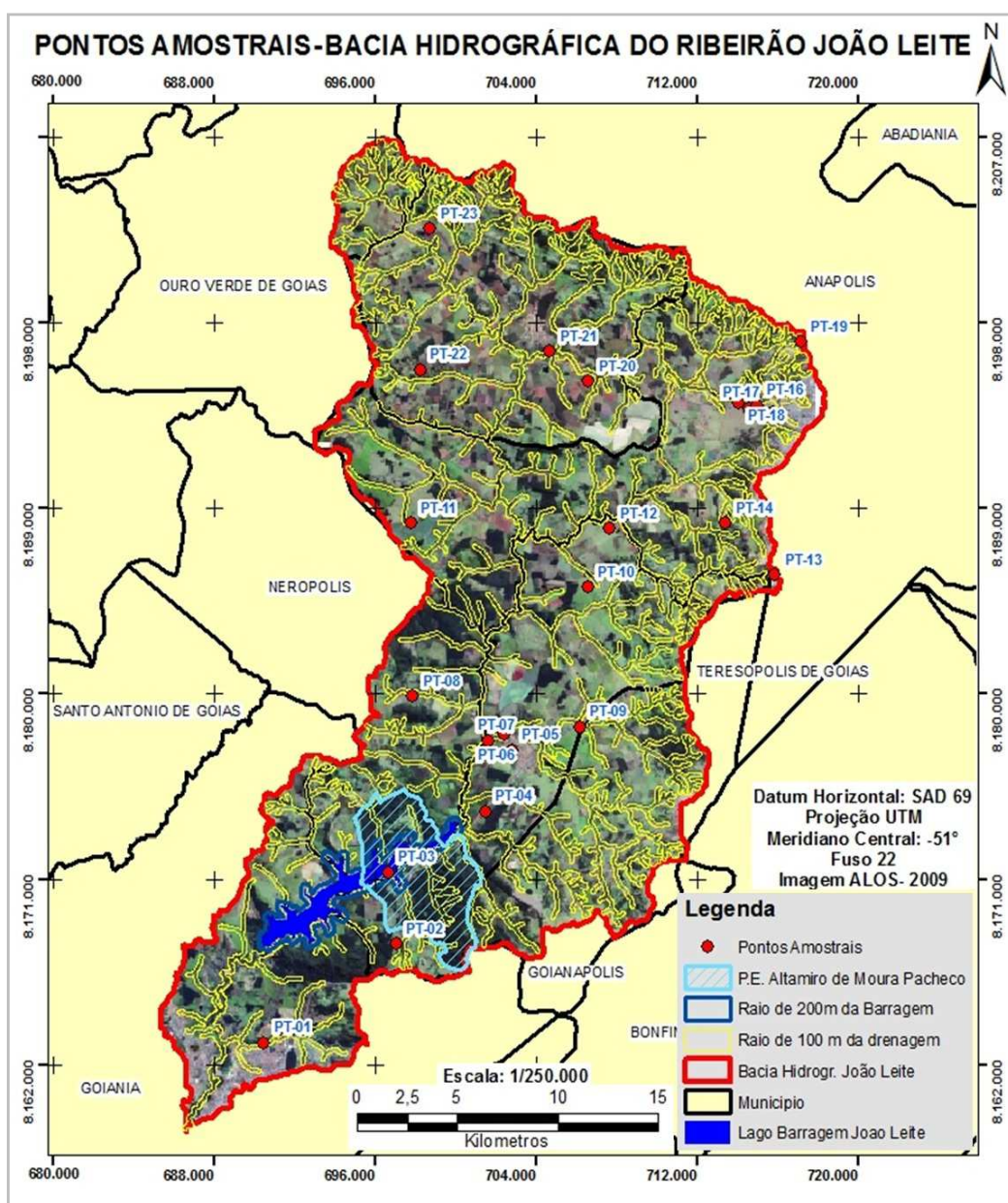


Fonte: O autor

2.3.4 - Ocupação na bacia

A fim de ilustrar exemplos da ocupação e de atividades causadoras de impactos na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, foi realizada uma visita “*in loco*” com o intuito de coletar pontos amostrais em sua extensão. A escolha desses pontos se deu de acordo com a facilidade de seus acessos e sua distribuição na área total da bacia. A Figura 2.7 apresenta um mapa contendo a localização e descrição dos pontos que caracterizam o local.

FIGURA 2.7– Pontos amostrais da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.



Fonte: O Autor

a) Ponto 01 - As Figuras 2.8 e 2.9 localizadas nas coordenadas UTM 690.472 m E, 8.163.083m N, apresentam pontos fotografados no perímetro urbano da cidade de Goiânia. Na Figura 2.8 observa-se um bueiro de drenagem de águas pluviais, e também a degradação ambiental devido ao acúmulo de detritos provavelmente carreados das áreas urbanizadas adjacentes em períodos chuvosos configura-se, portanto uma contribuição poluidora doméstica (VASCONCELOS, 2011). Percebe-se ainda na Figuras 2.9, outro bueiro construído recentemente para condomínio fechado instalado em parte na área de preservação do córrego. Não há vegetação de médio e grande porte devido o desbaste da mata ciliar naquela área.

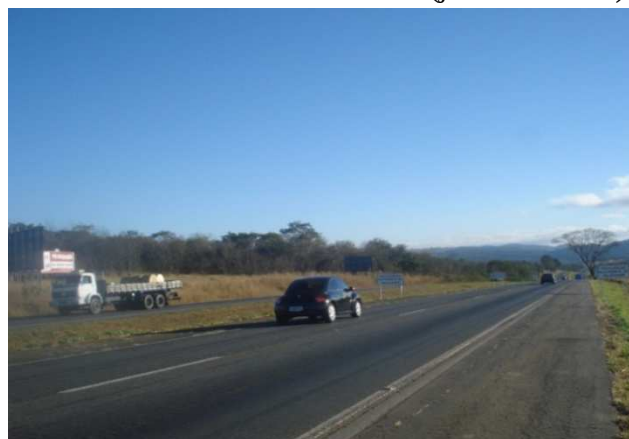
FIGURAS 2.8 e 2.9 – Assoreamento no Córrego Pedreira e Drenagem Pluvial no local (julho de 2011).



Fonte: O autor.

b) Ponto 02 – A Figura 2.10 localizada nas coordenadas UTM 697.055m E, 8.167.872m N, apresentam uma vista da BR 060/153, que corta a região da Bacia do Ribeirão João Leite. Observa-se ao longo da rodovia que a vegetação nativa está conservada principalmente no trecho que corta a reserva do Parque Altamiro de Moura Pacheco. Observa-se também que ao longo da rodovia encontram-se pastagens e áreas de agricultura.

FIGURA 2.10 – BR 060/153 (julho de 2011).



Fonte: O autor.

c) Ponto 03 – A Figura 2.11 localizada nas coordenadas UTM 696.654m E, 8.171.332m N. apresenta às margens do lago da barragem construída no Ribeirão João Leite. Observa-se uma paisagem que se apresenta em fase de construção, pois existem programas ambientais da Companhia de Saneamento do Estado de Goiás (SANEAGO) que prevêem a recomposição da vegetação às margens de todo o reservatório que servirá grande parte da população de Goiânia.

FIGURA 2.11– Área alagada da Barragem do Ribeirão João Leite (julho de 2011).



Fonte: O autor.

d) Ponto 04 - Na Figura 2.12 localizada nas coordenadas UTM 701.463m E, 8.174.255m N, observa-se uma grande área de pastagem e áreas de culturas agrícolas ao fundo. Esta paisagem está presente em grande parte da bacia, pois até o ano de 2005 cerca de 68% da bacia estava ocupada por atividades ligadas a agropecuária (SANTOS *et al.*, 2010).

FIGURA 2.12 – Pastagem e agricultura nas margens da BR 060/153 (julho de 2011).



Fonte: O autor.

e) Ponto 05 – A Figura 2.13 localizada nas coordenadas UTM 702.809m E, 8.177.233m N, apresenta parte da malha viária presente na bacia a qual é composta por vias sem pavimentação, estradas como a GO-466. Observa-se no período de estiagem a vegetação ressecada e o solo exposto pela abertura da via.

FIGURA 2.13– GO-466 (julho de 2011).



Fonte: O autor.

f) Ponto 06 - A Figura 2.14 localizada nas coordenadas UTM 702.391m E, 8.178.011m N, apresenta a região rural da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite onde observa-se que parte da vegetação ciliar ainda está presente.

FIGURA 2.14 – Vegetação existente em alguns corpos d'água (julho de 2011).



Fonte: O autor.

g) Ponto 07 – A Figura 2.15 localizada nas coordenadas UTM 701.608m E, 8.177.711m N, apresenta uma região da Bacia do Ribeirão João Leite próxima a cidade de Terezópolis de Goiás. Observa-se que devido à abertura de pastagens houve a retirada total da vegetação ciliar deste trecho do ribeirão.

FIGURA 2.15– Ribeirão João Leite a montante da barragem. (julho de 2011).



Fonte: O autor.

h) Ponto 08 - A Figura 2.16 localizada nas coordenadas UTM 697.872m E, 8.179.839m N, apresenta um local desmatado para despejo de terra de olarias, vulnerável a erosão, já com início de processos erosivos.

FIGURA 2.16 – Local de despejo de terra de Olarias (julho de 2011).



Fonte: O autor.

i) Ponto 09 - A Figura 2.17 localizada nas coordenadas UTM 706.176m E, 8.178.368m N, apresenta um córrego afluente do Ribeirão João Leite que passa neste ponto sob a BR 153. Observa-se neste ponto presença de vegetação ciliar a áreas de banho utilizadas pela população do entorno deste local.

FIGURA 2.17 – Córrego afluente do Ribeirão João Leite (julho de 2011).



Fonte: O autor.

j) Ponto 10 - A Figura 2.18 localizada nas coordenadas UTM 706.571m E, 8.185.138m N, apresenta uma área de pastagem na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.

FIGURA 2.18 – Área de pastagem. (julho de 2011).



Fonte: O autor.

k) Ponto 11 - A Figura 2.19 localizada nas coordenadas UTM 697.767m E, 8.188239m N, apresenta uma área de cultura de cana de açúcar presente nas margens da GO-222.

FIGURA 2.19 – Cultura de cana de açúcar (julho de 2011).



Fonte: O autor.

l) Ponto 12 - A Figura 2.20 localizada nas coordenadas UTM 707.657m E, 8.187.979m N, apresenta um trecho da rodovia que liga Anápolis às cidades de Campo Limpo e Ouro Verde (parte de seus municípios fazem parte da Bacia do Ribeirão João Leite).

FIGURA 2.20 – GO-333 (julho de 2011).



Fonte: O autor.

m) Ponto 13 - A Figura 2.21 localizada nas coordenadas UTM 715.865m E, 8.185.717m N, apresenta uma região urbana no município de Anápolis. Observa-se elementos constituintes das áreas urbanizadas como vias, aglomerados de construções como comércio e residências. Presença das infraestruturas urbanas como redes elétrica e telefônica e de veículos automotores. Comum às outras áreas urbanas na região de estudo ocorre grande impermeabilização do solo em função do processo urbanizador até 2005 correspondendo a cerca de 11% da área da bacia (SANTOS *et al.*, 2010).

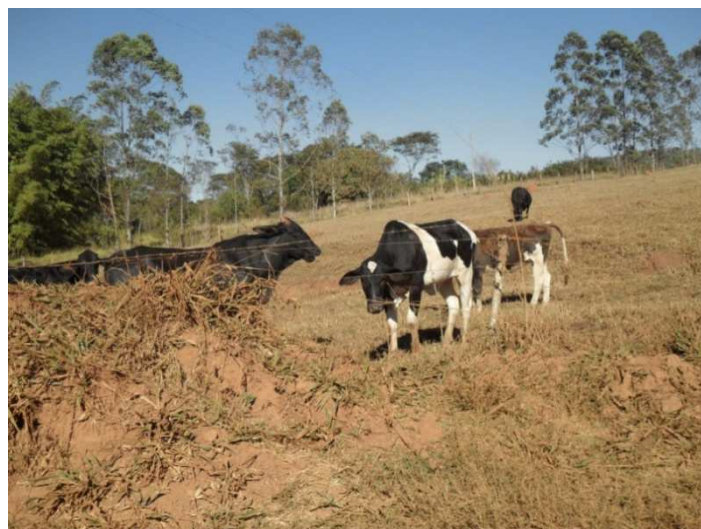
FIGURA 2.21 – Perímetro urbano da cidade de Anápolis (julho de 2011).



Fonte: O autor.

n) Ponto 14 - A Figura 2.22 localizada nas coordenadas UTM 713.402m E, 8.188.237m N, apresenta uma área de pastagem na bacia em local de declividade acentuada.

FIGURA 2.22 – Pastagem em local de declividade acentuada (julho de 2011).



Fonte: O autor.

o) Ponto 15 - As Figuras 2.23 e 2.24 localizadas nas coordenadas UTM 715.760m E, 8.193.614m N, descrevem uma faixa em processo de urbanização no município de Anápolis, abertura de vias e divisão de área em lotes. Observa-se que a transição entre o urbano e rural neste trecho é direta, logo após regiões urbanizadas ocorrem áreas de pastagens. Observa-se também a região de olarias em Anápolis no bairro Vila Fabril.

FIGURAS 2.23 e 2.24 – Faixa em processo de urbanização e olarias na cidade de Anápolis (julho de 2011).



Fonte: O autor.

p) Ponto 16 - A Figura 2.25 localizada nas coordenadas UTM 714.979m E, 8.193.951m N, apresenta o Córrego do Ricardo na região urbana de Anápolis. Percebe-se a degradação ambiental da área sem a presença da faixa de preservação da mata ciliar ao curso d'água. Ao fundo ocupações tipo chácaras na transição entre a área urbana e rural do município.

FIGURA 2.25 – Córrego visivelmente degradado (julho de 2011).



Fonte: O autor.

q) Ponto 17 - A Figura 2.26 localizada nas coordenadas UTM 714.589m E, 8.193.853m N, apresenta as instalações da empresa Mouran Alimentos, frigorífico.

FIGURA 2.26 – Frigorífico em Anápolis (julho de 2011).



Fonte: O autor.

r) Ponto 18 - A Figura 2.27 localizada nas coordenadas UTM 714.032m E, 8.194.115m N, apresenta uma olaria presente no município de Anápolis.

FIGURA 2.27– Olaria (julho de 2011).



Fonte: O autor.

s) **Ponto 19** - A Figura 2.28 localizada nas coordenadas UTM 717.143m E, 8.197.034m N, apresenta o perímetro urbano da Cidade de Anápolis. Ocorrem elevados índices de impermeabilização do solo comuns às áreas urbanas.

FIGURA 2.28 – Perímetro Urbano da Cidade de Anápolis (julho de 2011).



Fonte: O autor.

t) **Ponto 20** - A Figura 2.29 localizada nas coordenadas UTM 706.598m E, 8.195.119m N, apresenta uma área de pastagem presente no Município de Anápolis. É possível perceber as grandes áreas destinadas a esta utilização do solo em 2005, cerca de 35,9% da área da bacia é ocupada por pastagens sendo a agropecuária a principal atividade econômica da região em estudo. As principais espécies presentes são forrageiras do tipo Capim Colonião, Napier e Jaraguá (SANTOS *et al.*, 2010).

FIGURA 2.29 – Área de pastagem presente no Município de Anápolis (julho de 2011).



Fonte: O autor.

u) Ponto 21 - A Figura 2.30 localizada nas coordenadas UTM 704.665m E, 8.196.567m N, apresenta o Córrego Jurubatuba, região de Campo Limpo de Goiás. Observa-se áreas degradadas devido substituição de vegetação ciliar por pastagens. Presença de processos erosivos no leito do córrego.

FIGURA 2.30 – Córrego Jurubatuba (julho de 2011).



Fonte: O autor.

v) Ponto 22 - A Figura 2.31 localizada nas coordenadas UTM 698.227m E, 8.195.702 m N, apresenta uma área de pastagem em contraste com área de vegetação preservada. Segundo Nishi *et al.* (2010) a região deste estudo apresenta grande fragmentação nas áreas de vegetação remanescente principalmente na porção alta da bacia referente aos municípios de Anápolis, Campo Limpo de Goiás e Ouro Verde principalmente em função da abertura de áreas agropastoris.

FIGURA 2.31– Área de pastagem em contraste com área de vegetação (julho de 2011).



Fonte: O autor.

x) Ponto 23 - A Figura 2.32 localizada nas coordenadas UTM 698.742m E, 8.202.526m N. Descrição: Área apresentando os usos do solo com maior contribuição na área da bacia em estudo, áreas de pastagem e com cultura de eucalipto para extração de madeira.

FIGURA 2.32 – Áreas de pastagem e cultura (julho de 2011).

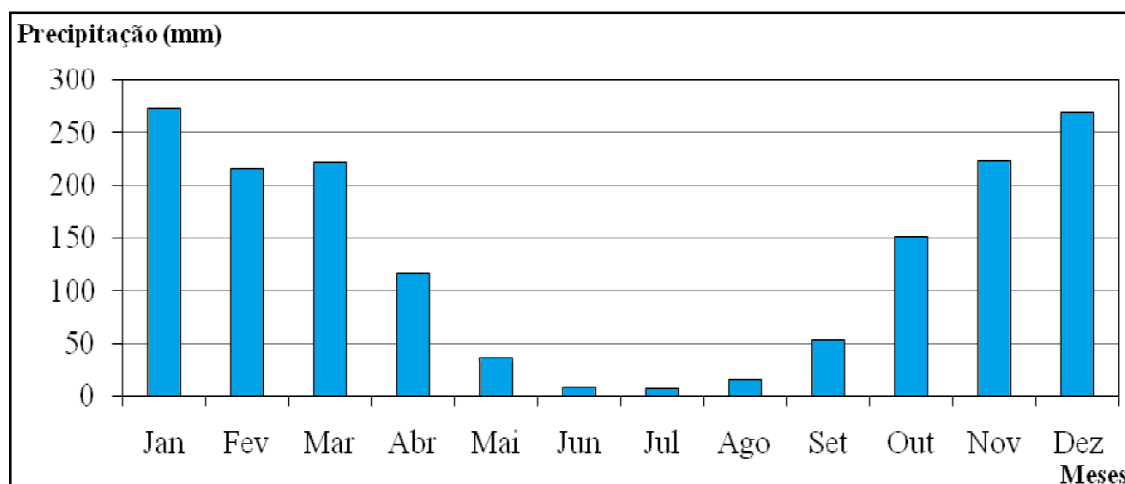


Fonte: O autor.

2.3.5 – Clima

O clima regional da área da bacia é do tipo AW, segundo a classificação de Koeppen. Trata-se, então, de um clima tropical com uma estação seca e outra chuvosa, em que todos os meses do ano têm temperatura média do ar superior a 18° C e pelo menos um dos meses do ano tem precipitação média total inferior a 60 mm (AYOADE, 2003). De acordo com Afonso (2004) a precipitação pluvial na região chega a 1.600 mm anuais. Na Figura 2.33 ilustra o comportamento da precipitação pluvial durante todo ano na bacia.

FIGURA 2.33 – Distribuição da precipitação pluvial média mensal (1973-2006) na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. Fonte: série histórica dos postos pluviométricos Jaraguá, Fazenda Boa Vista, Ouro Verde de Goiás, Goianápolis, Ponte Anápolis/Brasília (HIDROWEB, 2009), CCTA/Secretaria da Agricultura, Goiânia/Agronomia e Embrapa Arroz e Feijão.



Fonte: Assad, 2005.

2.4 - CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA

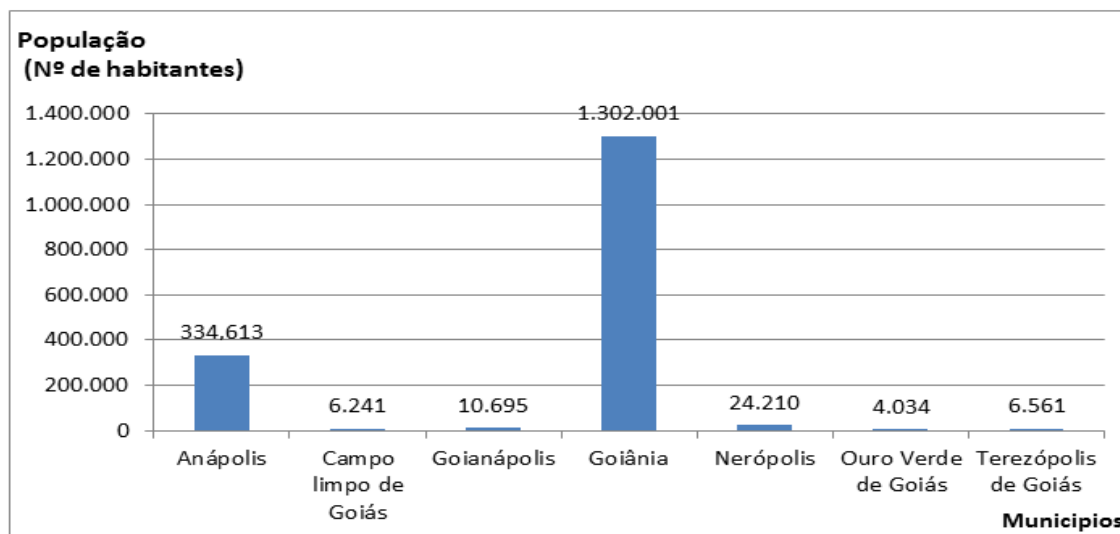
Da área total da bacia do Ribeirão João Leite, a maior porcentagem é composta pelo município de Anápolis (24,9%). Entretanto, Campo Limpo de Goiás e Terezópolis de Goiás estão completamente inseridos nessa bacia (Quadro 2.2).

QUADRO 2.2 – Distribuição da área dos municípios na bacia do Ribeirão João Leite.

Município	Área total do município (km ²)	Distribuição da área dos municípios na bacia (%)
Anápolis	918,7	24,9%
Campo limpo de Goiás	156,2	20,6%
Goianápolis	162,4	15,5%
Goiânia	739,5	12,7%
Nerópolis	204,2	9,9%
Ouro Verde de Goiás	209,7	2,4%
Terezópolis de Goiás	107,0	14,1%

Os municípios que compõem a bacia do Ribeirão João Leite tem aproximadamente 1.690.000 habitantes, basicamente concentrados em dois municípios: Goiânia (com 77%) e Anápolis (com 20%), conforme observado na Figura 2.34.

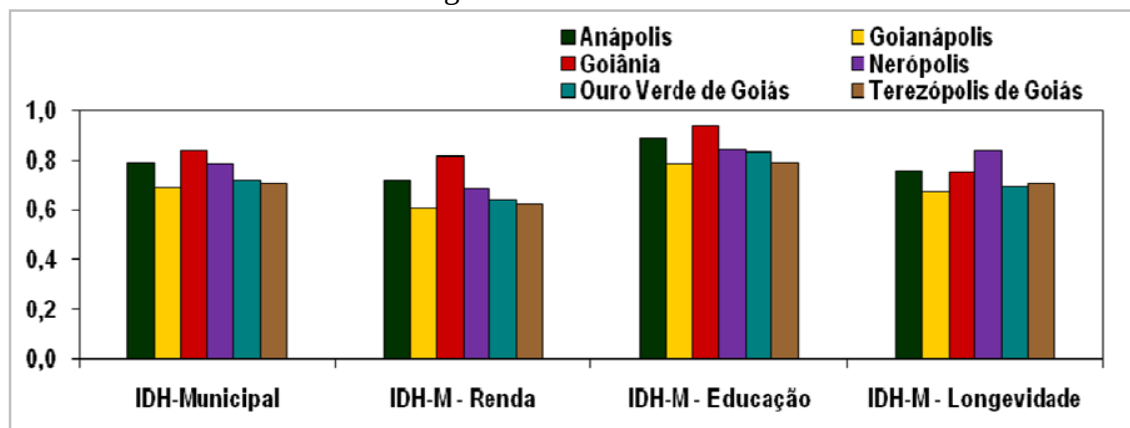
FIGURA 2.34 – População dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.



Fonte: Censo Demográfico 2010 – IBGE.

Segundo Papaleo e Martins Junior (2008), apenas quatro bairros de Goiânia (Jardim Guanabara I, II, III e IV) somam mais de 27 mil habitantes, o que é uma população maior que a de cinco dos municípios situados dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. Conforme apresentado por Rabelo (2009), o valor médio do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios localizados na bacia do Ribeirão João Leite é de 0,75, variando entre 0,61 e 0,93 (Figura 2.35). Goiânia tem o IDH-Municipal, o IDH-Renda e o IDH-Educação mais elevados, enquanto Goianápolis apresenta o menor IDH Municipal do grupo e Nerópolis o maior IDH longevidade. O IDH varia de 0 a 1, sendo que de 0 a 0,49 ele é classificado como baixo, de 0,5 a 0,79 é médio e acima de 0,8 é elevado.

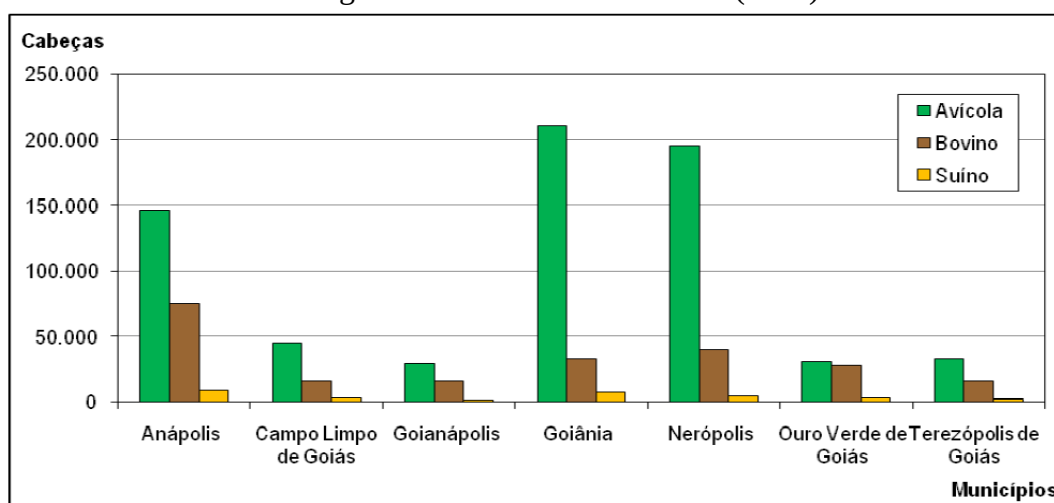
FIGURA 2.35– IDH-Municipal, Renda, Educação e Longevidade dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.



Fonte: Censo 2000, IBGE. Organização: SEPLAN-GO / SEPIN / Gerencia de Estatística Socioeconômica. Obs.: O município de Campo Limpo não consta nesta figura por ter sido emancipado em 2001

Do quantitativo total de 945.000 animais criados nos municípios localizados na bacia do Ribeirão João Leite, 73% são aves, 24% são bovinos e 3% são suínos (Figura 2.36). A produção de aves encontra-se concentrada em Goiânia (30%), Nerópolis (28%) e Anápolis (21%). O rebanho suíno também se distribui com mais intensidade nesses três municípios, mas na seguinte ordem: Anápolis (28%), Goiânia (25%) e Nerópolis (14%). Anápolis é o maior produtor de bovinos do grupo, com 33% desse rebanho.

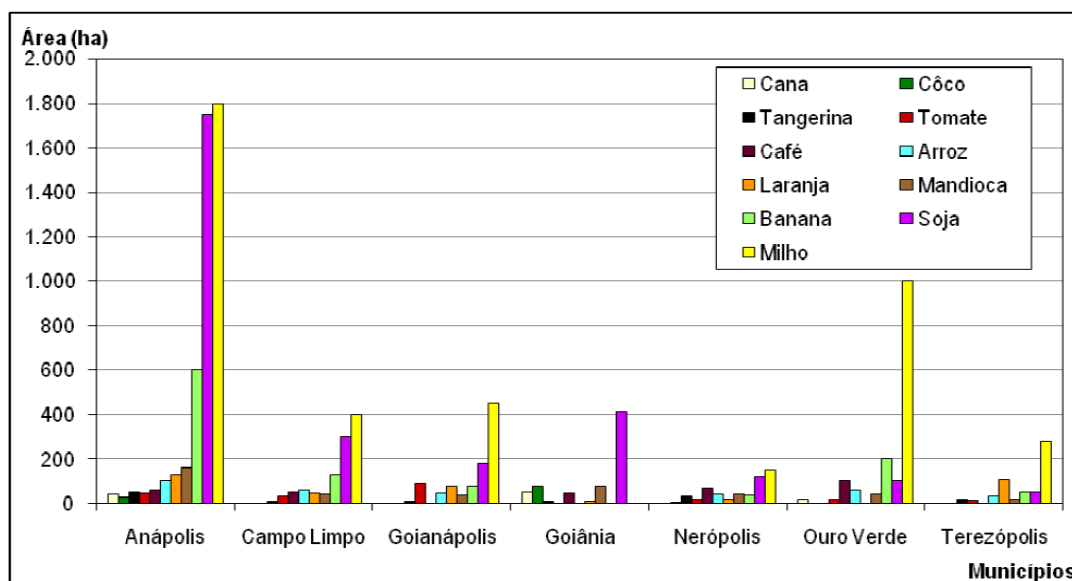
FIGURA 2.36 – Efetivo de aves, bovinos e suínos nos municípios localizados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (2004).



Fonte: IBGE. Organização: SEPLAN-GO / SEPIN / Gerência de Estatística Socioeconômica

Na bacia do Ribeirão João Leite produz-se grãos, cereais e frutíferas. Na Figura 2.37 encontram-se distribuídas as áreas destinadas a produção agrícola em 2007 por tipo de produto nos municípios localizados nessa bacia. Embora esteja registrado que esses municípios produzem até doze produtos, o milho, a soja e a banana ocupam praticamente 80% das áreas utilizadas para agricultura. Dos aproximadamente 10.200 hectares destinados à produção agrícola, 47,3% encontra-se em Anápolis. Já Nerópolis é o município da bacia que menos possui área utilizada para produção agrícola: 5,3 %.

FIGURA 2.37 – Área (ha) destinada à produção agrícola (2007) dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.



Fonte: SEPLAN-GO / SEPIN / Gerência de Estatística Socioeconômica.

2.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise exploratória da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite demonstra que a mesma é formada por sete municípios goianos e que sua área é tomada por uma intensa atividade agropecuária, em torno de 84,2% da área da bacia, devido seu relevo ser bastante plano e possuir solos férteis, em seguida tem-se as áreas urbanas com 5,8% e por fim a vegetação remanescente, 10% da área total.

O mapeamento dos pontos amostrais evidenciaram que a cobertura vegetal formadora da mata ciliar do ribeirão está em grande parte degradada. De acordo com os dados obtidos tem-se, portanto, uma paisagem bastante antropizada o que provavelmente pode influenciar na qualidade da água.

Uma área importante situada na bacia é o Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco criado em 1992 o qual está localizado nos municípios de Goianápolis, Goiânia, Nerópolis e Terezópolis de Goiás, parque esse que merece uma atenção especial por parte dos órgãos de fiscalização, pois o mesmo serve como zona de amortecimento para parte do reservatório do Ribeirão João Leite.

Já quanto ao perfil dos municípios que compõem a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite nota-se a necessidade de uma abordagem integrada que considere não apenas os aspectos biogeográficos, mas também socioeconômicos e o papel que os mesmos

desempenham na definição da antropização da bacia de forma geral, mas principalmente quanto a qualidade da água e na deterioração dos ecossistemas.

Com a construção da barragem para abastecimento de grande parte da cidade de Goiânia é importante aprofundar estudos na área de abrangência da bacia.

CAPITULO III: AVALIAÇÃO MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT-5

3.1 – INTRODUÇÃO

Determinada situação ambiental é resultante de processos dinâmicos e interativos que ocorrem entre os diferentes elementos que compõem o meio ambiente, sejam naturais ou sociais. A percepção da qualidade ambiental é determinada pela valoração relativa de cada componente associada às características naturais e antrópicas de cada região (IBAMA, 2001).

Com relação às áreas de bacias hidrográficas, a preservação dos corpos hídricos é de suma importância para proporcionar o bem-estar da população e, ainda, proporcionar qualidade ambiental aos rios que são importantes, não somente para o abastecimento de água, mas também para tantas outras atividades rurais. Nesse contexto se encaixa a Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.

De acordo com Rabelo (2009) o geoprocessamento, por permitir uma abordagem integrada de todo o meio físico, associando-o aos aspectos sociais, econômicos e políticos, pode ser adotado como uma ferramenta eficiente para localizar áreas críticas onde se devem concentrar esforços visando à manutenção e/ou recuperação da qualidade da água.

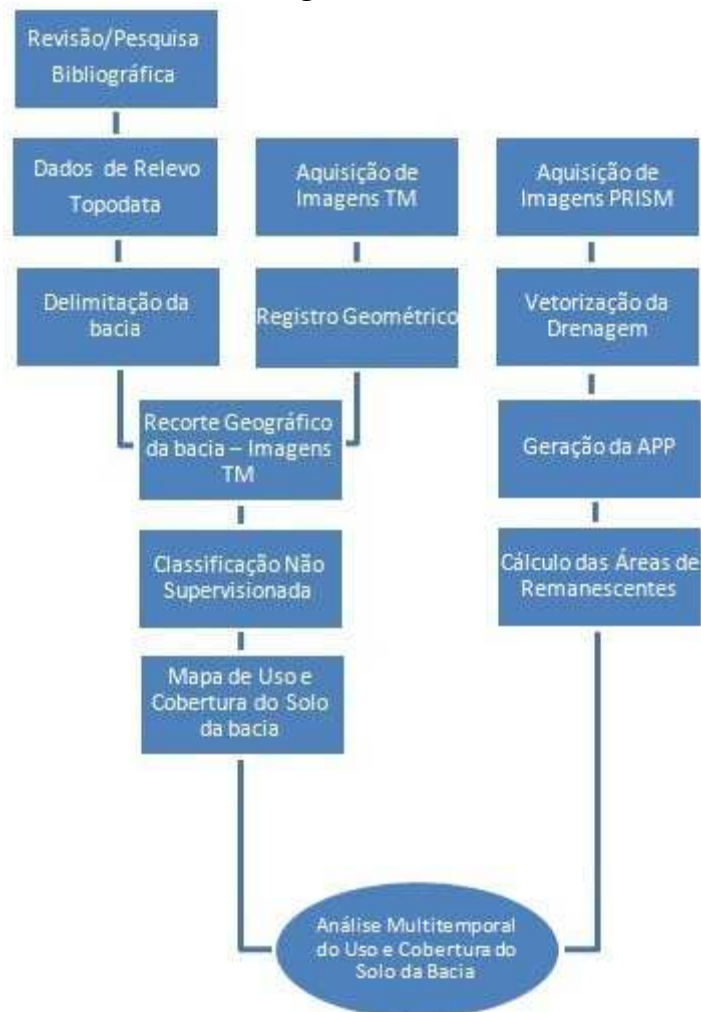
Para Guimarães *et al.* (2000), junto com a evolução do geoprocessamento, os produtos de sensores orbitais também ampliaram suas aplicações, principalmente a partir das últimas décadas. Atualmente, eles permitem observar a superfície terrestre nas mais diversas escalas temporais, espaciais e espectrais, garantindo, assim, fontes de informações confiáveis e frequentes sobre a paisagem.

A análise multitemporal de imagens de satélites permite avaliar as alterações de origem antropogênica, além de fornecer informações essenciais para o manejo eficiente dos recursos naturais. Desta forma, o presente capítulo teve como objetivo avaliar as alterações do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, por meio da interpretação multitemporal de imagens do TM/Landsat-5 juntamente com análise das Áreas de Preservação Permanentes (APP's) sem cobertura vegetal nativa contidas na bacia.

3.2 - MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para atender aos objetivos propostos compreendeu uma combinação de procedimentos organizados, conforme o diagrama ilustrado na Figura 3.1.

FIGURA 3.1 - Fluxograma de atividades realizadas.



Para realização do trabalho inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o histórico da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite assim como os métodos de delineamento de bacias hidrográficas a partir de dados de relevo obtidos pelo projeto TOPODATA, o qual segundo Valeriano e Rosseti (2009), foi elaborado a partir de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), e que se constituiu em um refinamento do MDE original, alterando a resolução espacial de 90 metros para 30 metros, por meio da aplicação de processos geoestatísticos (krigagem).

Além dos dados TOPODATA também foram adquiridas imagens do satélite Landsat-5 sensor TM (*Thematic Mapper*) com resolução espacial de 30 metros. As imagens

adquiridas foram datadas dos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2011 as quais foram registradas (georreferenciadas) utilizando a base de dados do mosaico *Geocover* que disponibiliza imagens obtidas no ano 2000 pelo sensor ETM+, que está a bordo do satélite Landsat-7. A base de dados *Geocover* é formada por um mosaico de imagens padronizadas e corrigidas geometricamente para toda a superfície do planeta.

Após o georreferenciamento as imagens foram recortadas utilizando o limite geográfico da bacia hidrográfica gerado por meio dos dados de relevo. Em seguida procedeu-se à classificação digital das imagens com o objetivo de separar as áreas de agricultura, pastagem, remanescentes de vegetação nativa, perímetro urbano e hidrografia empregando-se o algoritmo de classificação não supervisionada *K-Means*.

Segundo Arthur & Vassilvitskii (2006), o *K-means* é um algoritmo de aglomeração não-supervisionado e sua popularidade pode ser explicada pela sua baixa complexidade, agilidade de desenvolvimento e a facilidade de entendimento de suas propriedades matemáticas. Uma das principais características do algoritmo reside no fato de que o número de classes deve ser estabelecida *a priori*. Sendo assim, o algoritmo produzirá uma solução baseada na escolha inicial dos centróides que representam cada classe. Neste estudo estabeleceu-se o número de 10 classes, com 5 iterações e posteriormente o seu agrupamento.

O agrupamento das classes espectrais obtidas na classificação não supervisionada foi realizado com auxílio do *link* dinâmico de imagens no *software* Envi. Esse *link* permite que o conteúdo de uma imagem seja visualizado dinamicamente sobre outra, facilitando à identificação e associação das classes espectrais resultantes da classificação que uma vez identificadas foram agrupadas.

Após o agrupamento, foi realizado o processo de vetorização automática, e então foram calculadas as áreas das classes dos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2011 utilizando o ArcGIS 9.3.

Posteriormente foram delimitadas as Áreas de Preservação Permanente (APP) contidas na bacia de acordo com a Lei 4.471 de 15 de setembro de 1965 do Código Florestal Brasileiro que define:

“Art. 2º - Consideram-se áreas de preservação permanente, pelo efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situada:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

1) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

- 2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- 3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- 4) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- 5) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;
- c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
- g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
- h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação."

Foram delimitadas então as APP's ao longo do Ribeirão João Leite e seus afluentes para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2011. Foi utilizada a operação "*Buffer*" (área de influência), delimitando assim essas áreas de acordo com a largura dos cursos d'água contidos na bacia hidrográfica. Além de gerar as APP's foi gerado também, para fins comparativos, um "*Buffer*" com 200 metros de largura a partir desses mesmos cursos d'água para os anos de 1985 e 2011. Essa distância foi adotada com base na faixa de proteção no entorno do lago da barragem. Para realizar esse procedimento foi utilizada uma base vetorial da drenagem da bacia, a qual foi gerada por meio da vetorização de uma imagem do satélite ALOS sensor PRISM com 2,5 metros de resolução espacial datada do ano de 2009.

Foi gerado ainda um mapa de declividade com base nos dados de relevo TOPODATA.

3.3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a classificação da imagem multiespectral do TM/Landsat-5 foi possível mapear cinco diferentes tipos de uso e cobertura do solo presentes na área em estudo: agricultura, hidrografia, pastagem, perímetro urbano e remanescentes de vegetação nativa.

Como resultado da classificação foram gerados mapas do uso e cobertura do solo na escala 1:250.000 contendo o percentual de ocupação dentro da bacia. Além do cálculo desse percentual para toda a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, foi realizado uma análise para os sete municípios contidos na mesma.

No ano de 1985 o uso predominante do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite era o de pastagem (40,7%) seguido de agricultura (20,8%), nesse ano ocorreu o maior percentual de remanescentes de vegetação nativa (25,9%) comparado com os demais anos analisados nesse estudo, o perímetro urbano representa 3,5% da área da bacia, conforme é mostrado na Figura 3.2.

No ano de 1990 o uso predominante do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite continuou sendo de pastagem, porém com uma leve queda (39,4%), em relação ao ano de 1985, e com um considerável aumento nas áreas de agricultura (36,8%), nesse ano foi possível observar um pequeno decréscimo nos remanescentes de vegetação nativa (20,1%), o perímetro urbano continuou representando 3,5% da área da bacia.

Em 1995 a pastagem (39,5%), a agricultura (35,9%) assim como os remanescentes de vegetação nativa (20,5%) não sofreram maiores variações se comparadas com o ano de 1990, já o perímetro urbano (3,8%) apresentou características de expansão urbana.

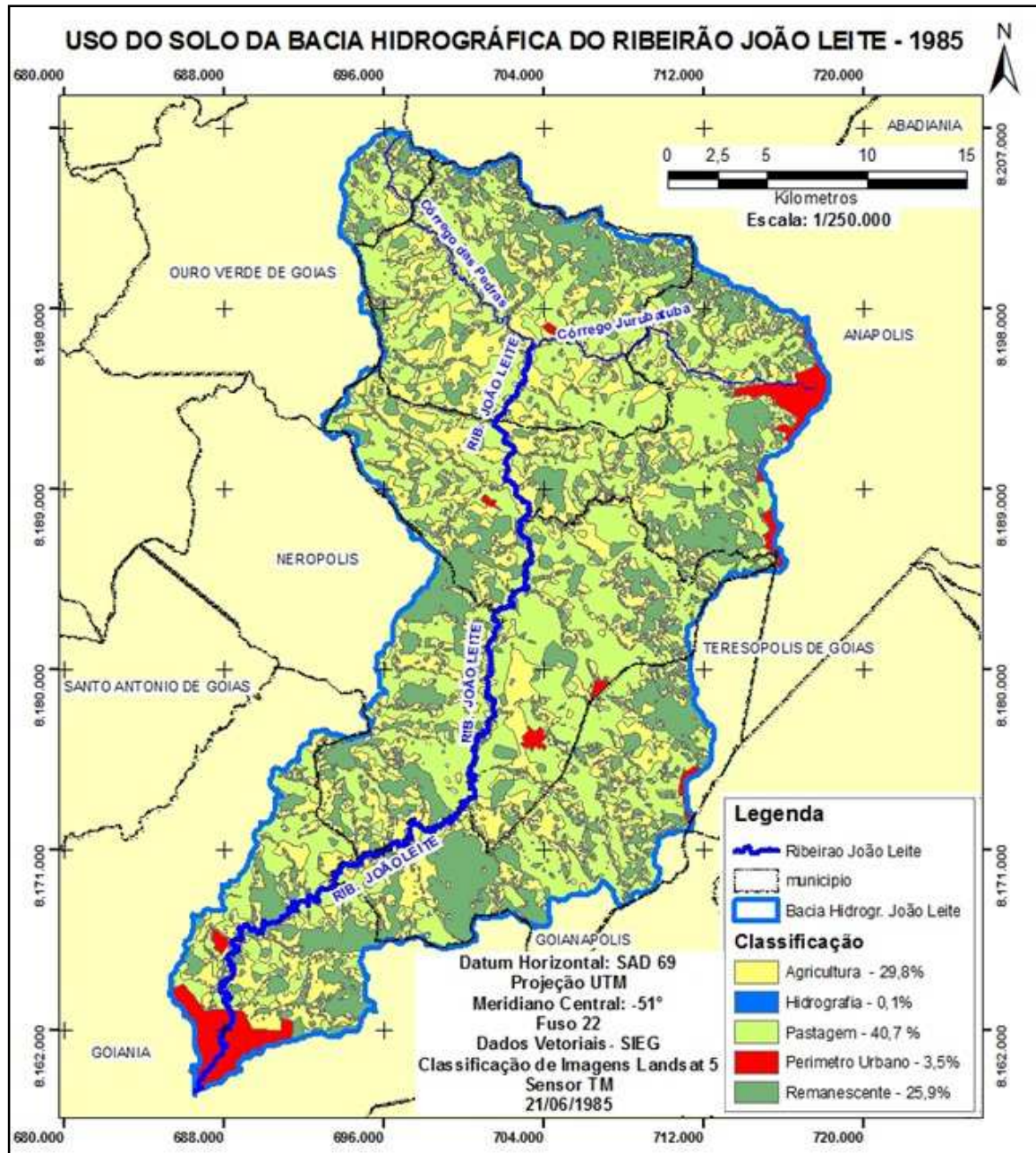
Os resultados referentes ao ano 2000 mostraram que a pastagem (32,8%) sofreu um considerável decréscimo, na mesma proporção que a agricultura (41,9%) teve um considerável aumento, as áreas de remanescentes de vegetação nativa (19,3%) sofreram uma queda e o perímetro urbano passou de 3,8% no ano de 1995 para 5,7% o que indicou uma expansão urbana.

No ano de 2005 observou-se um pequeno aumento da classe pastagem (36,1%) e a agricultura comparada ao ano 2000 teve uma queda de 2,7% (39,2%) já os remanescentes de vegetação nativa (18,9%) sofreram um leve decréscimo, e o perímetro urbano (5,7%) apresentou o mesmo valor.

Na última análise, a do ano de 2011 a pastagem (39,2%) apresentou um aumento e a agricultura (34,9%) um decréscimo se comparadas com o ano de 2005, os remanescentes de vegetação nativa (18,5%) continuaram em decréscimo, e o perímetro urbano com o mesmo valor (5,7% da área da bacia). Nos demais anos analisados a hidrografia apresentou uma variação de 0,1 e 0,2% da área da bacia, com o funcionamento da barragem do Ribeirão João Leite no ano de 2010 esse valor subiu para 1,8% devido o represamento das águas do ribeirão no reservatório conforme é mostrado na Figura 3.3.

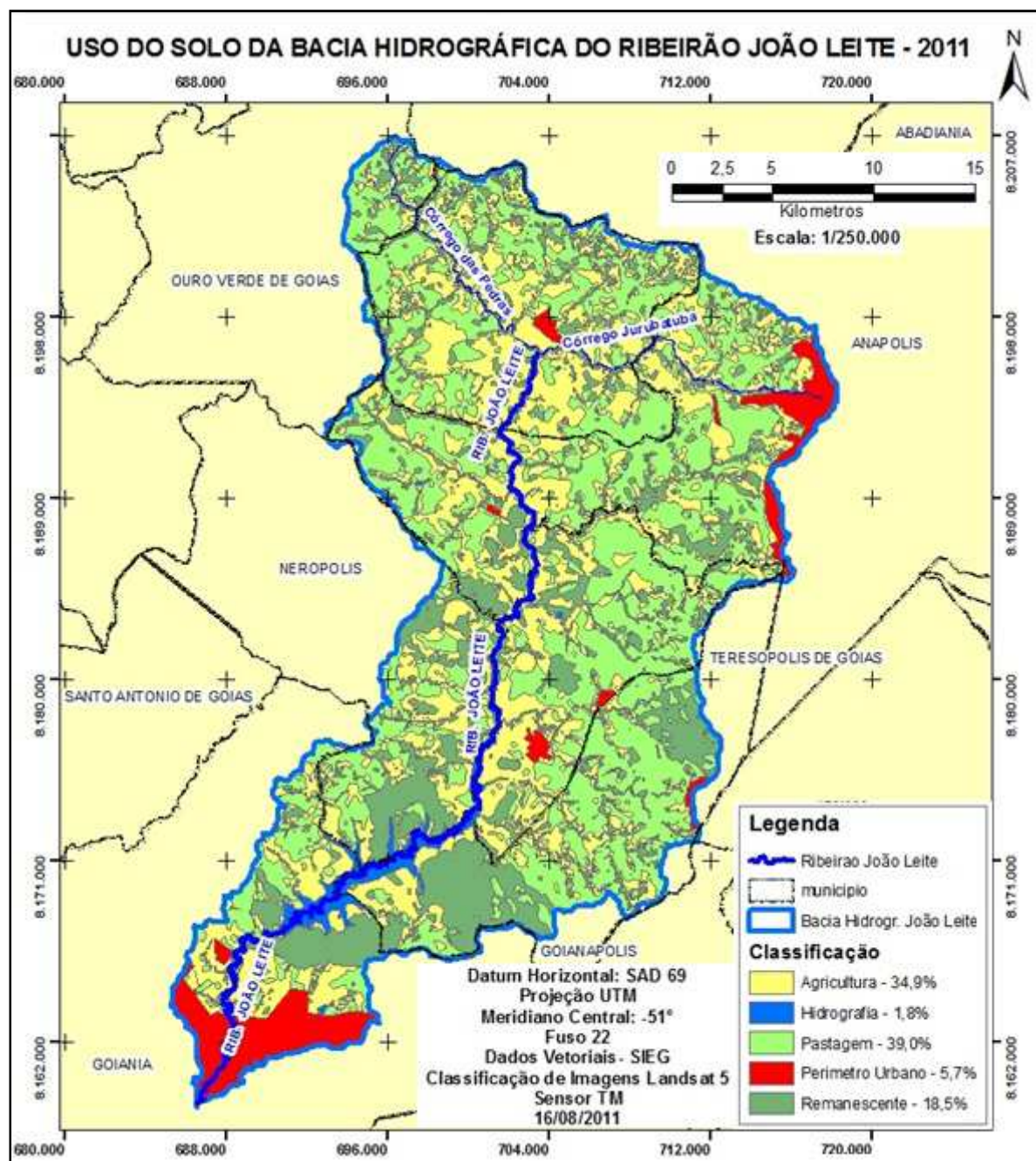
No geral, os resultados apresentam uma grande oscilação quando analisamos as classes de agricultura e pastagem como é apresentado no Quadro 3.1 e na Figura 3.4.

FIGURA 3.2 - Uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite de 1985.



Fonte: O autor.

FIGURA 3.3 - Uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite de 2011.

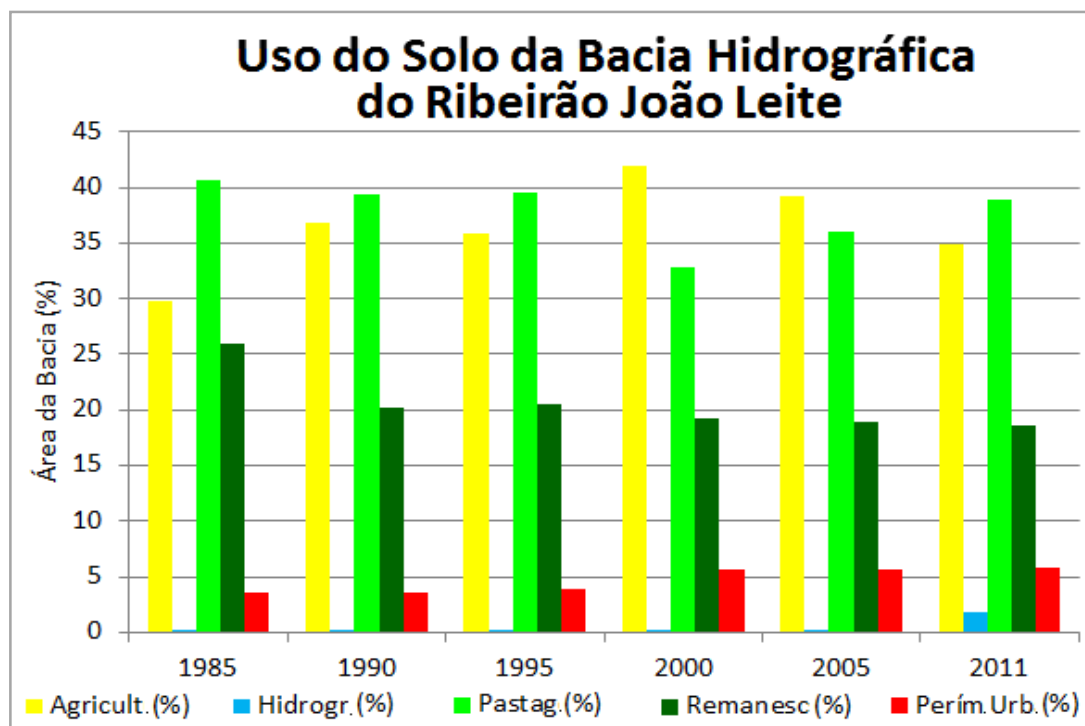


Fonte: O autor.

QUADRO 3.1 - Valor das áreas (%) classificadas entre os anos de 1985 e 2011.

Classe	Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite					
	1985	1990	1995	2000	2005	2011
Agricultura (%)	29,8	36,8	35,9	41,9	39,2	34,9
Hidrografia (%)	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	1,8
Pastagem (%)	40,7	39,4	39,5	32,8	36,1	39,0
Remanescente (%)	25,9	20,1	20,5	19,3	18,9	18,5
Perímetro Urbano (%)	3,5	3,5	3,8	5,7	5,7	5,7

FIGURA 3.4 - Representação do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.



Fonte: O autor.

Conforme mostrado no Quadro 3.1 e na Figura 3.4, com exceção da oscilação dos valores entre as classes de agricultura e pastagem, os resultados mostram um considerável decréscimo na área de remanescentes de vegetação nativa (7,4%) entre 1985 e 2011 e um leve acréscimo no perímetro urbano (2,2%) entre 1985 e 2000, a partir desse ano a expansão desses perímetros dá lugar ao adensamento urbano, principalmente no município de Goiânia.

Se tratando de recursos hídricos, existe uma limitação do satélite Landsat-5 quanto à representação de pequenos corpos d'água devido sua resolução espacial ser de 30 metros, ou seja, a imagem representa elementos acima de 30 metros com boa definição, no entanto os elementos menores são de difícil identificação nessas imagens. Mesmo com essa limitação pôde-se notar a representação dessa classe em todos os anos analisados, mas com maior representatividade no ano de 2011 devido à construção da barragem (Quadro 3.1).

Além da análise dos resultados da classificação para toda a bacia, foi realizada uma análise por município conforme é mostrado no Quadro 3.2.

QUADRO 3.2 – Uso e cobertura do solo das áreas dos municípios contidas na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Anápolis (24,9% da área contida na bacia)						
Classe	1985	1990	1995	2000	2005	2011
Agricult. (%)	29,6	38,9	35,3	41,7	39,7	35,2
Hidrogr. (%)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,0
Pastag. (%)	39,1	36,6	39,8	35,0	39,8	42,8
Reman. (%)	25,8	18,8	18,8	15,8	13,3	14,7
Per. Urb. (%)	5,5	5,6	5,8	7,2	7,1	7,2
Campo Limpo (20,6% da área contida na bacia)						
Classe	1985	1990	1995	2000	2005	2011
Agricult. (%)	35,0	47,8	39,3	46,1	48,9	46,1
Hidrogr. (%)	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Pastag. (%)	42,9	38,0	46,2	40,6	41,0	40,6
Reman. (%)	21,9	13,9	14,1	12,4	9,2	12,5
Per. Urb. (%)	0,2	0,2	0,2	0,8	0,8	0,8
Goianápolis (15,5% da área contida na bacia)						
Classe	1985	1990	1995	2000	2005	2011
Agricult. (%)	27,4	32,1	37,5	42,1	28,3	25,3
Hidrogr. (%)	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	4,4
Pastag. (%)	37,8	39,2	32,7	24,7	36,0	44,5
Reman. (%)	33,8	27,7	28,7	32,1	34,6	24,9
Per. Urb. (%)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Goiânia (12,7% da área contida na bacia)						
Classe	1985	1990	1995	2000	2005	2011
Agricult. (%)	29,8	28,9	32,3	34,1	33,2	29,7
Hidrogr. (%)	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	5,9
Pastag. (%)	29,8	31,9	28,7	19,8	18,5	19,2
Reman. (%)	26,5	25,2	23,2	18,8	21,5	18,3
Per. Urb. (%)	13,9	13,9	15,7	27,1	26,7	26,9
Nerópolis (9,9% da área contida na bacia)						
Classe	1985	1990	1995	2000	2005	2011
Agricult. (%)	27,8	33,5	37,1	44,8	40,8	34,8
Hidrogr. (%)	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	2,7
Pastag. (%)	39,4	40,4	35,3	25,1	26,7	29,4
Reman. (%)	32,8	26,0	27,4	29,9	32,2	33,1
Per. Urb. (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ouro Verde (2,4% da área contida na bacia)						
Classe	1985	1990	1995	2000	2005	2011
Agricult. (%)	27,8	42,6	31,8	41,8	34,5	18,3
Hidrogr. (%)	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0
Pastag. (%)	49,8	44,2	49,8	41,1	57,3	64,2
Reman. (%)	22,4	13,2	18,3	16,8	8,1	17,5
Per. Urb. (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Terezópolis (14,1% da área contida na bacia)						
Classe	1985	1990	1995	2000	2005	2011
Agricult. (%)	26,9	30,8	33,5	41,8	41,2	36,7
Hidrogr. (%)	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,8
Pastag. (%)	53,4	52,0	47,9	41,9	41,0	43,5
Reman. (%)	18,4	15,6	17,0	14,3	15,7	17,3
Per. Urb. (%)	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7	1,7

Conforme o Quadro 3.2, o município de Anápolis, assim como na análise geral da bacia, apresenta oscilação nas classes de agricultura e pastagem, em 2011 o uso predominante do solo na bacia foi o de pastagem (42,8%) o maior valor desde 1985. Nota-se também o crescimento do perímetro urbano da cidade dentro bacia, em contrapartida houve um decréscimo de 11,1 % nos remanescentes de vegetação nativa entre 1985 e 2011.

No município de Campo Limpo predomina a agricultura que é encontrada em maior proporção que a pastagem em praticamente todos os anos analisados, sendo que em 2011 esse valor é de 46,1%. Assim como no município de Anápolis, houve uma considerável redução (9,4%) de áreas de remanescentes de vegetação nativa no mesmo período.

Em Goianápolis houve uma grande variação no período de 1985 a 2011 entre pastagem e agricultura dentro da bacia, mas com maior concentração de pastagem (44,5%) no último ano analisado. Nesse mesmo período existiu uma supressão de 8,9% das áreas de remanescentes de vegetação nativa.

No município de Goiânia, a área contida na bacia foi onde mais ocorreu expansão das áreas urbanas tendo um aumento de 13% entre os anos analisados, assim como ocorreu nos demais municípios, em Goiânia ocorreu oscilação entre pastagem e agricultura sendo que essa última representou 29,7% da área contida na bacia em 2011. O município segue a mesma tendência dos demais analisados tratando-se de remanescentes de vegetação nativa, com uma queda de 8,2% em sua área.

Ao contrário dos outros municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite, Nerópolis foi o único que manteve as áreas com remanescente de vegetação nativa sem consideráveis variações, mas seguindo o mesmo perfil quanto à variação entre as áreas de pastagem e agricultura sendo essa última com a ocupação do solo de 34,8% em 2011.

Assim como Nerópolis, o município de Ouro Verde não possui seu perímetro urbano contido nos limites da bacia e o uso predominante do solo para todos os anos analisados é o de pastagem chegando a 64% da área contida na bacia no ano de 2011, já os remanescentes de vegetação nativa tiveram uma queda de 4,9% no período analisado.

O município de Terezópolis também tem como o uso predominante do solo a pastagem que está presente em maior área em toda a análise chegando a 43,5% em 2011. Comparando com os demais municípios, Terezópolis teve uma variação de 1,1% nas áreas de remanescentes de vegetação nativa, aproximando-se de Nerópolis onde essa variação é praticamente inexistente.

Em uma análise geral dos municípios contidos na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, no município de Anápolis foi onde mais houve perda de áreas de vegetação nativa remanescente (11,1%) seguido de Goianápolis (8,9%), e Goiânia (8,2%) que ficou com a terceira posição, e Nerópolis foi o município que mais conservou as áreas de vegetação nativa remanescente contidas na bacia.

Devido à intensa ocupação da área de estudo por pastagens, áreas agrícolas e áreas urbanizadas, foram elaboradas avaliações da vegetação nativa remanescente contida nas áreas de preservação permanente (APP), para todos os anos analisados, de acordo com o Código Florestal Brasileiro (Figura 3.5).

FIGURA 3.5 – Cálculo da Área de Preservação Permanente na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite entre 1985 e 2011.

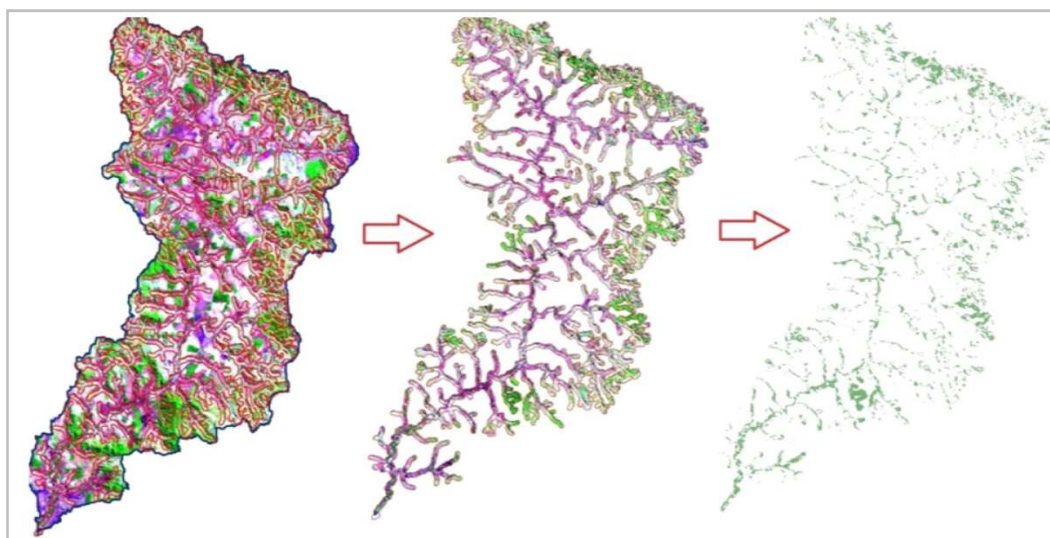


Fonte: O autor.

Conforme ilustrado na figura 3.5 pode-se notar o decréscimo da vegetação nativa remanescente dentro das APP's, entre os anos de 1985 e 2011, considerando que a oscilação dos valores apresentados nos anos de 1990 e 2000 pode ser associada a alguns fatores como a época do ano da aquisição das imagens e a influência de fenômenos climáticos (como o *El Niño* e *La Niña*) sobre a vegetação, alterando assim a sua resposta espectral e consequentemente a sua mensuração.

Outro fator a ser considerado nessa análise foi o represamento do Ribeirão João Leite devido à implantação da barragem em 2010, o qual suprimiu considerável quantidade de mata ciliar existente no local, influenciando assim no resultado apresentado no ano de 2011. A Figura 3.6 ilustra o mapeamento das APP's, bem como o mapeamento das áreas de vegetação nativa remanescente localizadas dentro das APP's.

FIGURA 3.6 – Delimitação da Área de Preservação Permanente (APP) de 200 metros sob a drenagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.

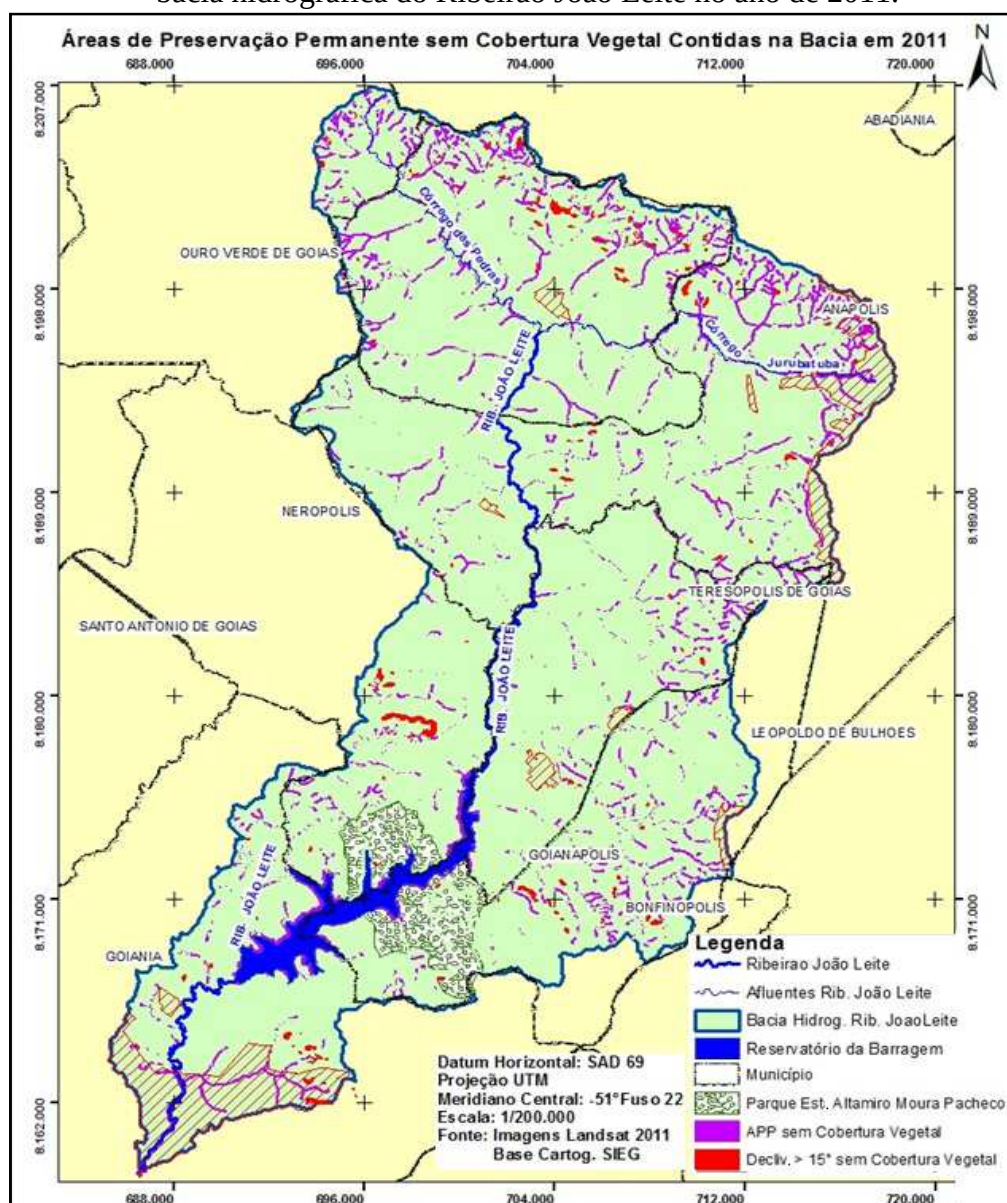


Fonte: O autor.

Conforme mostrado na Figura 3.6, a área de vegetação nativa remanescente localizada dentro dos limites das APP's, para os anos de 1985 e 2011 foram respectivamente de 68,90 km² e 63,5 km² (9,07% e 8,35% da área da bacia). A redução dessas APP's pode causar diversos danos na bacia a longo prazo, uma delas é a escassez de água já que a ausência da mata ciliar faz com que a água da chuva escoe sobre a superfície, não permitindo sua infiltração e armazenamento no lençol freático. Com isso, reduzem-se as nascentes o que é preocupante já que a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite é uma bacia de abastecimento urbano. Segundo Ribeiro *et al.* (2010) outro fator preocupante é que a mata ciliar é uma proteção natural contra o assoreamento e sem ela a erosão das margens leva sedimentos para dentro dos corpos d'água, tornando-o turvo, dificultando a entrada da luz solar e, consequentemente, dificultando a vida aquática de seguir seu ciclo. Uma alternativa para preservação dessas áreas seria implantar um uso sustentável dentro desses 200 metros sugeridos nesse estudo, pois essas áreas da bacia apresentam expressiva biodiversidade que pode ser explorada como alternativa viável para conservação de áreas significativas e como meio para gerar renda, segurança alimentar e qualidade de vida para agricultores familiares.

Com o intuito de realizar uma análise mais restritiva, assim como a delimitação dos 200 metros de APP ao longo dos corpos d'água, foram delimitadas áreas com declividade acima de 15°, devido o relevo da bacia ser relativamente plano e não possuir áreas com declividade superior a 45° conforme a legislação vigente. Para isso, foi gerado um mapa contendo APP's sem cobertura vegetal nativa contida na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite no ano de 2011 (Figura 3.7).

FIGURA 3.7 - Áreas de Preservação Permanente sem cobertura vegetal nativa contida na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite no ano de 2011.



Fonte: O autor.

Conforme mostrado no mapa da Figura 3.7, em 2011 pode-se notar que a quantidade de APP's sem cobertura vegetal apresenta uma proporção considerável já que

nesse mesmo ano apenas 3,48% dessas áreas contidas na bacia foram preservadas. Nota-se, ainda, maior escassez dessas áreas próximas aos perímetros urbanos dos municípios de Goiânia e Anápolis e ao norte e da bacia nos municípios de Ouro Verde e Campo Limpo.

Em se tratando de áreas cuja declividade está acima de 15°, apenas 40,3% das mesmas possuem cobertura vegetal preservada, como a declividade máxima encontrada na bacia é de 28°, parte dessas áreas são utilizadas como pastagem e agricultura.

3.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite demonstrou que a bacia sofreu uma grande oscilação no uso e cobertura do solo nas classes de pastagem e agricultura no período estudado, o que pode estar associado à variação do perfil econômico dos municípios contidos na bacia. É importante observar também, que em 1985 a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite já apresentava antropismo expressivo, devido à intensa ocupação por áreas de pastagens e por áreas agrícolas. Os elementos motivadores dessa intensa e longa ocupação são vários, tais como: proximidade da área urbana da capital goiana, localização geográfica no eixo Goiânia-Anápolis, e ainda por lá está implantado um segmento da rodovia BR-153.

Quanto à redução das áreas de remanescentes, Anápolis foi o município que mais apresentou supressão dessas áreas (11,1%), o que merece atenção das instituições interessadas na gestão ambiental daquela área. Com relação à diminuição da mata ciliar na bacia, a possível consequência é a ocorrência de processos erosivos laminares e acelerados, assoreamento dos corpos d'água, e desequilíbrios nos ecossistemas fluviais, entre outros problemas.

Esta pesquisa mostrou também que o monitoramento do uso e cobertura do solo é de extrema importância para subsidiar medidas mitigadoras, no intuito da preservação das áreas que sofrem com o processo de degradação pelo uso intensivo e indiscriminado do solo. O que também servem para apoiar as mais diversas iniciativas de pesquisa no que tange a preservação ambiental e ordenamento territorial em bacias hidrográficas já que a dinâmica da alteração na cobertura vegetal evidencia os conflitos entre o uso e cobertura do solo. A preservação ambiental nas margens dos corpos hídricos contidos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite torna pertinente uma maior rigidez quanto à aplicação da legislação ambiental na bacia pelo fato de se tratar de uma bacia com um de seus usos o abastecimento urbano de água.

CAPITULO IV: SIMULAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA E DO RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE UTILIZANDO O MODELO SWAT

Este capítulo apresenta os procedimentos utilizados para geração da base de dados necessária para a simulação hidrossedimentológica da bacia hidrográfica e do reservatório do Ribeirão João Leite utilizando o modelo SWAT.

4.1 – INTRODUÇÃO

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é de aceitação internacional, não apenas porque ela representa uma unidade física bem caracterizada, tanto do ponto de vista de integração como da funcionalidade de seus elementos, mas também porque toda área de Terra, por menor que seja, se integra a uma bacia (PISSARRA, 1998).

Segundo Bordas & Semmelmann (1993), entender os processos direta ou indiretamente relacionados ao comportamento hídrico de uma bacia hidrográfica constitui uma importante etapa no gerenciamento ambiental. Um destes processos é o ciclo hidrossedimentológico, e envolve as fases de remoção, transporte e deposição de material particulado. Os deslocamentos dos sedimentos carregados pelo escoamento superficial e outros processos acabam provocando a perda ou redistribuição, pela bacia de consideráveis massas de solo, a ponto de alterar o ciclo hidrológico e afetar o uso, conservação e gestão da bacia hidrográfica.

De acordo com Santos *et al.* (2001), o transporte de sedimentos pelos rios é um fenômeno complexo que depende de processos erosivos que ocorrem nas vertentes da bacia e no leito e margens dos rios, e que fornecem material que, por sua vez, depende da energia do fluxo para ser transportado. A combinação dessas variáveis, fornecimento de material e energia do fluxo, resulta em um fenômeno com grande variação no tempo e no espaço. O transporte de sedimentos é um processo natural que envolve remoção, transporte e deposição de material e faz parte da evolução da paisagem originando as formas geomorfológicas.

Nesse contexto, a avaliação da distribuição da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite pode servir de respaldo, tanto para fins de diagnóstico, quanto para o planejamento de ações voltadas para o manejo e o monitoramento, considerando o controle das formas de crescimento e de ocupação da porção da bacia hidrográfica com interferência significativa no curso hídrico e, sobretudo, por se tratar de uma

bacia com um de seus principais usos o abastecimento urbano se faz necessário um estudo detalhado desse fenômeno na mesma.

Para tanto, as modelagens matemáticas e computacionais têm sido amplamente desenvolvidas e aplicadas dentro de cenários locais e regionais. Especificamente para os casos em que se deseja realizar o estudo sobre produção de sedimentos. Os modelos matemáticos têm sido largamente utilizados, tendo como uma das principais vantagens a possibilidade de se investigar diversos cenários e suas consequências, servindo como uma importante ferramenta de planejamento (SILVA *et al.*, 2004).

Segundo Blainski *et al.*(2010) os modelos matemáticos são ferramentas que integram uma série de informações locais (solo, clima, topografia, cobertura vegetal, dentre outros) e possibilitam a simulação dos impactos oriundos do uso do solo na disponibilidade e qualidade das águas, na perda de solo por erosão hídrica e na contaminação do solo e da água por resíduos agroindustriais.

O mesmo autor complementa que os modelos hidrológicos podem ser definidos como um conjunto de equações matemáticas que representam a variabilidade dos sistemas naturais. O acoplamento desses modelos com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilitam a integração de um número maior de informações e a interpretação dos resultados nas dimensões temporal e espacial. Para Arnold & Srinivasan (1995) a continuidade dos esforços para aprimorar e/ou desenvolver novos modelos capazes de analisar a influência das formas de uso e cobertura do solo, das práticas de manejo e conservação em bacias hidrográficas, levou à elaboração do *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT).

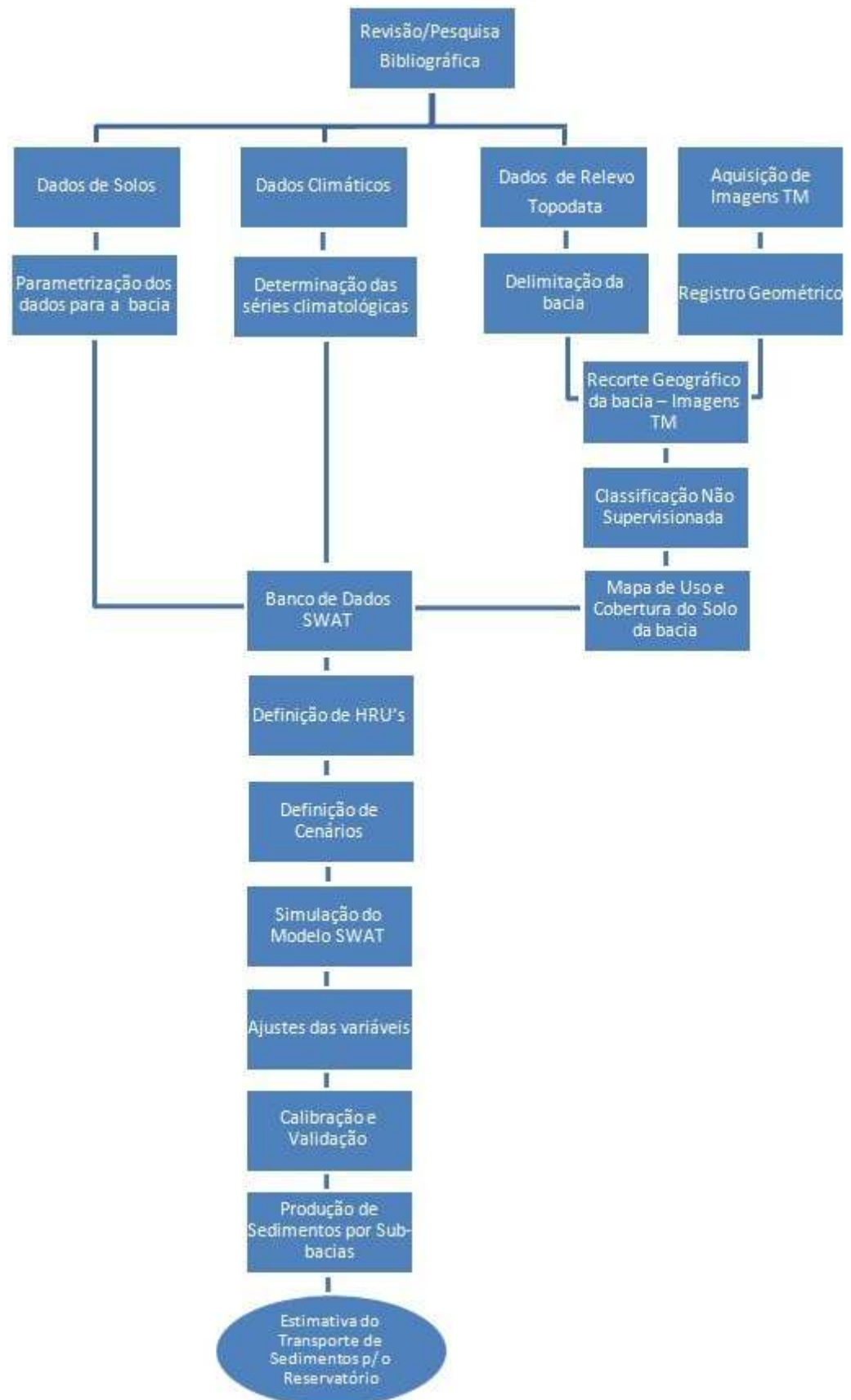
Diante disso, este trabalho tem o objetivo de utilizar o modelo hidrossedimentológico SWAT acoplado com SIG para estimar, mesmo que de forma preliminar, a produção de sedimentos ao longo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite considerando diferentes cenários de uso e cobertura do solo, de maneira que a aplicação dessa ferramenta possa ser cogitada, sobretudo para fins de planejamento e gestão da bacia.

Espera-se que este trabalho contribua para o entendimento de como e em que grau os padrões de uso e cobertura do solo que se desenvolvem na bacia influenciam na produção de sedimentos.

4.2 - MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para atender aos objetivos propostos compreendeu uma combinação de procedimentos organizados, conforme o diagrama ilustrado na Figura 4.1.

FIGURA 4.1 - Fluxograma de atividades realizadas.



4.2.1 - Sistemas Computacionais

De acordo com as justificativas do presente trabalho, para simular a produção de sedimentos na bacia em questão juntamente com geração de diferentes cenários e suas respectivas paisagens, foi utilizado o modelo hidrossedimentológico ArcSWAT-2009 com a interface de Sistema de Informações Geográficas – SIG. O modelo é integrado com o ArcGis (ESRI). A implementação do SIG neste trabalho tem por função a integração e a manipulação das informações importantes, de maneira organizada em diferentes planos de informações temáticas na forma de mapas digitais, com tabelas de dados associados. Os sistemas computacionais utilizados foram os seguintes:

- Software de processamento digital de imagens Envi, desenvolvido pela *ITT Visual Information Solutions*, versão 4.7;
- Software ArcGis, desenvolvido pela ESRI – *Environmental Systems Research Institute*, versão 9.3;
- Interface ArcGis/SWAT- *Soil and Water Assessment Tool*, ArcSWAT versão 2009.93.5 desenvolvido pelo *Blackland Research Center (Texas Agricultural Experiment Station)* e *USDA Agriculture Research Service*.

Na tabulação dos dados e análises estatísticas, foi utilizado o Microsoft Excel (MICROSOFT® EXCEL, 2007).

4.2.2 - Construção da base de dados

4.2.2.1 - Modelo Digital de Elevação

O modelo digital de elevação – MDE representa o relevo de forma real, e assegura a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo assim, a consistência hidrológica do processo de simulação (FERRIGO, 2011).

Para realização desse estudo foram utilizados dados de relevo com resolução espacial de 30 metros, produzidos no âmbito do Projeto TOPODATA, que realizou uma série de processamento de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Esse MDE serviu como base para delimitação da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite assim como dado de entrada essencial para o modelo ArcSWAT.

4.2.2.2 – Imagens de Satélite

Para o mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia foram adquiridas por meio do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) imagens do satélite Landsat-5 sensor TM (*Thematic Mapper*) o qual produz imagens com 30 metros de resolução espacial. As imagens adquiridas foram datadas do ano de 2011 as quais foram registradas (georreferenciadas) utilizando a base de dados do mosaico *Geocover* que disponibiliza imagens obtidas no ano 2000 pelo sensor ETM+, que está a bordo do satélite Landsat-7.

Foi adquirida também uma imagem do ano de 2009 obtida pelo sensor PRISM, a bordo do satélite japonês ALOS, com 2,5 metros de resolução espacial (a qual foi utilizada como base para vetorização da drenagem da bacia). Esta imagem foi disponibilizada pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás - SEMARH-GO.

Outro produto de sensoriamento remoto adquirido foi o TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), o qual é uma missão espacial conjunta entre a Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica dos Estados Unidos da América (NASA) e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) projetado para monitorar e estudar chuvas tropicais, o que possibilitou obter o valor anual de precipitação na bacia.

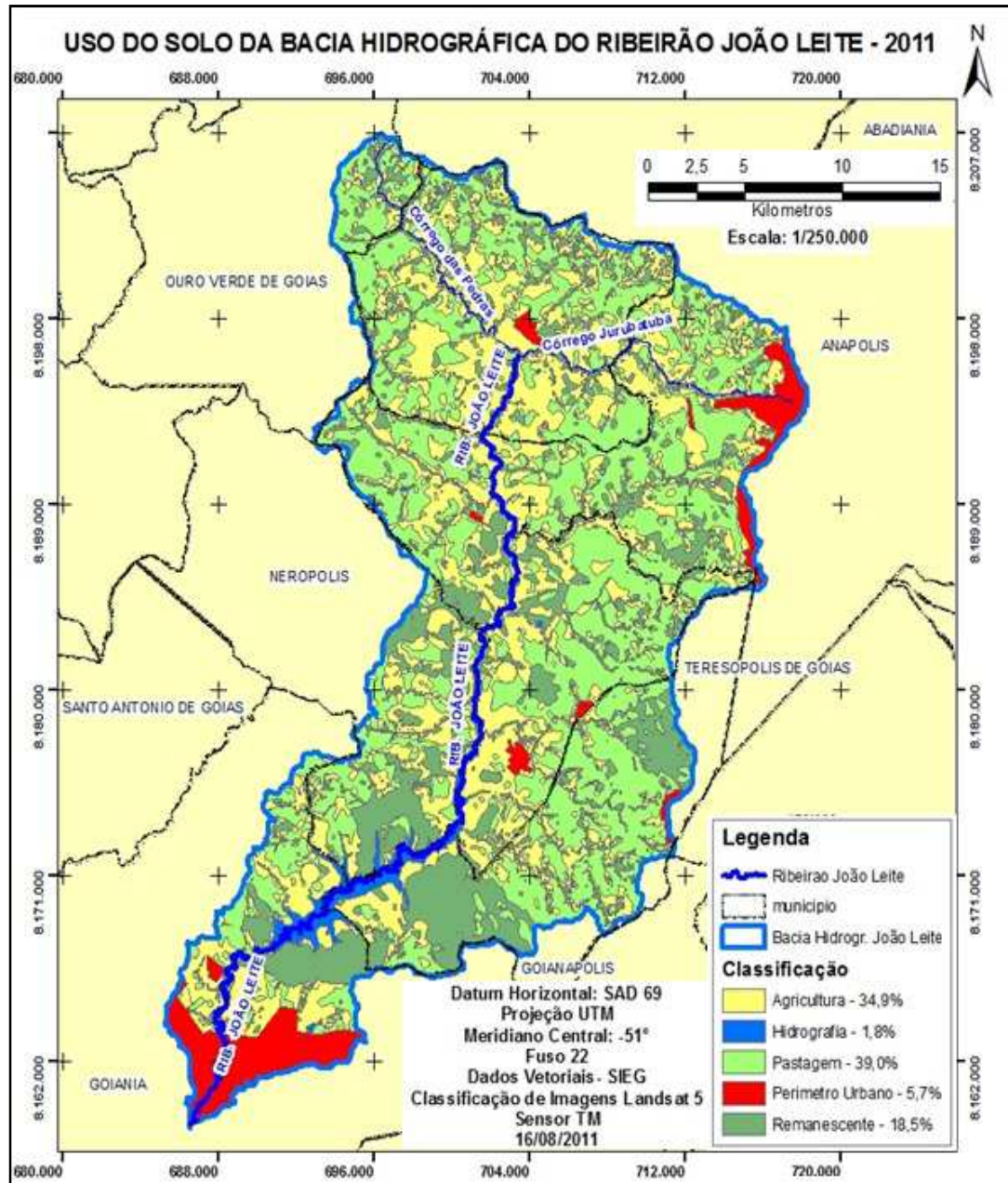
4.2.2.3 - Uso e cobertura do Solo

Para a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo, foi realizada a classificação da imagem multiespectral adquirida pelo sensor TM, localizado a bordo do satélite Landsat-5. A imagem cobriu a órbita/ponto 222/71, em 2011. Com ela foi possível mapear cinco diferentes tipos de uso e cobertura do solo presentes na área em estudo. Esse mapa serviu como dado de entrada do modelo SWAT (Figura 4.2):

- Agricultura: áreas referentes ao cultivo de culturas perenes ou anuais;
- Hidrografia: corpos d'água como reservatórios de água naturais ou artificiais (açudes, represas, tanques, lagoas, etc.);
- Pastagem: área onde a vegetação é constituída predominantemente de gramíneas, plantas graminóides, ervas, arbustos e árvores dispersas, com influência marcante do uso de pastoreio;

- Perímetro Urbano: parte da superfície em que estão presentes edificações como vilas, cidades, e outras áreas antrópicas isoladas;
- Remanescente: vegetação nativa remanescente (restante) no local.

FIGURA 4.2 - Uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite de 2011.



Fonte: O autor.

Foram realizadas algumas adaptações no mapa de uso e cobertura do solo de modo a utilizar diretamente o banco de dados já existente na interface do ArcSWAT (Figura

4.3). Nesse caso fez-se uma analogia direta desses usos e da cobertura vegetal existente nesse mesmo banco de dados. (Quadro 4.1)

FIGURA 4.3 - Janela de escolha dos usos dos solos.

The screenshot shows a software window titled "Land Cover/Plant Growth Database Edit". On the left is a scrollable list of crop types, with "Agricultural Land-Generic" highlighted. The main panel is divided into two sections: "Crop type Parameters" and "Hydrological Parameters". The "Crop type Parameters" section contains numerous input fields for various crop characteristics, such as "Crop Name" (Agricultural Land-Generic), "IDC" (Warm season annual), "BIO_E", "HVST1", "BLAI", "FRGRW1", "LAIMX1", "CHTMX", "RDMX", "FRGRW2", "LAIMX2", "DLAI", "T_OPT", "T_BASE", "CNYLD", "CPYLD", "BN1", "BN2", "BN3", "BP1", "BP2", "BP3", "WSYF", "USLE_C", "GSI", "VPDRF", "FRGMAX", "WAVP", "CO2HI", "BIOEHI", "RSDCO_PL", "ALAI_MIN", "BIO_LEAF", "MAT_YRS", "BMX_TREES", "EXT_COEF", and "BM_DIEOFF". The "Hydrological Parameters" section includes "OV_N", "Manning's N (roughness)", and "SCS Runoff Curve Numbers" (A, B, C, D). On the right side of the window are buttons for "Add New", "Save Edits", "Cancel Edits", "Delete", "Default", and "Exit".

Fonte: O autor.

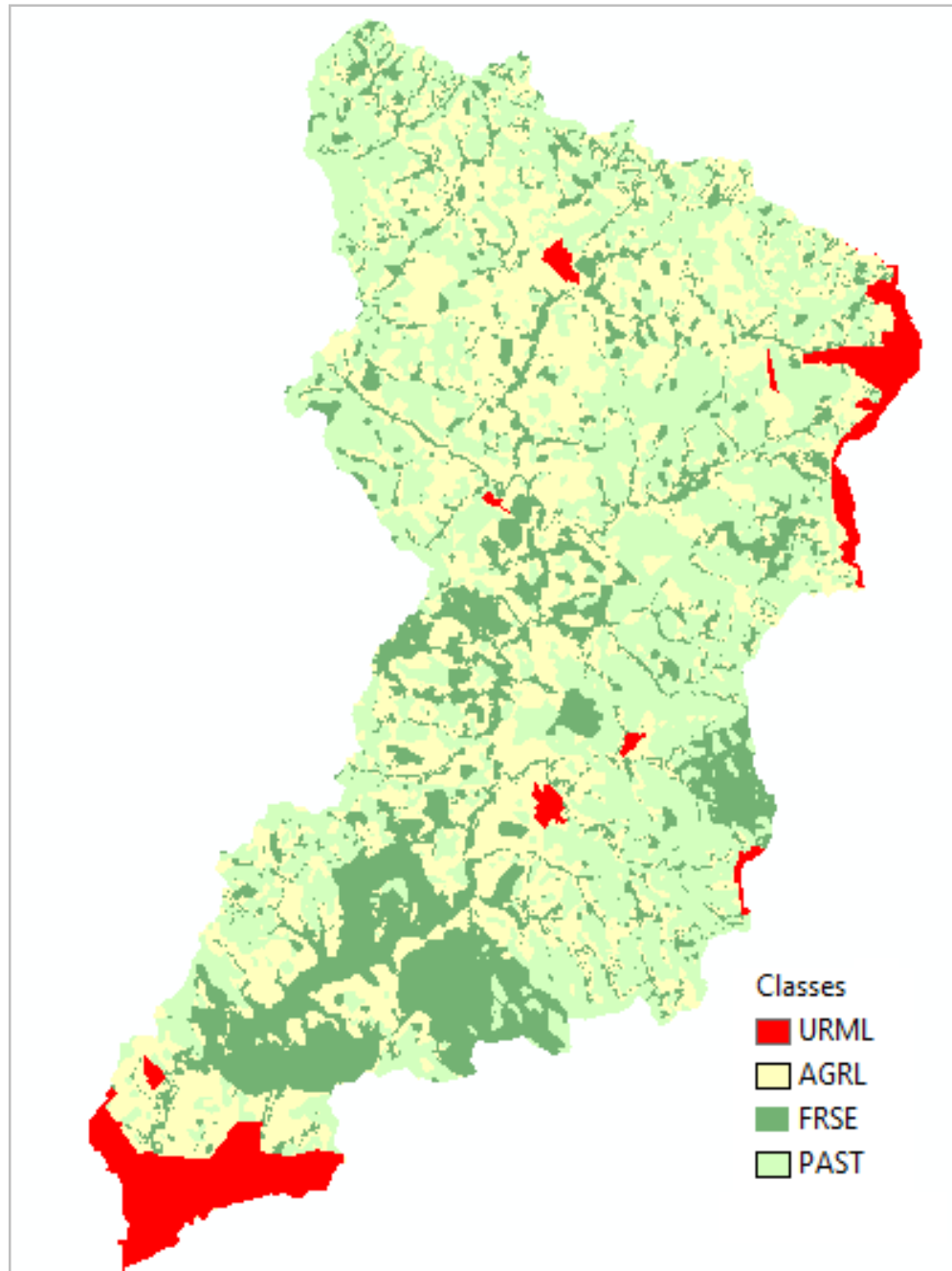
QUADRO 4.1 – Analogia entre o uso do solo da bacia e o banco de dados do SWAT.

Uso do solo Classificado	Banco de dados SWAT
Perímetro Urbano	URML
Pastagem	PAST
Agricultura	AGRL
Remanescentes	FRSE

Assim como proposto por Baldisserra (2005) a classe “Hidrologia” representada nesse caso em sua maioria pela área do reservatório de água do Ribeirão João Leite e pequenas áreas isoladas foram substituídas pela classe “Remanescentes” a qual se encontrava bastante presente antes da formação do reservatório. Como o reservatório não foi considerado na modelagem por falta de dados suficientes para a sua caracterização, assim como as limitações do modelo SWAT para esse tipo de procedimento optou-se pela reclassificação

dessas áreas. A reclassificação do uso e cobertura do solo da bacia foi realizada diretamente pelo ArcGis, o que resultou no mapa apresentado na Figura 4.4.

FIGURA 4.4 - Uso e cobertura do solo reclassificado.



Fonte: O autor.

4.2.2.4 – Solos

Para a entrada de dados de solos no modelo foi utilizado um mapa digital de solos, elaborado na escala 1:100.000, produzido a partir da digitalização dos mapas de solos do projeto RADAM-BRASIL, no âmbito projeto de determinação de áreas prioritárias para

unidades de preservação. O mapa de solos foi obtido na Internet a partir do site do Sistema Estadual de Estatísticas e de Informações Geográficas de Goiás - SIEG.

Para relacionar as classes de solo existentes na bacia com o banco de dados de solos do SWAT, foi necessário adicionar as características físicas dos solos exigidas pelo modelo, dentre elas o grupo de saturação ou hidrológico (HYDGRP), profundidade máxima de solo que a raiz alcança (SOL_ZMX), porosidade (ANION_EXCL), profundidade da camada (SOL_Z), densidade aparente (SOL_BD), capacidade de água disponível no solo (SOL_AWC), condutividade hidráulica saturada (SOL_K), erodibilidade (USLE_K), albedo, (relativo à parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua cobertura vegetal) (SOL_ALB), conteúdo de carbono orgânico (SOL_CBN), e, porcentagem de argila, silte, areia e seixo. Tais características e atributos exigidos pelo modelo SWAT não se encontraram disponíveis para os solos existentes na área objeto, exigindo desta maneira, uma adaptação com a utilização de dados de classes pedológicas similares obtidos do Levantamento Pedológico Semi-detalhado do Projeto Jequitai/MG –CODEVASF/ces (1977), área também de Cerrado, adaptados por Baldissera (2005) e do levantamento de solos do estado de São Paulo, por Bertoni & Lombardi Neto (1990).

4.2.2.4.1 - Grupos Hidrológicos

Conforme classificação do *U.S. Natural Resource Conservation Service* (NRCS Soil Survey Staff, 2008) os solos diferem-se em quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D) conforme é apresentado no Quadro 4.2.

QUADRO 4.2 - Grupos hidrológicos.

Grupo Hidrológico do Solo	Principais Características
A	Solos muito profundos (>200 cm) ou profundos (100 a 200 cm); solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; solos porosos com baixo gradiente textural (<1,20); solos de textura média; solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil; solos bem drenados ou excessivamente drenados; solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; a textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser média/média argilosa/ e muito argilosa.
B	Solos profundos (100 a 200 cm); solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância à erosão; solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50 cm; solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média, mas com horizonte superficial arenoso; solos com textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo perfil; solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; a textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e muito argilosa.
C	Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm); solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; são solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta; solos associados à argila de atividade baixa (Tb); a textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser arenosa/média, média/argilosa apresentando mudança textural abrupta: arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.
D	Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância e erosão; solos rasos (profundidade < 50 cm); solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1; solos argilosos associados à argila de atividade alta; solos orgânicos.

Fonte: Adaptado de Lombardi Neto *et al.* (1989).

Cada tipo de solo encontrado na bacia do Ribeirão João Leite foi reclassificado, de acordo com o grupo hidrológico que mais se identificava com as classes do Quadro 4.2. Dentre essas classes de solos, estão as classes predominantes encontradas na bacia, e que foram inseridas diretamente no banco de dados do modelo. Os grupos hidrológicos são descritos como A, B, C e D (Quadro 4.3).

QUADRO 4.3 - Enquadramento dos tipos de solos aos grupos hidrológicos.

Grupo Hidrológico do Solo	Classes Gerais de Solo
A	• Latossolo amarelo, Latossolo vermelho-amarelo, Latossolo vermelho, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; • Latossolo amarelo e Latossolo vermelho amarelo ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.
B	• Latossolo amarelo, Latossolo vermelho-amarelo, ambos de textura argilosa, mas com horizonte superficial de textura arenosa; • Latossolo Bruno; • Nitossolo vermelho; • Neossolo Quartzarênico; • Argissolo vermelho ou vermelho-amarelo de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
C	• Argissolos pouco profundos, mas não apresentando mudança textural abrupta; ou Argissolo vermelho, Argissolo vermelho-amarelo e Argissolo amarelo, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; • Cambissolo de textura média e Cambissolo Háptico ou Húmico, mas com características físicas semelhantes aos Latossolos (latossóticos); • Espodossolos ferrocárbico; • Neossolo Flúvico.
D	• Neossolo Litólico; • Organossolo; • Gleissolo; • Chernossolo; • Planossolo; • Vertissolo; • Alissolo; • Luvisolo; • Solos de mangue; • Afloramento de rocha; • Demais Cambissolos que não se enquadram no grupo C, Argissolo vermelho amarelo e Argissolo amarelo, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abruptas.

Fonte: Adaptado de Lombardi Neto *et al.* (1975).

Os parâmetros exigidos pelo modelo podem ser vistos no Quadro 4.4 com suas respectivas unidades de medida. Estes dados não foram obtidos a partir dos solos existentes na área de estudo, e sim, do levantamento pedológico de outras áreas. Porém, sabe-se que, mesmo havendo os mesmos grupos de solos em ambas as áreas, os solos apresentam propriedades diferentes. Isso pode comprometer os resultados obtidos.

QUADRO 4.4 - Descrição dos parâmetros de solos exigidos pelo modelo SWAT.

Parâmetros do Modelo	Descrição
SNAM	Classificação do solo: nome dado a cada classe
NLAYERS	Número de camadas: horizontes do solo
HYDGRP	Grupo de mínima saturação hidráulica: grupo hidrológico (A, B, C e D)
SOL_ZMX	Profundidade máxima de solo que a raiz alcança (mm)
ANION_EXCL	Fração de porosidade do solo (fração)
SOL_Z	Profundidade da camada do horizonte (mm)
SOL_BD	Densidade do solo (g/cm)
SOL_AWC	Capacidade de água no solo (mm/mm)
SOL_K	Condutividade hidráulica saturada (mm/hr)
SOL_CBN	Conteúdo de carbono orgânico do solo (% peso do solo)
CLAY	Porcentagem de argila no solo (% solo)
SILT	Porcentagem de silte no solo (% solo)
SAND	Porcentagem de areia no solo (% solo)
ROCK	Porcentagem de cascalho no solo (% solo)
SOL_ALB	Albedo do solo (fração)

Fonte: NEITSCH *et al.* (2005).

Com isso a parametrização dos dados de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite foi realizada com base na literatura devido ao curto tempo e os recursos financeiros exigidos para análises realizadas em campo. Os valores adotados para os solos contidos na bacia são apresentados no APÊNDICE desse trabalho.

4.2.2.4.2 - Curva Número

Desenvolvida pelo Serviço de Conservação dos Solos (*Soil Conservation Service* – SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*United States Department of Agriculture* – USDA) a Curva Número (CN) é um parâmetro utilizado para o cálculo do escoamento superficial descrevendo o tipo de solo, sua utilização e condição de superfície no que diz respeito à potencialidade de gerar escoamento superficial.

O CN é um método baseado em dados da relação entre intensidade de chuva, condições da superfície da terra, e volume do escoamento superficial, sendo o valor do CN

uma função do uso e cobertura do solo, das condições hidrológicas, do grupo hidrológico do solo e as condições de umidade inicial do solo.

O SCS obteve curvas que correlacionam a precipitação com o escoamento de várias sub-bacias dos EUA. Para a padronização dessas curvas, números adimensionais foram estabelecidos, as chamadas Curvas de Número ou CN's. O valor de CN está compreendido entre 0 e 100, correspondendo a 0 (zero) para uma bacia de condutividade hidráulica infinita e o 100 (cem) a uma bacia totalmente impermeável. As tabelas com os valores tabelados de CN com relação ao uso e cobertura do solo e dos grupos hidrológicos utilizados pelo modelo podem ser encontradas no manual do SWAT - 2005 (NEITSCH, 2005).

4.2.2.4.3 - Fator K (USLE_K)

O fator K de erodibilidade - *Universal Soil Loss Equation* (USLE_K) representa o potencial erosivo do solo (a maior ou menor facilidade com que o solo pode ser erodido). Alguns solos são mais erodíveis que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença ocasionada pelas propriedades inerentes ao solo é referida como erodibilidade do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, a permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento. O aumento da quantidade de matéria orgânica, a presença de agregados maiores e a rápida permeabilidade do solo contribuem para a redução da erodibilidade, Baldissera (2005), apresentou a equação desmembrada da seguinte forma:

$$K_{USLE} = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgC} \cdot f_{hisand} \quad (\text{equação 4.1})$$

Onde:

f_{csand} = fração de solos com alto conteúdo de areia grossa;

$$f_{csand} = \{0,2 + 0,3 \exp [-0,256 \cdot m_s (1 - \frac{m_{silt}}{100})]\} \quad (\text{equação 4.2})$$

f_{cl-si} = fração de solos com alta razão de silte e argila;

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_{silt} + m_c} \right)^{0,3} \quad (\text{equação 4.3})$$

f_{orgC} é a fração de solos com alto conteúdo de carbono orgânico;

$$f_{orgC} = 1 - \frac{0,25.orgC}{orgC + \exp(3,72 - 2,97.orgC)} \quad (\text{equação 4.4})$$

f_{hisand} é a fração de solos com conteúdo extremamente alto de areia.

$$f_{hisand} = 1 - \frac{0,7 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100}\right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100}\right) + \exp[-5,51 + 22,9 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100}\right)]} \quad (\text{equação 4.5})$$

Nas equações 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5:

m_s = fração de areia (diâmetros 0.05 – 2.00 mm);

m_{silt} = fração de silte (diâmetros 0.002 – 0.05 mm);

m_c = fração de argila (diâmetros < 0.002 mm); e

orgC = percentual de carbono orgânico na camada.

O percentual de carbono orgânico no solo foi estimado por meio do percentual de matéria orgânica (MO), segundo equação apresentada no trabalho de Romanowicz *et al.* (2005)

$$orgC = \frac{MO}{1,7924} \quad (\text{equação 4.6})$$

4.2.2.4.4 - Características granulométricas e texturais do solo

Os dados referentes às características granulométricas e texturais do solo, foram anteriormente calculados por Baldissera (2005), e utilizados no presente trabalho.

A granulometria de argila, silte, areia e cascalho foram classificadas de acordo com o USDA, conforme o Quadro 4.5:

QUADRO 4.5 - Classificação granulométrica do solo.

Classificação Granulométrica	
Cascalho	> 2mm
Areia	2 a 0,05mm
Silte	0,05 a 0,002mm
Argila	< 0,002mm

Fonte: USDA (1986).

A fração porosidade (ANION_EXCL) é definida pela relação entre o volume ocupado pelos poros e o volume total do solo, e foi estimada por (BALDISSERA, 2005) por meio da densidade do solo, devido à dificuldade de medição do volume dos poros.

$$\text{ANION_EXCL} = 1 - (\rho_b/\rho_s) \quad (\text{equação 4.7})$$

Onde ρ_b é a densidade do solo ou aparente, ou seja, é a densidade das partículas na presença de ar, e ρ_s é a densidade real das partículas sem ar. A densidade aparente ou do solo geralmente é calculada durante os levantamentos de campo, onde:

$$\rho_b = m/v \quad (\text{equação 4.8})$$

onde m é a massa do solo seco, e v é o volume do solo.

Os demais valores foram obtidos adotando-se o valor tabelado de Taylor *et.al* (1966)¹, utilizado por Baldissera (2005), que relaciona textura do solo com a densidade aparente. (Quadro 4.6)

QUADRO 4.6 - Densidade aparente do solo.

Material	Densidade (g/cm ³)
Solos recentemente cultivados	0,90 - 1,2
Solos com superfícies minerais, não recentemente cultivadas, mas também não compactados	1,1 - 1,4
Solos com restrição raiz: Areias e Francos	< 1,6 - 1,8
Siltes	< 1,4 - 1,6
Argilas	Extremamente variável

Fonte: Taylor *et al.* (1966).

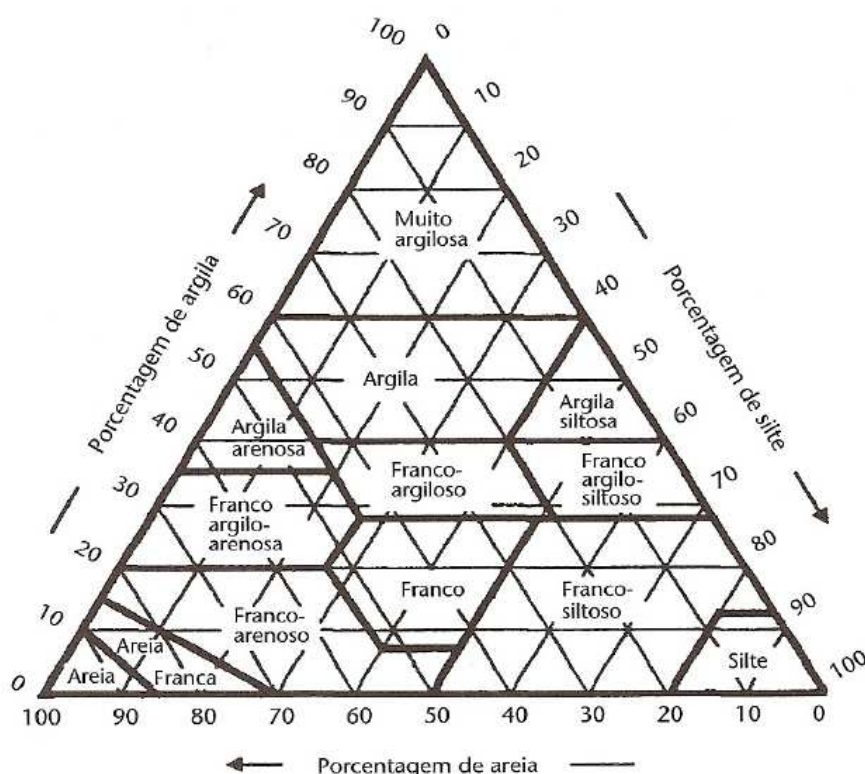
A textura (CLAY/SILT/SAND) do solo foi obtida por meio da utilização do triângulo de classificação textural. Este sistema foi desenvolvido pelo *U.S Department of Agriculture* e pelo *U.S Soil Conservation Service*, dos Estados Unidos.

O diagrama triangular (Figura 4.5) é subdividido dentro de vários tipos de classificação textural de solo, com cada tipo de solo compreendendo uma série de

¹TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER Jr., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soils materials. **J. Soil Sci.**, 102: 18-22, 1966)

porcentagens dos três tipos de partícula (areia, silte e argila). A classificação do solo é determinada "plotando" as porcentagens de cada uma das três classes de partícula de solo no diagrama triangular. O ponto de interseção de cada uma destas três porcentagens de classe de partícula indicará os tipos de classificação de solo, como mostra o Triângulo de Classificação Textural.

FIGURA 4.5 - Triângulo de Classificação Textural.



Fonte: USDA, 1986.

A capacidade de água no solo pode também ser considerada a quantidade de água disponível para as plantas, e é calculada subtraindo o conteúdo de água na capacidade de campo (FC) da capacidade de água no ponto de murcha (WP).

A capacidade de campo é definida como a umidade que um dado solo sustenta sob ação da gravidade, na prática significa a umidade da amostra de solo quando submetida a uma tensão de 0,0033 MPa.

O ponto de murcha permanente é a umidade do solo na qual as plantas não mais conseguem manter suas folhas túrgidas, considera-se que é a quantidade de água retida no solo em uma tensão de 1,5 MPa.

Como a quantidade de água retida no solo (SOL_AWC) é uma relação entre a capacidade do campo (FC) e o ponto de murcha permanente. (WP), e é determinada pela equação elaborada por Baldissera (2005).

$$\text{SOL_AWC} = \text{FC} - \text{WP} \quad (\text{equação 4.9})$$

Para o parâmetro de profundidade máxima da raiz (SOL_ZMX), não foram encontrados dados de campo, logo, o modelo assume que as raízes podem se desenvolver por toda a profundidade da camada do solo.

O percentual de carbono orgânico no solo (SOL_CBN) pode ser estimado quando ocorre inexistência do dado, por meio do percentual de matéria orgânica no solo (MO) e é calculado por meio da equação:

$$\text{orgC} = \text{MO}/1,72 \quad (\text{equação 4.10})$$

O albedo é a parcela de radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando a cobertura vegetal. O valor do albedo de uma região agrícola pode variar de acordo com a fase do ciclo de cultivo, alternando assim entre o solo lavrado e recém semeado, praticamente nu, e a fase de crescimento e maturação. Os valores de albedo diários (SOL_ALB) utilizados neste trabalho, foram referentes à média entre o albedo para áreas de cerrado em época úmida e de estiagem, de acordo com Miranda *et al.* (1996)² apud Baldissera (2005) e ficou em 0,15, enquanto Xavier (2009) adotou 0,16. Todos os parâmetros requeridos pelo modelo foram digitados no banco de dados do SWAT, cada classe de solo e suas respectivas camadas (horizontes).

Com base nos parâmetros apresentados anteriormente no Quadro 4.4 o modelo foi alimentado por meio da interface ArcSWAT onde podem ser vistos os campos para preenchimento com os dados requeridos pelo modelo, para cada classe de solo (Figura 4.6) e posteriormente a reclassificação dos mesmos conforme apresentado na Figura 4.7.

² MIRANDA, H. S.; ROCHA E SILVA, E. P.; MIRANDA, A. C. **Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo**. In: Simpósio impacto das queimadas sobre os ecossistemas e mudanças globais. CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3, Anais. Brasília-DF: 1996. p.1-9.

FIGURA 4.6 - Janela de entrada de dados de classes de solos.

The screenshot shows a software window titled "User Soils Edit". On the left, a list of soil classes includes Cx, GJ (highlighted), Lve, and PVA. The main area is divided into two sections: "Soil Component Parameters" and "Soil Layer Parameters".

Soil Component Parameters:

SNAM	NLAYERS	HYDGRP
Gj	4	D
SOL_ZMX (mm)	ANION_EXCL (fraction)	SOL_CRK (m3/m3)
1300	0.39	0
TEXTURE		
FSL-FSL-GRV-COS		

Soil Layer Parameters:

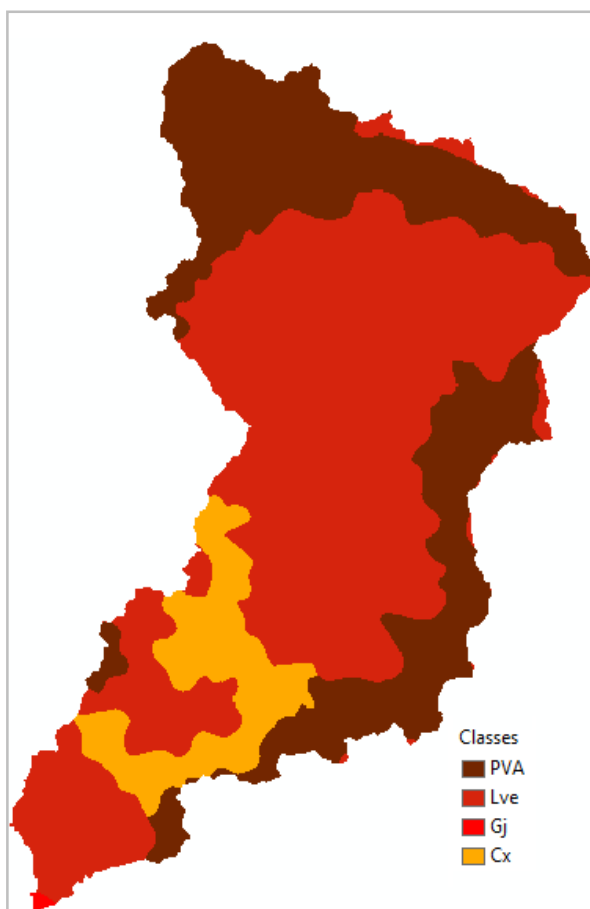
Soil Layer: 4

SOL_Z (mm)	SOL_BD (g/ cm3)	SOL_AWC (mm/mm)
1300	1.7	0.5
SOL_CBN (% wt.)	SOL_K (mm/hr)	CLAY (% wt.)
0.3	12.5	21.5
SILT (% wt.)	SAND (% wt.)	ROCK (% wt.)
57.3	21.2	0
SOL_ALB (fraction)	USLE_K	SOL_EC (dS/m)
0.16	0.21	0

On the right side of the "Soil Layer Parameters" section, there are five buttons: "Add New", "Cancel Edits", "Save Edits", "Delete", and "Exit".

Fonte: o Autor.

FIGURA 4.7 - Solos reclassificados.



Fonte: O autor.

4.2.2.5 - Parâmetros Climáticos

Para a alimentação do modelo em relação aos dados climáticos, os mesmos se dividem em dois tipos: dados diários e dados mensais. Os dados diários utilizados foram médias diárias ou somas diárias relacionadas aos seguintes fatores: precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e umidade relativa do ar. Os dados mensais utilizados são médias (do respectivo mês), referentes a todos os anos simulados. As variáveis climáticas solicitadas pelo modelo são: localização geográfica da estação, altitude, número de anos dos dados acumulados, média mensal de temperatura máxima diária (TMPMX), média mensal de temperatura mínima diária (TMPMN), desvio padrão para a temperatura máxima diária de cada mês (TMPSTDMX), desvio padrão para a temperatura mínima diária de cada mês (TMPSTDMN), média mensal da precipitação total (PCPMM), desvio padrão para a precipitação diária do mês (PCPSTD), probabilidade de dias úmidos seguidos de dias secos para o determinado mês (PR_W1), probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos para o determinado mês (PR_W2), média mensal de dias de precipitação (PCPD), valor máximo de meia hora de chuva em todo o período de registros de um determinado mês (RAINHHMX), média de radiação solar diária para um determinado mês (SOLARAV), média diária do ponto de orvalho para determinado mês (DEWPT), média diária da velocidade do vento para determinado mês (WNDV).

A estação meteorológica utilizada dista 1,7 quilômetros da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, e foi utilizada para fornecimento dos dados requisitados pelo modelo. Os dados foram disponibilizados pela Estação Climática (83423) do município de Goiânia, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. A localização, conforme requerido pelo modelo, é dada sob coordenadas UTM, conforme apresentado no Quadro 4.7.

QUADRO 4.7 - Localização da Estação Meteorológica.

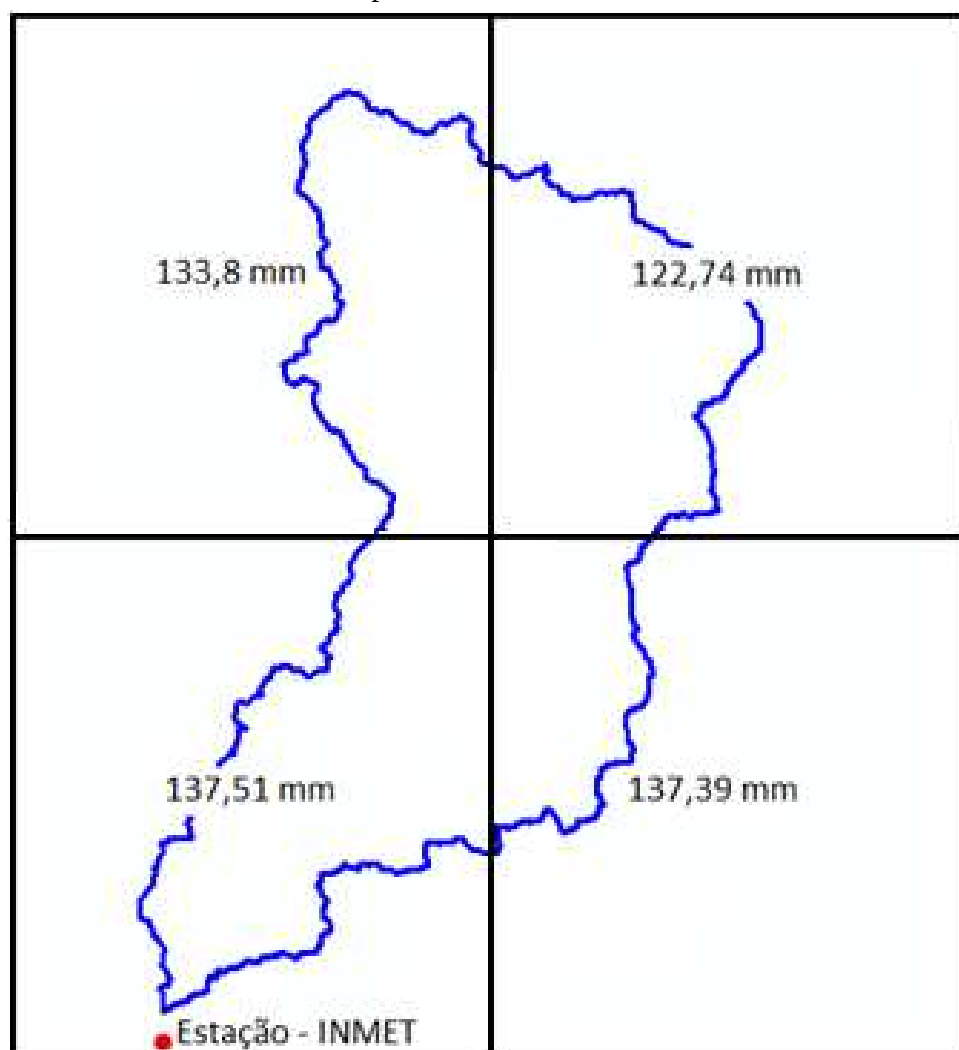
Estação	Goiânia-GO
XPR	686633
YPR	8157233
Elevação	741,48 m

Fonte: INMET

A escolha dessa estação se deu primeiramente por sua distância da área de estudo e por disponibilizar uma série de dados históricos diários, superiores a 10 anos. Além da estação do INMET, dentro dos limites e nas proximidades da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite existem cinco estações pluviométricas (Agronomia-UFG, Anápolis, Goianápolis, Jaraguá e Ouro Verde), porém suas séries de dados estão fora do intervalo ou da quantidade mínima de dados exigidos pelo modelo.

A bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite possui uma extensão aproximada de 50 quilômetros (distância em linha reta considerando suas extremidades), o que demonstra que o valor da precipitação não é igual em toda a área da bacia. Por isso foram utilizadas imagens do satélite TRMM (Figura 4.8) para apresentar o valor anual de precipitação na bacia para o ano de 2012.

FIGURA 4.8 - Valor médio da precipitação anual na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite para o ano de 2012.



Fonte: O autor.

Os dados utilizados da estação meteorológica do INMET possuem a mesma extensão da série temporal para todos os parâmetros exigidos pelo modelo. No caso, para esse estudo foi adotada uma série de 20 anos. De acordo com os autores Verburg *et al.* (2002) e Pontes & Fernandes (2002), para a obtenção de resultados confiáveis, a escolha das estações devem seguir dois critérios. O primeiro é que as séries de dados pluviométricos das estações devem ser superiores a 10 anos, exigência também do modelo, e o segundo critério, que as estações situem-se na mesma isozona.

As tabelas de entrada do SWAT devem estar no mesmo padrão exigido pelo modelo, e cada parâmetro de entrada possui um padrão diferente. Os dados de radiação solar foram simulados pelo SWAT, utilizando o gerador climático WXGEM, baseado nos dados da série histórica fornecidos ao banco de dados do modelo. Por meio de dados fornecidos pela estação meteorológica do INMET em Goiânia, obteve-se a média e o desvio mensal para todos os anos, de acordo com a disponibilidade de dados de cada fator ambiental.

Assim as variáveis climáticas são parametrizadas mensalmente (média e desvio padrão) para então serem introduzidas no modelo. A média mensal é obtida por meio da seguinte equação:

$$X_{mon} = \frac{\sum X_{day,mon}}{yrs} \quad (\text{equação 4.11})$$

onde, $\sum X_{day,mon}$ é o somatório dos dados diários para cada mês de todos os anos, e yrs é o número de anos de dados.

Sendo os desvios mensais anuais calculados da seguinte forma:

$$\sigma_{mon} = \frac{-\sqrt{(\sum X_{day,mon} - X_{mon})^2}}{(yrs - 1)} \quad (\text{equação 4.12})$$

onde, σ_{mon} é o desvio mensal de todos os anos.

4.2.2.5.1 - Temperatura no Ponto de Orvalho

O cálculo da temperatura no ponto de orvalho (DEWPT) está baseado nos dados de umidade relativa e temperatura do ar, pois a umidade relativa do ar (RF) é dada pela relação entre a quantidade de vapor existente no ar e a que existiria se o mesmo estivesse saturado na mesma temperatura. De acordo com Hackel (1999), tem-se:

$$ea = \frac{RF . es}{100} \quad (\text{equação 4.13})$$

onde, ea representa a pressão exercida pela massa de vapor d'água existente na atmosfera em mbar, que pode variar de zero a um (valor máximo) chamado de pressão de saturação de vapor (es), no qual este é dependente da temperatura do ar (Tar).

Para a estimativa do valor da pressão de saturação de vapor (es) utiliza-se seguinte equação (ALLENS *et al.*, 1998):

$$es = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot Tar}{Tar + 237,73}\right)} \quad (\text{equação 4.14})$$

O resultado da pressão de saturação de vapor (es) é dado em kPa, sendo necessário multiplicar por 10 para converter para mbar, unidade utilizada na seguinte equação de ponto de orvalho (DEWPT):

$$DEWPT = \frac{234,18 \cdot \log(ea) - 184,2}{8,204 - \log(es)} \quad (\text{equação 4.15})$$

4.2.2.5.2 - Radiação Solar

Segundo Righetto (1998), a estimativa da radiação solar que atinge a superfície terrestre é dada por:

$$R_L = S_{Sup} \cdot (1 - \alpha) - Ln \quad (\text{equação 4.16})$$

onde R_L é a radiação líquida que é dada em MJ/m².dia, e (α) é albedo da cobertura do solo. O valor cálculo de S_{Sup} é dado por:

$$S_{Sup} = \left(a_s + b_s \cdot \frac{n}{N}\right) \cdot S_{Top} \quad (\text{equação 4.17})$$

sendo S_{Sup} a radiação na superfície terrestre dada em MJ/m².dia, onde a_s é a fração da radiação que atinge a superfície em dias encobertos. Já b_s é a fração da radiação que atinge a superfície em dias sem nuvens e n é a média mensal da insolação captada pela estação. N é um valor tabelado³ correspondente a máxima insolação em horas onde os valores correspondem ao 15º dia de cada mês, em função da latitude da estação meteorológica. O S_{Top} também se trata de um valor tabelado⁴ em função dessa mesma latitude e corresponde a radiação solar recebida no topo da atmosfera também no 15º dia de cada mês e é dado em cal/cm².dia.

^{3,4} TUCCI, Hidrologia: Ciência e Aplicação, 3ª Ed, 2001.

A superfície terrestre também emite ondas longas:

$$Ln = f \cdot \varepsilon \cdot \sigma (T + 273,2)^4 \quad (\text{equação 4.18})$$

sendo Ln a radiação líquida que deixa a superfície dada em $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$, onde T é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) a 2 metros do solo, f é o fator de correção devido às nuvens, dado por:

$$f = 0,1 + 0,9 \cdot \frac{n}{N} \quad (\text{equação 4.19})$$

ε é a emissividade da superfície, dado por:

$$\varepsilon = 0,34 - 0,14 \cdot e_d \quad (\text{equação 4.20})$$

onde e_d é a pressão do vapor d'água dado em KPa e σ é a constante de Stefan-Boltzman dada em $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{k}^4 \cdot \text{dia}$

4.2.2.5.3 - Estimativas de Precipitação

Para os dados de entrada no gerador de dados climáticos WXGEN, na estimativa da precipitação foram utilizados os dados da estação meteorológica (83423) do município de Goiânia, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Para a estimativa da probabilidade dos dias de chuva seguidos de dias de seca – PR_W1 é dada por:

$$PR_W1 = \frac{D_{CHV/SC}}{D_{N^{\circ} SC}} \quad (\text{equação 4.21})$$

onde $D_{CHV/SC}$ é o número dos dias de chuva seguido de dias sem chuva no mês, e $D_{N^{\circ} SC}$ é o número de dias sem chuva no mês.

Para a estimativa da probabilidade dos dias de chuva seguidos de dias de chuva – PR_W2 é dada por:

$$PR_W2 = \frac{D_{CHV/CHV}}{D_{N^{\circ} CHV}} \quad (\text{equação 4.22})$$

onde, $D_{CHV/CHV}$ é o número dos dias de chuva seguido de dias de chuva no mês, e $D_{N^{\circ} CHV}$ é o número de dias com chuva no mês.

Para a estimativa da precipitação máxima de 0,5 horas no mês – RAINHHMX:

Neste trabalho estabeleceu-se o intervalo de recorrência como sendo de 2 anos, um tempo de recorrência curto, devido à poluição não pontual de um rio tratar-se de um fator ambiental dinâmico e de grande instabilidade.

Para geração dessa estimativa de precipitação optou-se primeiramente pela utilização da distribuição de Gumbel, segundo Cardoso *et al.* (1998), onde obteve-se, em cada ano da série histórica, a altura máxima de chuva de “um dia”, constituindo, dessa forma, a série de chuvas máximas anuais. Os valores referentes a essa série foram organizados em ordem decrescente, sendo calculados a média aritmética e o desvio-padrão da amostra. As frequências observadas foram calculadas segundo a equação de Kimbal (VILLELA & MATTOS, 1975), ou seja:

$$F_i = \frac{M_i}{n+1} \quad (\text{equação 4.23})$$

onde, F_i é a frequência observada, M_i é o número de ordem da chuva máxima anual, e n é o número de anos da série analisada. A variável reduzida de Gumbel (y) foi estimada pela expressão:

$$y = \frac{1,2825}{sx} [x_i - \bar{x} 0,45 \cdot sx] \quad (\text{equação 4.24})$$

onde, sx é o desvio-padrão e $\bar{x}$ é a média da amostra da série anual finita de n valores; sy é o desvio-padrão, e $\bar{y}$ é a média da variável reduzida y (tabelado em função do número de dados da amostra).

A probabilidade teórica esperada de um valor extremo dado (x_i) ser atingido ou superado, isto é, de acontecer um valor (X) igual ou superior a x_i , foi obtida por meio da equação:

$$P_{i(X \geq x_i)} = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (\text{equação 4.25})$$

onde, X é a variável aleatória (chuva máxima); e é a base do logaritmo neperiano, e y é a variável reduzida de Gumbel.

O período de retorno, definido como a recíproca da probabilidade, ou seja, o intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva é igualado ou superado, pelo menos uma vez nesse caso é:

$$Tr = \frac{1}{P_{i(X \geq x_i)}} \quad (\text{equação 4.26})$$

onde, Tr é o período de retorno e P é a probabilidade teórica de Gumbel. No papel de Gumbel, plotaram-se os pontos correspondentes às alturas de chuvas (x_i) na ordenada, em escala aritmética, e, em correspondência na abscissa, em escala logarítmica-probabilística, o período de retorno (Tr) em anos, traçando-se a reta de melhor ajuste. Assim, foi possível extrapolar informações, como a probabilidade de determinado extremo ser igualado ou superado, podendo-se obter a grandeza esperada do evento para determinado período de retorno (Tr), em anos.

Os valores de altura máxima e período de retorno das chuvas da estação meteorológica foram plotados no papel log-probabilístico da distribuição de Gumbel (CARDOSO *et al.*, 1998) para o ajuste à distribuição teórica com isso, obtiveram-se, graficamente, as alturas máximas de chuvas esperadas para determinado período de retorno.

Obtidas as alturas das chuvas, estimaram-se as prováveis intensidades máximas médias para todas as durações de chuva consideradas e para o período de retorno de 2 anos. Nesse caso, a “intensidade máxima média” foi o quociente entre a altura máxima de chuva, ocorrida no intervalo de tempo considerado, e o respectivo intervalo, ou seja:

$$i_{mm} = \frac{\Delta h(\Delta t)}{\Delta t} \quad (\text{equação 4.27})$$

onde, i_{mm} é a intensidade máxima média da chuva; Δh é a altura máxima de chuva no intervalo de tempo, e Δt o intervalo de tempo considerado.

Para o cálculo do coeficiente de assimetria - Skew para a precipitação máxima – PCPSKW:

$$PCPSKW = \frac{n \cdot \sum (P_{day,mon} - P_{mon})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (\sigma_{mon})^3} \quad (\text{equação 4.28})$$

onde, n é o número total de dias de precipitação no mês, $P_{day,mon}$ é a precipitação média no mês, P_{mon} é a precipitação média anual e σ_{mon} é o desvio padrão da precipitação anual.

Como resultado dos cálculos realizados para a estimativa dos parâmetros de entrada no banco de dados do gerador climático WXGEN, o Quadro 4.8 apresenta os resultados para a média de cada mês pra todos os anos da série temporal utilizada.

QUADRO 4.8 - Parâmetros climáticos calculados a partir dos dados da estação meteorológica de Goiânia-GO.

Dados	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
PCPMM	8,1	8,7	8,8	4,1	1,0	0,4	0,0	0,4	1,7	5,1	7,7	9,0
PCPSTD	2,7	2,3	3,3	2,5	0,8	0,6	0,1	0,6	1,3	2,9	1,7	2,8
PCPD	19,1	19,3	18,1	10,9	3,1	1,7	0,4	1,5	6,6	14,0	16,7	21,2
RAINHHMX	17,8	19,6	20,1	15,0	6,4	3,7	0,4	3,4	7,0	15,0	16,6	20,9
PCPSKW	0,6	0,8	0,5	0,3	0,8	2,7	2,6	1,9	0,7	0,8	0,1	1,0
WNDVAV	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9
TMPMX	30,4	30,8	30,8	31,2	30,1	29,9	30,6	32,6	33,6	32,6	30,8	30,2
TMPSTDMX	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	1,0	0,8	0,9	1,6	1,5	0,8	0,8
TMPMN	20,1	19,9	19,9	19,3	16,9	15,1	14,3	16,3	19,0	20,0	20,0	20,1
TMPSTDMN	1,4	1,3	1,2	1,3	1,7	2,2	1,8	1,8	1,4	1,4	1,3	1,3
DEWPT	19,8	19,7	19,7	17,9	14,9	12,9	11,2	10,5	13,6	17,1	18,9	19,8
SOLARAV	14,5	14,8	14,2	13,5	11,2	9,8	9,8	11,2	13,0	14,6	14,2	13,7
PR_W1	0,4	0,6	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,6
PR_W2	0,8	0,7	0,8	0,6	0,3	0,4	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	0,8

PCPMM: Precipitação média (mm); PCPSTD: Desvio padrão da precipitação (mm); PCPD: Número de dias de precipitação (dias); RAINHHMX: Precipitação máxima de 0,5 horas (mm); PCPSKW: Coeficiente de assimetria para a precipitação máxima; WNDVAV: Velocidade do vento (m s^{-1}); TMPMX: Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$); TMPSTDMX: Desvio padrão da temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$); TMPMN: Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$); TMPSTDMN: Desvio padrão da temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$); SOLARAV: Radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); DEWPT: Temperatura no ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$); PR_W1: Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias secos (%); e PR_W2: Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos (%).

Posteriormente foram digitados todos os valores calculados, diretamente no banco de dados do programa, a partir da interface gráfica exposta na Figura 4.9.

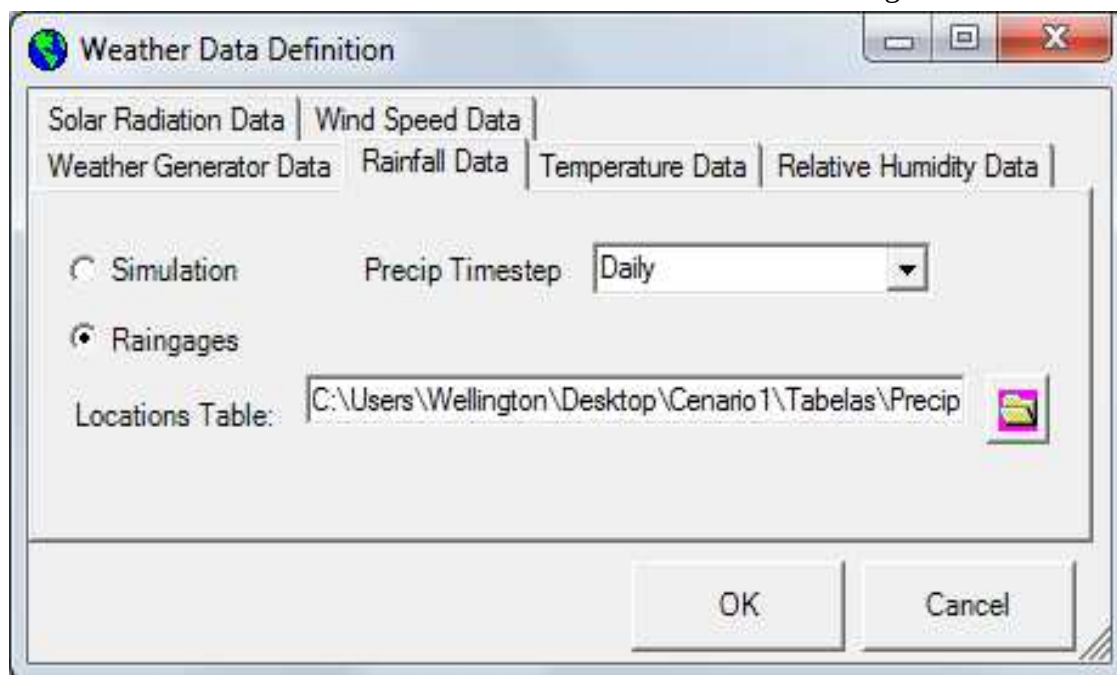
FIGURA 4.9 - Janela de entrada dos dados climáticos no SWAT.

The screenshot shows the 'User Weather Station Edits' window. The 'Weather Station Parameters' section includes: Station Name (Est_Gyn), WLONGITUDE (deg) (-49.25), WLATITUDE (deg) (-16.66), RAIN_YRS (yrs) (20), and WELEV (m) (741.41). The 'Monthly Weather Parameters' section shows a grid of values for parameters: TMPMX, PCPMM, PCPSTD, PCPSKW, PR_W1, PR_W2, PCPD, and RAINHHMX across the months of the year. A list of parameters is visible on the left, and buttons for 'Add New', 'Cancel Edits', 'Save Edits', 'Delete', and 'Exit' are on the right.

Fonte: O autor.

Na Figura 4.10 é apresentada a janela onde se inserem os dados diários e a localização da estação climática: localização dos postos pluviométricos e das estações meteorológicas, valores diários de temperatura, velocidade do vento, radiação solar, umidade relativa.

FIGURA 4.10 - Janela de entrada de dados meteorológicos.

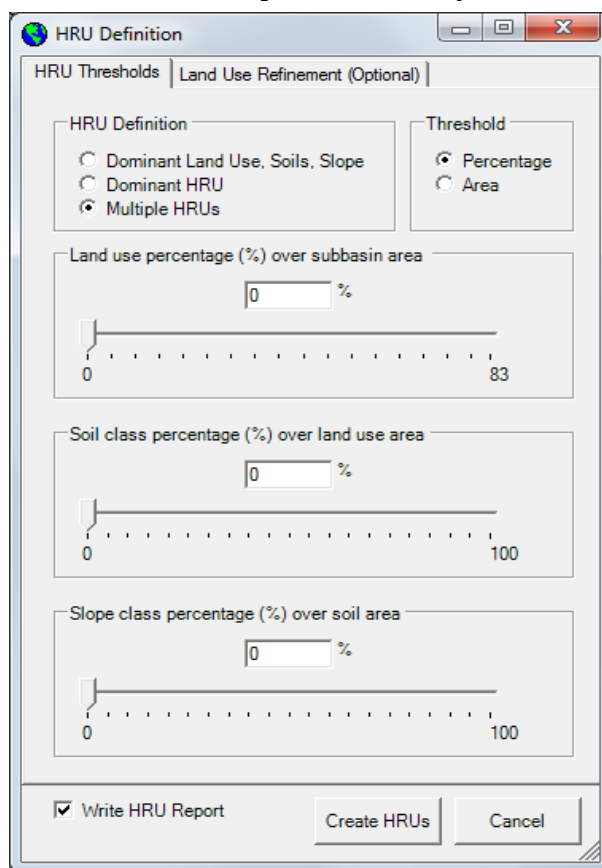


Fonte: O autor.

4.2.3 - Determinação das Unidades de Resposta Hidrológica - HRU's

Foram verificadas três possíveis determinações de HRU's para esse estudo: Classe dominante de solo, de uso e declividade; HRU's dominantes; e Múltiplas HRU's (Figura 4.11).

FIGURA 4.11– Janela para determinação de HRU's.



Fonte: O autor.

Na primeira opção, o modelo simula automaticamente resultados baseados no cruzamento da classe dominante de solo com a classe dominante de uso, e declividade sendo desconsiderados os demais tipos de solos e usos menos representativos.

Na segunda opção o modelo cria uma HRU para cada sub-bacia. A combinação única dominante do solo, do uso do solo, e de declividade na sub-bacia são usados para simular a HRU.

Na terceira opção, HRU's Múltiplas a qual foi escolhida para todas as simulações nesse estudo, o modelo utiliza todas as classes de solos e usos, já que os dados referentes a todas as classes foram inseridas no modelo. Desta forma, evitou-se a perda de informações relevantes para o trabalho, com isso foram geradas 349 HRU's para a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

4.2.4 – Simulações

Dentre as vantagens da utilização de modelos matemáticos, uma das mais importantes refere-se à elaboração de cenários, ou seja, a possibilidade de alterar as configurações dos parâmetros de entrada do modelo no intuito de gerar novos conjuntos de condições virtuais, as quais permitem, de antemão, a visualização das consequências geradas por determinado grupo de fatores hipotéticos.

De acordo com Machado (2002), o objetivo da simulação de cenários não é caracterizar, de maneira completa, a eficiência das alternativas de manejo ou uso do solo, mas exemplificar as vantagens da utilização da integração de modelos matemáticos e sistemas de informações geográficas.

Sendo assim, foram modificados alguns parâmetros na intenção de visualizar as mudanças nos resultados obtidos e verificar a sensibilidade do modelo aos diferentes cenários.

A simulação foi realizada para o período de 1992 a 2012, porém, somente foram utilizados os resultados gerados pela simulação do último ano. Os demais anos foram utilizados como um histórico de dados para um melhor funcionamento do modelo.

4.2.4.1 - Simulação de cenários

É importante ressaltar que, os cenários foram propostos com a finalidade de exemplificar o modelo e as possibilidades de uso do solo, e não definir a maneira correta do uso e cobertura na bacia.

Os cenários desenvolvidos no presente trabalho, em relação à produção de sedimentos tiveram as seguintes configurações:

Cenário 1: Paisagem com uso e cobertura do solo atual (URML/AGRL/FRSE/PAST);

Cenário 2: Paisagem com uso e cobertura do solo obedecendo ao Código Florestal Brasileiro (Áreas de Preservação Permanente - APP's preservadas);

Cenário 3: Paisagem com uso e cobertura do solo, contendo APP's mais restritivas (200 metros) e preservadas;

Cenário 4: Paisagem com uso e cobertura do solo, contendo agricultura genérica (ocupação hipotética da bacia com Agricultura - AGRL);

Cenário 5: Paisagem com uso e cobertura do solo, contendo pastagem (ocupação hipotética da bacia com Pastagem - PAST);

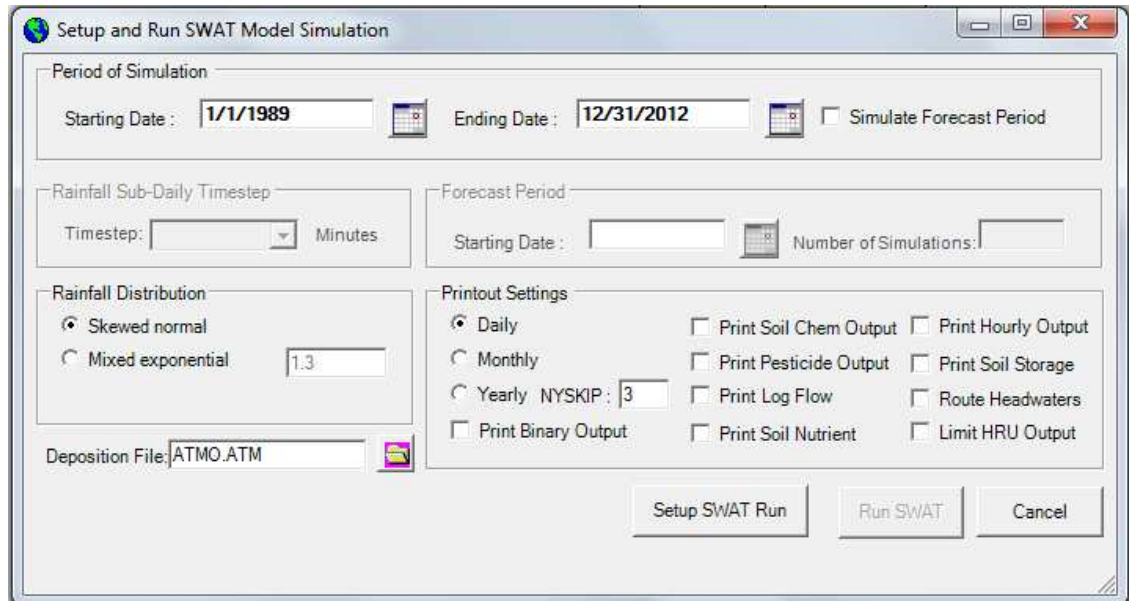
Cenário 6: Paisagem com uso original do solo (ocupação hipotética da bacia com Vegetação Nativa – FRSE).

4.2.5 - Período de Aquecimento do Modelo

Segundo Carvalho Neto (2011), em trabalhos preliminares, realizou-se um teste no qual o modelo SWAT foi submetido a um mesmo ano de eventos de precipitação, repetidos sete vezes. Assim foi verificado que o modelo comporta-se de forma bastante discrepante no primeiro ano de simulação, para geração do escoamento superficial e produção de sedimentos, o segundo ano apresenta resultados intermediários enquanto que os demais anos possuem seus resultados oscilando em um intervalo bem definido. A razão para tais resultados permanece ainda não totalmente conhecida, podendo ser consequência do processo de crescimento dos vegetais e/ou variação da umidade na zona radicular. Desta forma, ficou evidenciado a necessidade do uso de um período de aquecimento, conforme a repetição citada.

Alguns trabalhos na literatura adotaram a duplicação dos três primeiros anos de simulação visando o aquecimento (Peterson & Hamlet, 1998; White & Chaubey, 2005; Oliveira *et al.*, 2006; Cibin *et al.*, 2010), sendo este o viés adotado para todas as simulações executadas neste trabalho – também pela obtenção dos resultados preliminares. Enquanto que Neitsch *et al.* (2004) sugere o uso de um ano para aquecimento e provimento de estabilidade para as condições iniciais do modelo. Portanto para esse trabalho foram utilizados os três primeiros anos (1989, 1990 e 1991) para o aquecimento do modelo (Figura 4.12).

FIGURA 4.12 - Janela de simulação no ArcSWAT com definição do período de aquecimento do modelo.



Fonte: O autor.

4.2.6 - Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade é um instrumento para previsão dos parâmetros que possuem maior impacto sobre as simulações hidrossedimentológicas, elaborados diretamente pelos modelos ArcSWAT (NEITSCH *et al.*, 2005).

Para tal, o modelo utiliza a combinação do *Latin Hypercube* (LH) e o *One-Factor – At-a-Time* (OAT). O LH utiliza o Método de Monte Carlo permitindo uma análise mais robusta na sensibilidade, pois requer um grande número de variáveis associadas (NEITSCH *et al.*, 2005).

O LH subdivide cada parâmetro de “m” alcance, cada um com probabilidade de ocorrência igual a 1/m. Para cada combinação aleatória de “m” o modelo combina a verificação de uma volta e sua performance.

No OAT, apenas os parâmetros de entrada são modificados durante os “looping” que o modelo realiza na análise. Portanto, a mudança na saída do modelo pode ser atribuída aos parâmetros modificados pela elementar parcial do $S_{i,j}$ definido por:

$$S_{i,j} = \frac{[SSE(\theta_1, \dots, \theta_1 * (1+f), \dots, \theta_p) - SSE(\theta_1, \dots, \theta_i, \dots, \theta_p)]}{f} \quad (\text{equação 4.29})$$

onde:

$S_{i,j}$ é o efeito parcial do parâmetro $\emptyset_i$ ao redor do LH ponto j ;

f é a fração que o parâmetro $\emptyset_i$ é alterado (predefinição constante);

SSE é a somatória do erro ao quadrado.

Os parâmetros são aleatoriamente aumentados ou diminuídos com a fração de f , e considerando “ p ”. A performance do fator “ p ” envolve $p+1$, obtendo o parcial efeito de cada parâmetro em uma rodada. O efeito final será estimado pela média do conjunto de “ m ” efeito parcial. O resultado final é fornecido por meio de um *ranking*, o LH estima o alcance por meio de $m \cdot (p+1)$ para cada volta na simulação.

A análise de sensibilidade fornece um *ranking* dos parâmetros que possuem relação com a vazão fluvial, e sua listagem é fornecida pelo manual do SWAT elaborado por NEITSCH *et al.* (2005).

4.2.7 - Calibração/Validação do modelo

Com o resultado da análise de sensibilidade é possível determinar quais parâmetros são mais influentes no modelo, permitindo dessa forma descobrir quais deles são mais propícios à calibração para a melhora da resposta do modelo.

A calibração é uma ferramenta que permite ao usuário editar o desempenho global das variáveis de entrada do modelo (SAMMONS & NEITSCH, 2000). Segundo Arnold *et al.* (2000) o primeiro passo de uma calibração tradicional é dividir os valores em duas séries temporais, sendo uma usada para calibração e outra para validação.

Na calibração os dados de entrada são ajustados até que se obtenha uma resposta satisfatória de saída. Uma vez realizado tal procedimento, o modelo é rodado usando os mesmos parâmetros de entrada para o período de validação (ARNOLD *et al.*, 2000).

Um passo importante na calibração e validação é a definição das variáveis que serão utilizadas e a série histórica disponível. No caso, para esse estudo foi adquirida uma série de dados observados de vazão referentes ao intervalo de 1992 a 2007 (sendo 1992 a 1999 para calibração e de 2000 a 2007 para validação do modelo) disponibilizada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, cujos dados são oriundos da estação Captação João Leite - código 60642000.

Para calibrar automaticamente o modelo, foi elaborada uma tabela no formato texto (*.txt) contendo o ano, dia e vazão, que foi adicionado ao SWAT por meio da interface

ArcSWAT. Para a calibração automática o modelo utiliza o método X^2 - *Suffled Complex Evolution Method Algorithms* – SCE-UA. No SCE-UA as variáveis são otimizadas usando o critério de otimização global a partir de dados de entrada que compõem a calibração do modelo. O SCE combina a sistemática evolução dos dados de saída em direção a melhoria global compatível com os dados medidos.

Para avaliar a eficiência do ArcSWAT utiliza-se o Coeficiente de Nash-Sutcliffe – COE, podendo variar desde menos infinito até 1, sendo 1 o indicativo de simulação perfeita do evento simulado. O COE é calculado por:

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{Obs} - Q_i^{Sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{Obs} - \bar{Q})^2} \quad (\text{equação 4.30})$$

onde, Q_i^{Obs} é a vazão observada; Q_i^{Sim} é a vazão simulada; $\bar{Q}$ é a média da vazão observada; e n é o número de eventos.

Além do Coeficiente de Nash-Sutcliffe outra forma de avaliação de eficiência do modelo é a análise estatística baseada no cálculo do desvio do evento analisado, o qual é a medida da habilidade do modelo para simular valores observados. Quanto menor o valor de D_V , melhor o ajuste, com 0,0 representando uma simulação perfeita do evento observado.

$$D_V[\%] = \frac{E - E^*}{E} * 100 \quad (\text{equação 4.31})$$

onde, E é o evento observado no período analisado e E^* é evento simulado no período.

4.3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.3.1 - Resultados gerados pelo modelo SWAT

Os resultados obtidos pela aplicação do modelo SWAT, demonstrados a seguir, são referentes à produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite e nas subunidades de estudo. Também são apresentados simulações de cenários propostos para exemplificar o modelo e verificar a produção de sedimentos, comparando os resultados obtidos com o cenário atual.

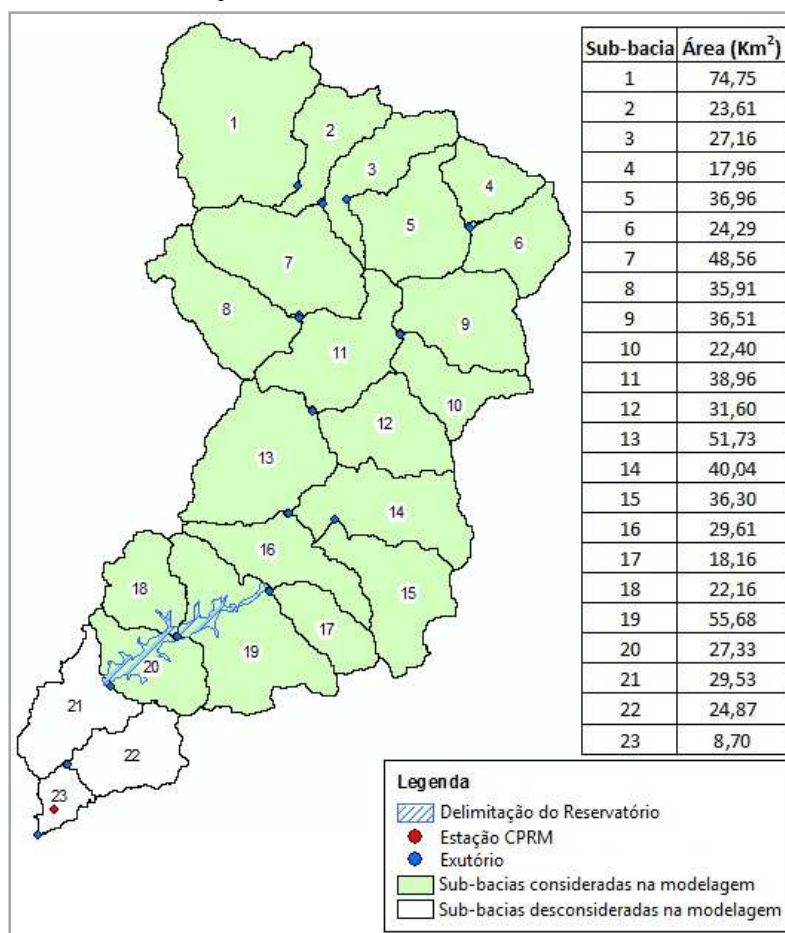
4.3.2 - Subdivisões da bacia

A subdivisão adotada para a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite foi a de 23 sub-bacias. Para adoção desse número foram desconsideradas sub-bacias cujas áreas eram inferiores a 15 km^2 , nesse caso as mesmas foram incorporadas nas sub-bacias vizinhas, com exceção da sub-bacia número 23 cuja delimitação juntamente com as sub-bacias 21 e 22 não foram consideradas na modelagem por estarem a jusante do reservatório. A determinação desse valor mínimo atribuído as áreas se deu com base no manual do SWAT, onde existe a recomendação de tentar manter um valor de áreas aproximadas entre as sub-bacias, por outro lado evitando a redução da quantidade das mesmas, pois o nível de discretização da bacia ajuda a compreender melhor o resultado da modelagem.

Lelis (2008) afirma que o aumento do número de sub-bacias nem sempre leva a resultados mais precisos, mas certamente aumenta o esforço computacional e o tempo das simulações. De forma inversa, uma menor divisão poderia não incorporar corretamente as características de tipo do solo e ocupação da bacia, afetando a precisão dos resultados simulados. Xavier (2009) complementa que com a integração entre SIG e modelos de parâmetros distribuídos, a bacia hidrográfica pode ser dividida em muitas sub-bacias. Entretanto, o efeito da discretização na qualidade das respostas do modelo não tem sido muito estudado.

Como o objetivo desse estudo não é a avaliação dos diversos níveis de discretização para determinação de sub-bacias, optou-se como já citado pelo o número de 23 sub-bacias conforme apresentado na Figura 4.13.

FIGURA 4.13 - Delimitação das Sub-bacias da bacia do Ribeirão João Leite.



Fonte: O autor.

Ainda na Figura 4.13 está a localização da estação fluviométrica da CPRM, a qual teve seus dados utilizados para a realização da regionalização de vazões, método esse proposto por Chaves *et al.*, (2002), o qual realiza uma interpolação linear da vazão de acordo com a localização da seção de interesse em relação às seções de vazão conhecidas, sendo as áreas de drenagem e as distâncias entre as seções analisadas. Nesse caso o exutório da sub-bacia 20 foi utilizado como seção para interpolação desses dados, e posteriormente utilizado para calibração e validação do modelo.

A Figura 4.14 apresenta um relatório gerado pelo SWAT descrevendo a quantidade de sub-bacias juntamente com seus respectivos usos/tipos de solo e declividade - como a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite possui grande parte de sua área plana foram geradas apenas quatro classes de declividade com o intuito de reduzir o quantidade de HRU's sem variação de declividade, otimizando dessa maneira o processamento das simulações. Esse relatório gera uma descrição geral para toda a bacia e para cada sub-bacia, como é o caso da sub-bacia 1 apresentada na mesma figura.

FIGURA 4.14– Relatório da bacia e sub-bacias (sub-bacia 1) do Ribeirão João Leite.

watershed		Area [ha]	Area[acres]		
Number of Subbasins: 23		76281.5312	188495.4776		
		Area [ha]	Area[acres]	%Wat. Area	
LANDUSE:					
	Residential-Med/Low Density --> URML	4189.4384	10352.3118	5.49	
	Agricultural Land-Generic --> AGRL	25662.3144	63412.8620	33.64	
	Forest-Evergreen --> FRSE	17031.9868	42086.8911	22.33	
	Pasture --> PAST	29397.7915	72643.4127	38.54	
SOILS:					
	Cx	7417.7952	18329.7429	9.72	
	Gj	95.3487	235.6115	0.12	
	Lve	43862.1125	108385.4730	57.50	
	PVA	24906.2747	61544.6502	32.65	
SLOPE:					
	0-15	67488.3513	166767.0906	88.47	
	15-30	8430.3483	20831.8122	11.05	
	30-45	359.4563	888.2346	0.47	
	45-9999	3.3752	8.3402	0.00	
SUBBASIN #		Area [ha]	Area[acres]	%Wat. Area	%Sub. Area
1		7475.0438	18471.2070	9.80	
LANDUSE:					
	Agricultural Land-Generic --> AGRL	2598.0425	6419.8929	3.41	34.76
	Forest-Evergreen --> FRSE	1116.3398	2758.5314	1.46	14.93
	Pasture --> PAST	3741.3837	9245.1462	4.90	50.05
SOILS:					
	Lve	258.2010	638.0277	0.34	3.45
	PVA	7197.5649	17785.5428	9.44	96.29
SLOPE:					
	0-15	6343.6451	15675.4643	8.32	84.86
	15-30	1079.2128	2666.7889	1.41	14.44
	30-45	32.9080	81.3173	0.04	0.44

Fonte: O autor.

O modelo SWAT também gera um relatório topográfico para cada sub-bacia conforme é apresentado na Figura 4.15.

FIGURA 4.15- Relatório topográfico da bacia e sub-bacias do Ribeirão João Leite.

Elevation report for the watershed	
Statistics:: All elevations reported in meters	
Min.	Elevation: 698
Max.	Elevation: 1154
Mean.	Elevation: 883.081808525782
Std.	Deviation: 80.5065697542773

Subbasin # 1	
Min.	Elevation: 831
Max.	Elevation: 1142
Mean.	Elevation: 939.092859537378
Std.	Deviation: 58.6887635974025

Subbasin # 2	
Min.	Elevation: 824
Max.	Elevation: 1137
Mean.	Elevation: 937.797947629158
Std.	Deviation: 76.9623846047784
:	

Subbasin # 23	
Min.	Elevation: 698
Max.	Elevation: 752
Mean.	Elevation: 714.364864864865
Std.	Deviation: 13.2866772576637

Fonte: O autor.

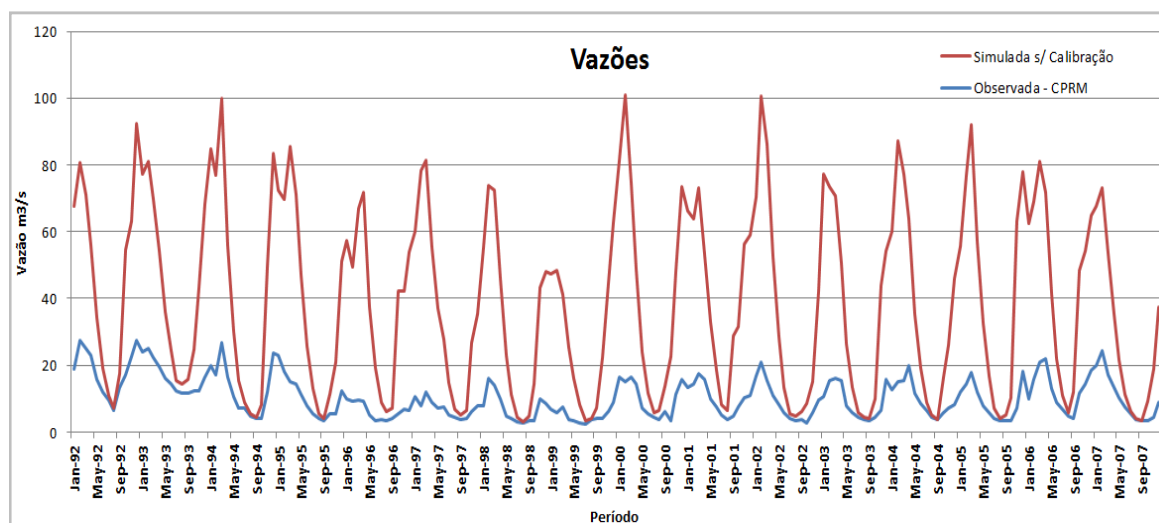
4.3.3 - Aplicação do modelo

Após a delimitação das 23 sub-bacias, determinação da quantidade de HRU's, inserção de 20 anos de dados climáticos para a alimentação do modelo, foram simulados o escoamento superficial e aporte de sedimentos na bacia.

4.3.3.1 – Ajustes

Após a primeira simulação das vazões mensais (1992-2012), sem calibração prévia, chegou-se a resultados de saída que não condiziam com a realidade. O modelo superestimou fortemente as vazões máximas, o que pode ser notado por meio da comparação com as vazões observadas pela estação fluviométrica da CPRM (1992-2007) conforme é apresentado na Figura 4.16.

FIGURA 4.16 - Comparativo entre vazões simuladas (sem calibração) e observadas entre 1992 e 2007.



Fonte: O autor.

Como o resultado da primeira simulação não foi satisfatório, com a finalidade de calibrar o modelo realizou-se inicialmente a análise de sensibilidade para 27 parâmetros do modelo SWAT, totalizando 270 simulações. Os efeitos finais da variação dos parâmetros foram hierarquizados por ordem de influência e estão apresentados no Quadro 4.9. A descrição dos parâmetros foi baseada no manual do SWAT (Neitsh *et al.*, 2005).

Cada parâmetro tem um valor no *ranking* definido após a análise. Um menor valor no *ranking* indica uma maior influência do parâmetro sobre o resultado final da simulação

para determinada variável, neste caso, a vazão. Variáveis com *ranking* cujo valor é de 27 não exercem nenhuma influência sobre o valor final do parâmetro analisado.

Ressaltando que por não existir uma estação de monitoramento hidrossedimentológico na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, o ordenamento das variáveis referentes a produção de sedimentos e a calibração das mesmas não foi realizada devido a inexistência de dados observados.

QUADRO 4.9 - Descrição dos parâmetros e *ranking* de cada uma das variáveis após a realização da Análise de Sensibilidade do modelo SWAT.

Ranking	Parâmetro	Descrição
1	Esco	Fator de compensação da evaporação do solo
2	Sol_Awc	Capacidade de água disponível (mm H ₂ O / mm solo)
3	Cn2	Valor do curva número inicial do Soil Consevation Service
4	Sol_Z	Profundidade do solo (mm)
5	Blai	Índice máximo de área foliar
6	Canmx	Armazenamento máximo de água no dossel vegetativo (mm)
7	Gw_Revap	Coeficiente de re-evaporação da água subterrânea
8	Ch_K2	Condutividade hidráulica efetiva do canal (mm/ano)
9	Epc	Fator de compensação da retirada das plantas
10	Alpha_Bf	Fator alfa do fluxo de base (dias)
11	Ch_N2	Coeficiente de Manning do canal principal
12	Gwqmn	Concentração de nitrato na água subterrânea contribuinte (mgN/L)
13	Slope	Declividade média mais acentuada (mm/m)
14	Sol_Alb	Albedo do solo
15	Sol_K	Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
16	Gw_Delay	Retardo do escoamento subterrâneo
17	Surlag	Tempo de retardo do escoamento superficial
18	Revapmn	Profundidade de água limite no aquífero raso (mm)
19	Biomix	Eficiência da mistura biológica
27	Slsbbsn	Comprimento da declividade média (m)
27	Timp	Fator de retardo da temperatura do bloco de neve
27	Sftmp	Temperatura da neve (°C)
27	Smfmm	Fator de derretimento da neve em dezembro (mmH ₂ O/°C/dia)
27	Smfmx	Fator de derretimento da neve em junho (mmH ₂ O/°C/dia)
27	Smtmp	Temperatura de base para derretimento de neve (°C)
27	Tlaps	Taxa de variação da temperatura (°C/km)

Com base no ordenamento dos parâmetros fornecidos pela análise de sensibilidade, e com o manual do SWAT foram realizados ajustes nos parâmetros apresentados no Quadro 4.10.

QUADRO 4.10 - Ajuste dos parâmetros posterior a calibração.

Parâmetros	Esco	SOL_AWC				Cn2	Alpha_Bf
		Cx	Gj	Lve	PVA		
Originais	1	0,18	0,8	0,1	0,1	10	0
Ajustados	0,0896	0,04	0,04	0,04	0,04	17,767	0,0322

Além de ser o parâmetro que mais influenciou na modelagem de acordo com o resultado da análise de sensibilidade, a variável ESCO é recomendada pelo manual do SWAT proposto por NEITSCH *et al.* (2005) para ser alterada no processo de calibração. Segundo o manual, essa variável possui índice mínimo igual a “zero” e máximo de “um”, sendo que, quanto mais próximo de “zero”, há um aumento na evapotranspiração no perfil do solo, e no caso de diminuição da ESCO, ocorre à relação inversa.

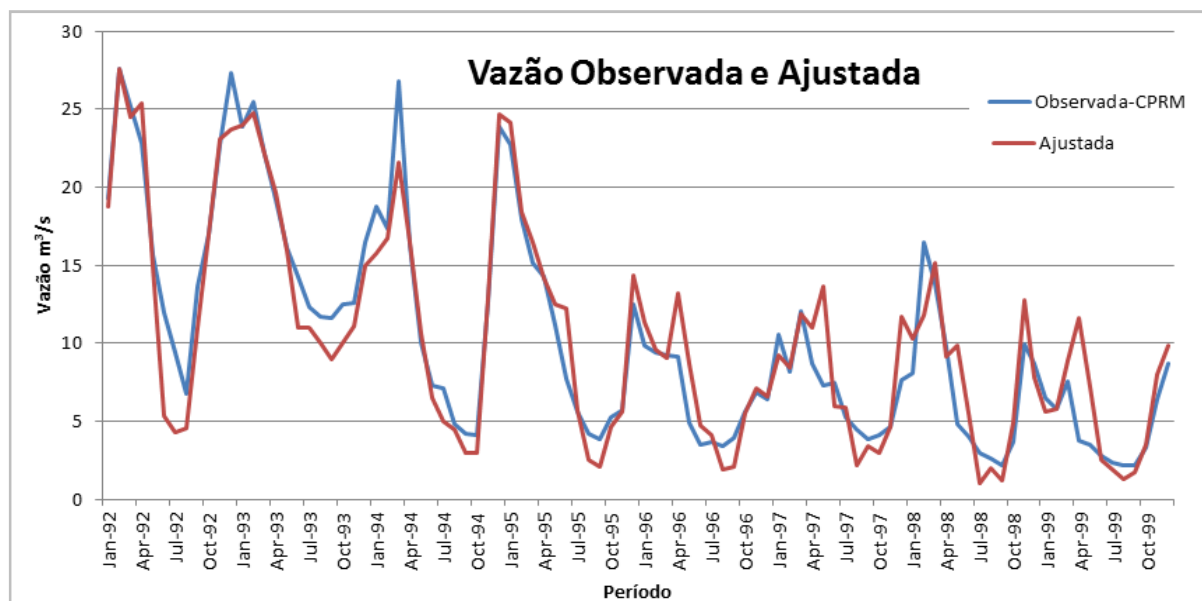
A alteração da variável SOL_AWC para os horizontes superficiais de todos os solos da área de estudo possibilitou um aumento significativo no o aumento da percolação da água no perfil do solo, aumentando o fluxo subterrâneo da bacia.

A alteração do CN2 também contribuiu para o aumento da percolação, o aumento dessa contribuição da água subterrânea e a minimização do escoamento superficial possibilita para a bacia um acréscimo na disponibilidade hídrica durante o período seco, minimizando a escassez hídrica.

E o último parâmetro ajustado, o Alpha_Bf foi alterado seguindo as especificações do manual do SWAT, o qual apresenta que para calibrar o modelo de forma a abaixar o valor da vazão líquida simulada, corrigindo dessa forma possíveis deslocamentos nas curvas de vazão observada e simulada é necessário na maioria dos casos aumentar o valor desse parâmetro ao máximo, porém nesse caso o valor adotado no ajuste já apresentou um resultado satisfatório.

Após o processo de calibração foi realizado um comparativo entre as vazões mensais (1992-1999) observadas e ajustadas conforme apresentado na Figura 4.17.

FIGURA 4.17 – Dados plotados de vazão observada e vazão ajustada após a calibração.



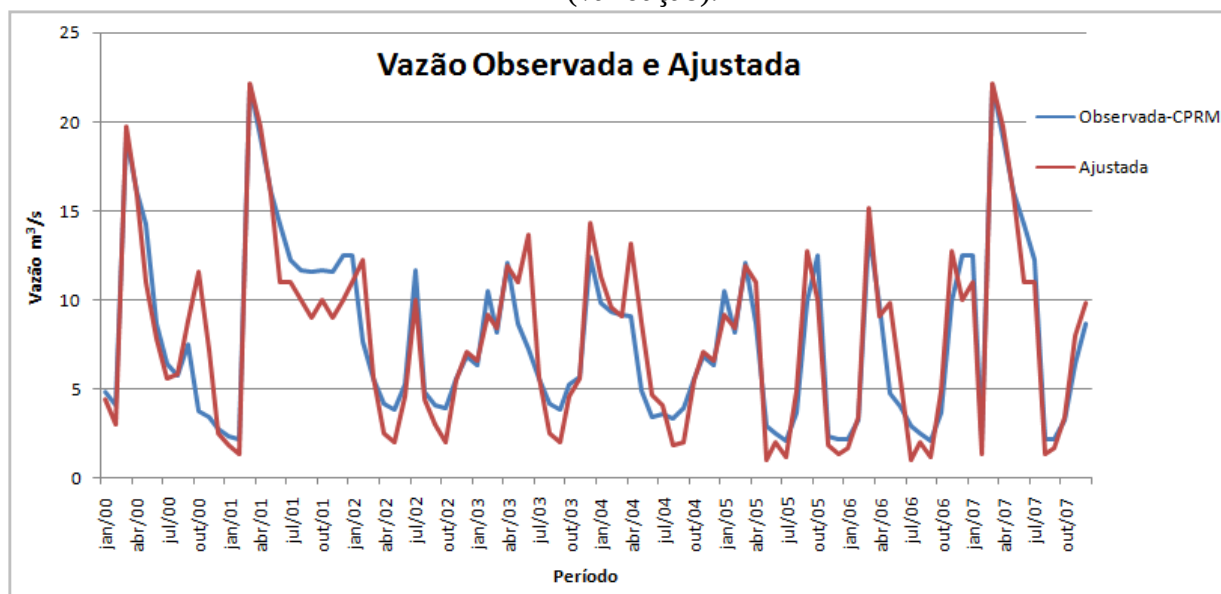
Fonte: O autor.

Visualmente nota-se que o resultado da calibração apresentou um razoável ajuste referentes as vazões máximas e mínimas. Porém para determinar o desempenho do modelo, se faz necessário a utilização de critérios estatísticos para essa avaliação, nesse caso o Coeficiente de Nash-Sutcliffe ou COE, o Dv (%) que é o desvio observado entre o evento observado e o simulado e também a correlação entre os mesmos.

Após ajuste dos dados o COE atingiu o valor de 0,723 que indica um bom ajuste dos dados, pois de acordo com Marchioro (2008) um COE acima de 0,7 demonstra que a calibração foi satisfatória. O resultado da estimativa do Dv (%) foi de 3,26 e a correlação entre os eventos apresentou o valor de 0,52.

O COE também foi aplicado no intervalo de dados de vazão destinados a validação do modelo (2000 a 2007) onde o mesmo atingiu o valor de 0,706 conforme apresentado na Figura 4.18:

FIGURA 4.18 – Dados plotados de vazão observada e vazão ajustada após a calibração (validação).



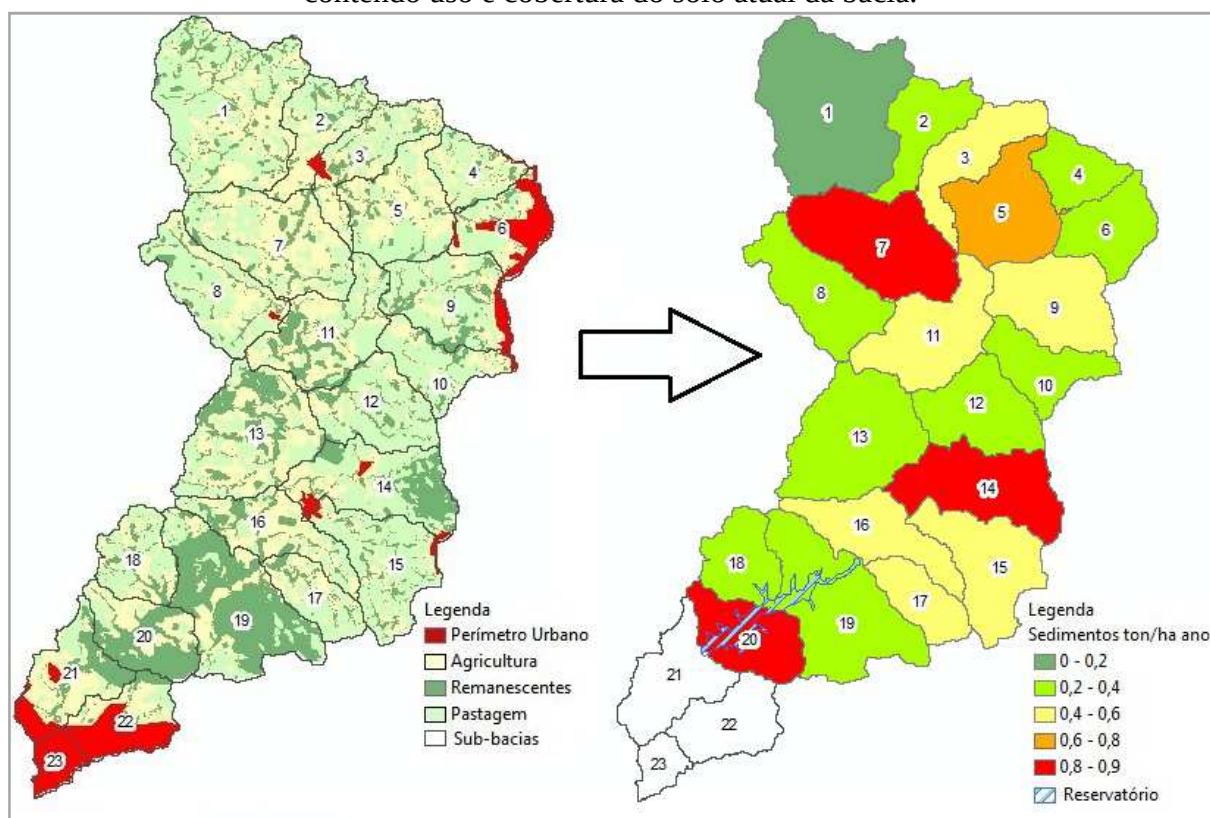
Fonte: O autor.

4.3.3.2 – Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos na bacia em diferentes cenários

4.3.3.2.1 - Cenário 1 - Paisagem com uso e cobertura do solo atual

Para simulação desse cenário foram consideradas 349 HRU's cujo resultado considerando as condições atuais do uso e cobertura do solo (Perímetro urbano, Agricultura, Remanescentes de vegetação nativa e Pastagem) demonstrou que as sub-bacias 7 e 14 respectivamente localizadas nas regiões norte e central assim como a sub-bacia 20 localizada na região sul da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite apresentaram maiores índices de produção de sedimentos, conforme ilustra a Figura 4.19.

FIGURA 4.19 – Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos para o cenário contendo uso e cobertura do solo atual da bacia.



Fonte: O autor.

O resultado mínimo da estimativa de produção de sedimentos foi encontrado na sub-bacia 1 cujo valor para o ano de 2012 foi de 0,19 ton/ha e o valor máximo foi de 0,88 ton/ha para o sub-bacia 14. A média de produção de sedimentos para toda a bacia foi de 0,46 ton/ha.

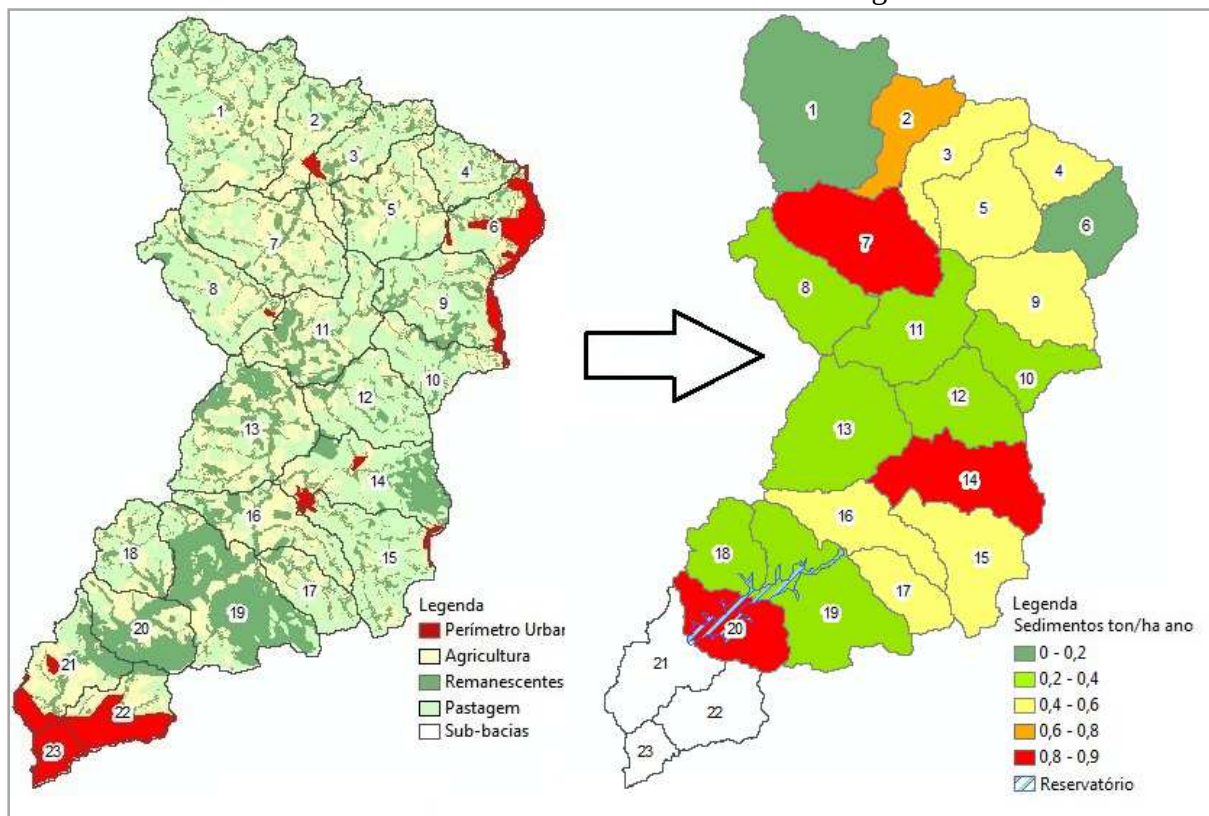
A simulação deste cenário permitiu uma avaliação comparativa entre os demais cenários hipotéticos propostos nesse estudo.

4.3.3.2.2 - Cenário 2- Paisagem com uso e cobertura do solo obedecendo ao Código Florestal Brasileiro - Áreas de Preservação Permanente - APP's preservadas

Para simulação do segundo cenário foram consideradas 353 HRU's na qual adotou-se o uso e cobertura do solo obedecendo ao Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771/1965) quanto a preservação das Áreas de Preservação Permanente demonstrando que assim como no cenário anterior (uso e cobertura atual do solo) as sub-bacias 7 e 14 respectivamente localizadas nas regiões norte e central assim como a sub-bacia 20 localizada

na região sul da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite apresentaram um maior valor da produção de sedimentos conforme a Figura 4.20.

FIGURA 4.20 – Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos da bacia para o cenário contendo uso e cobertura do solo obedecendo ao Código Florestal Brasileiro.



Fonte: O autor.

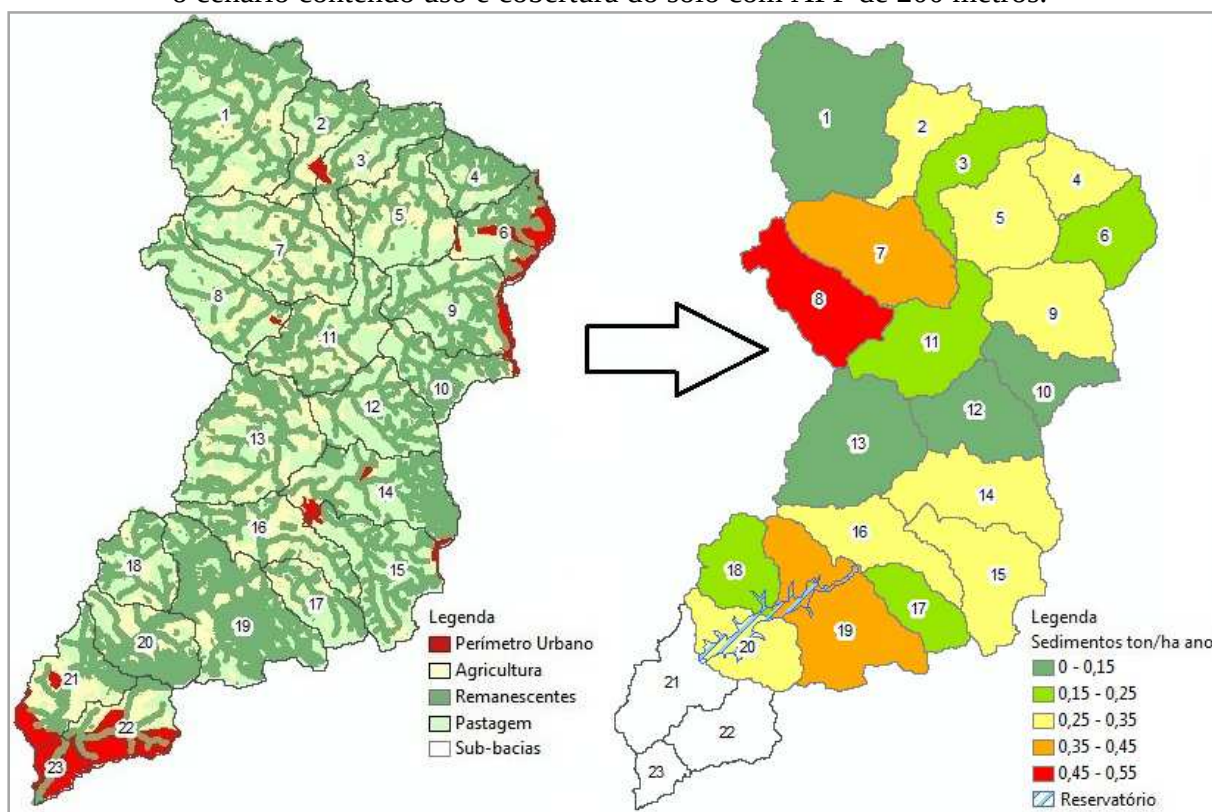
O resultado mínimo da estimativa de produção de sedimentos foi encontrado na sub-bacia 1 cujo valor para o ano de 2012 foi de 0,14 ton/ha e o valor máximo foi de 0,72 ton/ha para o sub-bacia 7. Nesse cenário a média de produção de sedimentos para toda a bacia foi de 0,34 ton/ha.

4.3.3.2.3 – Cenário 3 - Paisagem com uso e cobertura do solo contendo APP's mais restritivas (200 metros) e preservadas

Para simulação do terceiro cenário foram consideradas 351 HRU's, onde foi realizada uma análise mais restritiva quanto a delimitação e preservação das Áreas de Preservação Permanente, para isso foi considerado o valor de 200 metros para essa delimitação a qual foi adotado com base na faixa de proteção no entorno do reservatório de abastecimento da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. Considerando esse cenário as

sub-bacias 7 e 8 ambas localizadas nas regiões central/norte da bacia apresentaram um maior valor da produção de sedimentos conforme a Figura 4.21.

FIGURA 4.21 – Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos da bacia para o cenário contendo uso e cobertura do solo com APP de 200 metros.



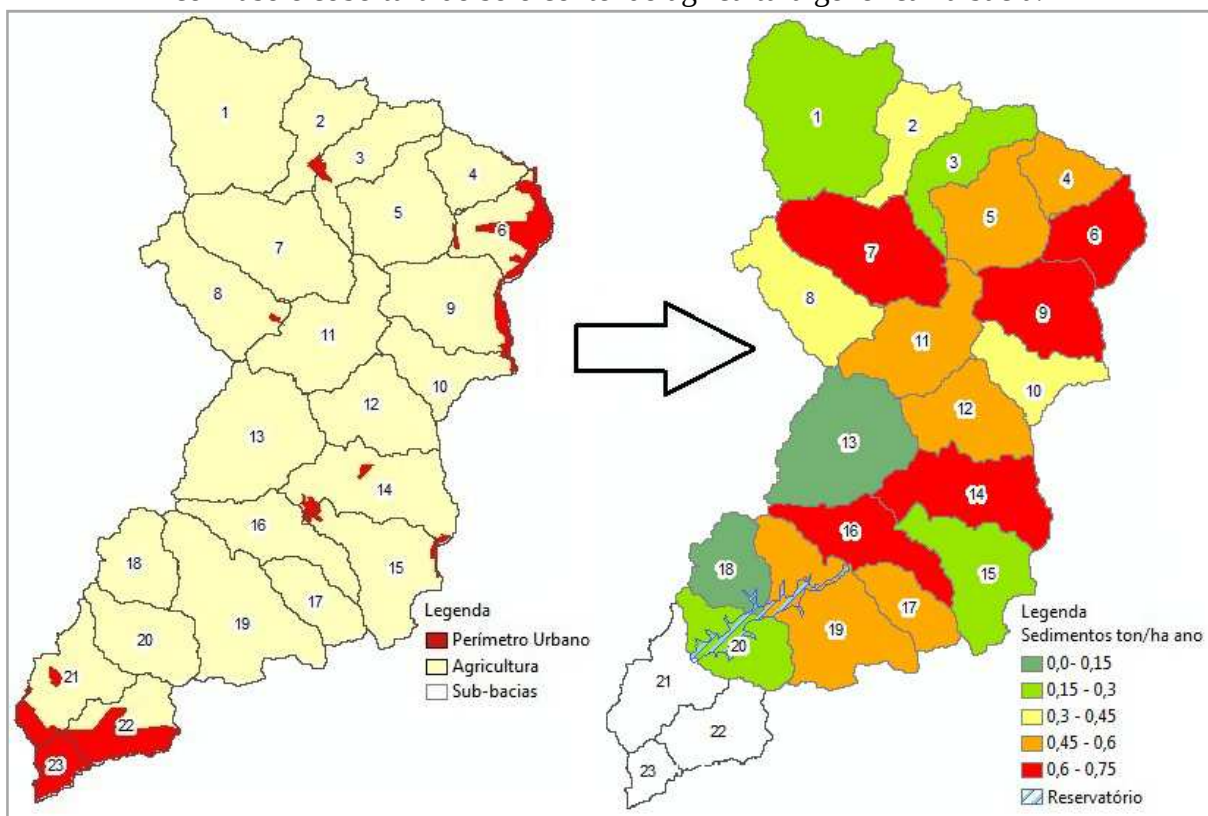
Fonte: O autor.

O resultado mínimo da estimativa de produção de sedimentos foi encontrado na sub-bacia 1 cujo valor para o ano de 2012 foi de 0,1 ton/ha e o valor máximo foi de 0,54 ton/ha para o sub-bacia 8. A média da produção de sedimentos para toda a bacia foi de 0,27 ton/ha.

4.3.3.2.4 - Cenário 4 - Paisagem com Uso e cobertura do solo contendo Agricultura Genérica

Para simulação do quarto cenário foram consideradas 152 HRU's o qual adotou como uso e cobertura do solo o uso predominante da agricultura genérica (mantendo os perímetros urbanos) na bacia. As sub-bacias 14 e 16 localizadas na região central, assim como as sub-bacias 6 e 9 localizadas na região nordeste e a sub-bacia 7 na região noroeste da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite apresentaram um maior valor da produção de sedimentos conforme ilustra a Figura 4.22.

FIGURA 4.22 – Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos para o cenário com uso e cobertura do solo contendo agricultura genérica na bacia.



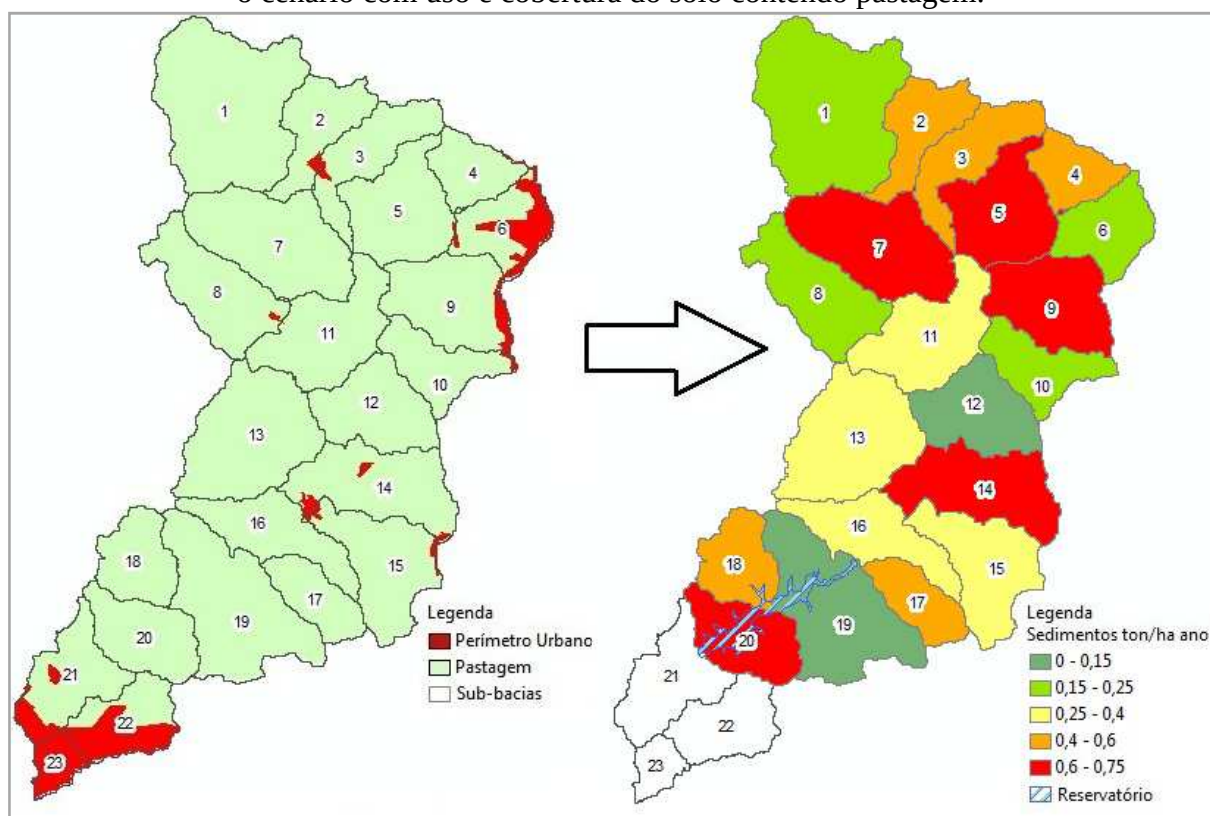
Fonte: O autor.

O resultado mínimo da estimativa de produção de sedimentos foi encontrado na sub-bacia 18 cujo valor para o ano de 2012 foi de 0,13 ton/ha e o valor máximo foi de 0,73 ton/ha para o sub-bacia 14. A média de produção de sedimentos para toda a bacia foi de 0,45 ton/ha.

4.3.3.2.5 - Cenário 5- Paisagem com uso e cobertura do solo contendo Pastagem

Para simulação do quinto cenário foram consideradas 152 HRU's o qual adotou como uso e cobertura do solo o uso predominante da pastagem (mantendo os perímetros urbanos) na bacia. Nesse cenário, cinco sub-bacias (7, 5, 9, 14 e 20) em diferentes regiões da bacia apresentaram um valor elevado na produção de sedimentos conforme é apresentando na Figura 4.23.

FIGURA 4.23 – Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos da bacia para o cenário com uso e cobertura do solo contendo pastagem.



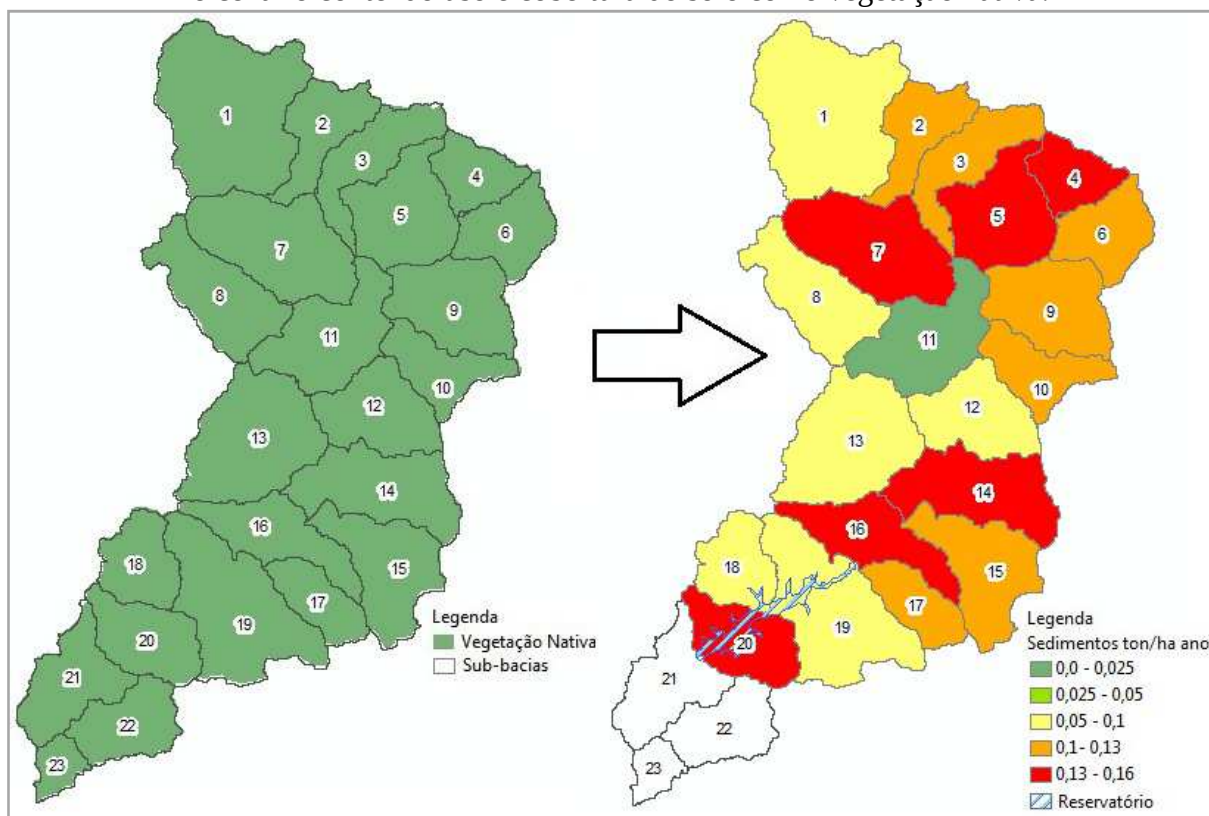
Fonte: O autor.

O resultado mínimo da estimativa de produção de sedimentos foi encontrado na sub-bacia 12 cujo valor para o ano de 2012 foi de 0,12 ton/ha e o valor máximo foi de 0,76 ton/ha para a sub-bacia 20. A média da produção de sedimentos para toda a bacia foi de 0,43 ton/ha.

4.3.3.2.6 - Cenário 6 - Paisagem com uso e cobertura original do solo - ocupação hipotética da bacia com Vegetação Nativa

Para simulação do sexto e último cenário foram consideradas 123 HRU's o qual adotou como uso e cobertura do solo o uso predominante da vegetação nativa na área total da bacia. Nesse cenário as sub-bacias 7 e 14 respectivamente localizadas nas regiões noroeste e sudeste da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite apresentaram os maiores valores conforme é apresentando na Figura 4.24.

FIGURA 4.24 – Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos na bacia para o cenário contendo uso e cobertura do solo como vegetação nativa.



Fonte: O autor.

O resultado mínimo da estimativa de produção de sedimentos foi encontrado na sub-bacia 11 cujo valor para o ano de 2012 foi de 0,02 ton/ha e o valor máximo foi de 0,16 ton/ha para a sub-bacia 7. A média da produção de sedimentos para toda a bacia foi de 0,11 ton/ha.

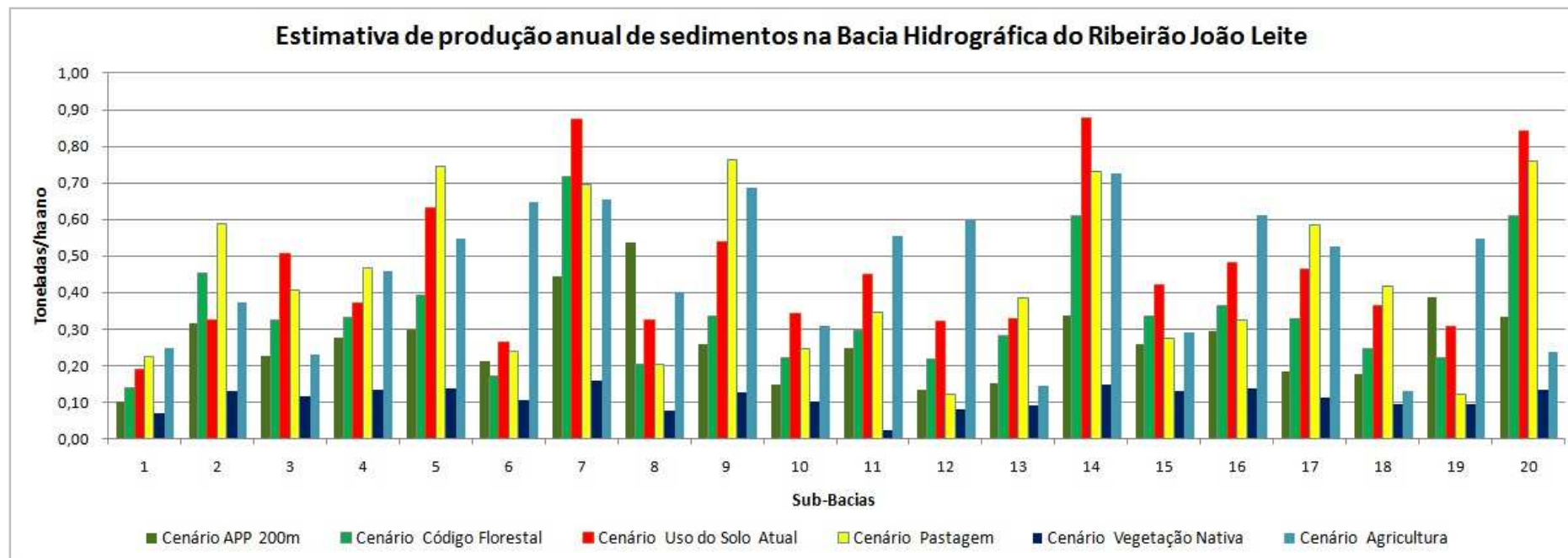
4.3.3.2.7 - Comparativo da estimativa de produção de sedimentos entre os cenários propostos

A estimativa de produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite apresentou diferentes resultados de acordo com a mudança do uso e cobertura do solo adotado para cada cenário proposto nesse estudo, os resultados são apresentados no Quadro 4.11 e nas Figuras 4.25 e 4.26.

QUADRO 4.11 – Estimativa da produção de sedimentos para todos os cenários.

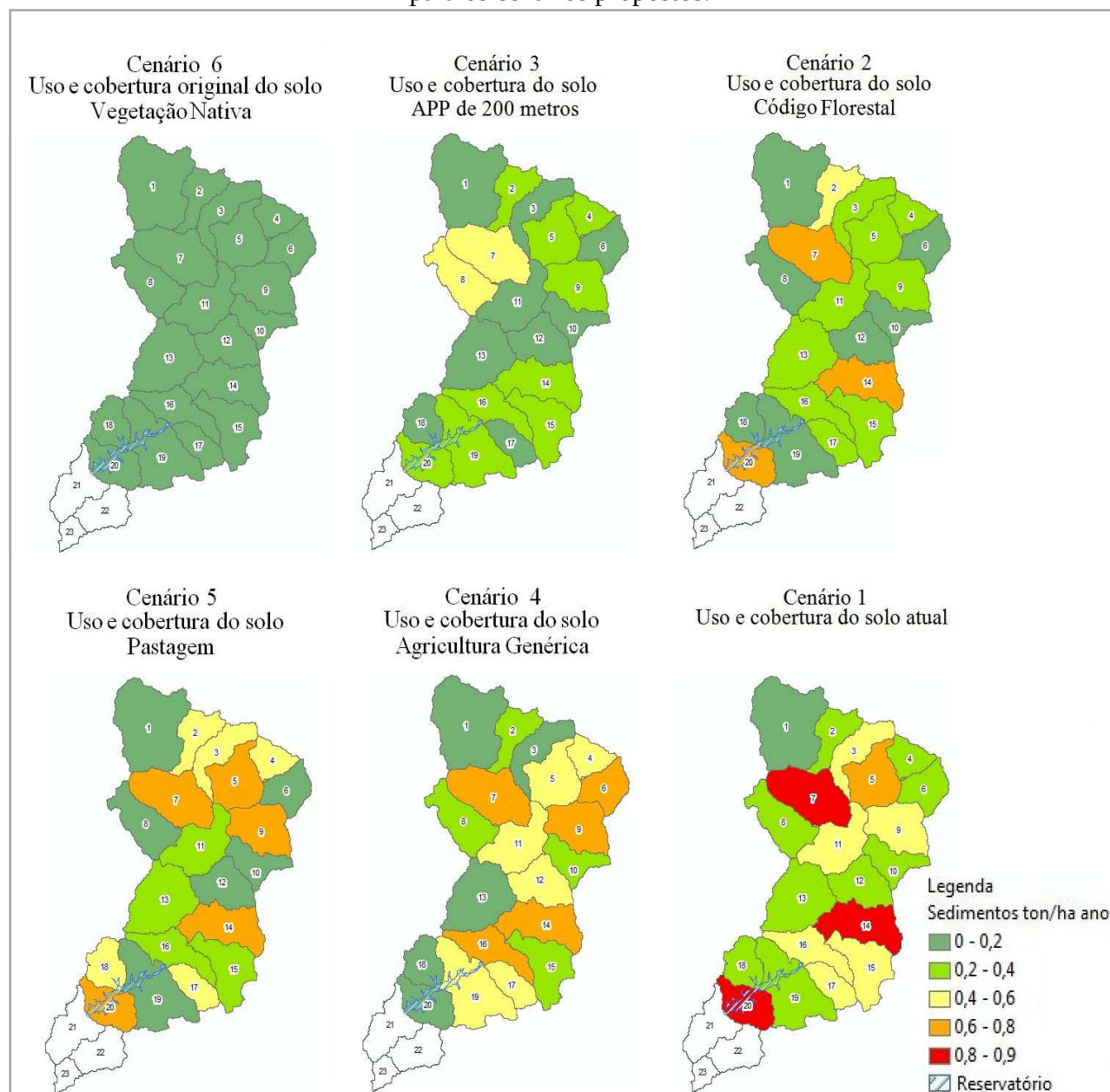
Produção de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite - 2012						
Sub-bacia	Cenário Uso do Solo Atual (ton/ha)	Cenário Código Florestal (ton/ha)	Cenário APP 200m (ton/ha)	Cenário Agricultura (ton/ha)	Cenário Pastagem (ton/ha)	Cenário Vegetação Nativa (ton/ha)
1	0,19	0,14	0,10	0,25	0,22	0,07
2	0,32	0,45	0,31	0,37	0,59	0,13
3	0,51	0,33	0,23	0,23	0,41	0,11
4	0,37	0,33	0,28	0,46	0,47	0,13
5	0,63	0,39	0,30	0,55	0,75	0,13
6	0,27	0,17	0,21	0,65	0,24	0,10
7	0,88	0,72	0,44	0,66	0,70	0,16
8	0,33	0,20	0,54	0,40	0,20	0,07
9	0,54	0,33	0,26	0,69	0,76	0,13
10	0,34	0,22	0,15	0,31	0,25	0,10
11	0,45	0,30	0,25	0,55	0,35	0,02
12	0,32	0,22	0,13	0,60	0,12	0,08
13	0,33	0,28	0,15	0,14	0,39	0,09
14	0,88	0,61	0,34	0,73	0,73	0,15
15	0,42	0,33	0,26	0,29	0,28	0,13
16	0,48	0,36	0,29	0,61	0,33	0,14
17	0,46	0,33	0,18	0,53	0,58	0,11
18	0,37	0,25	0,17	0,13	0,42	0,09
19	0,31	0,22	0,39	0,55	0,12	0,09
20	0,84	0,61	0,33	0,23	0,76	0,13
média	0,46	0,34	0,27	0,45	0,43	0,11
mínimo	0,19	0,14	0,10	0,13	0,12	0,02
máximo	0,88	0,72	0,54	0,73	0,76	0,16

FIGURA 4.25 – Estimativa de produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite



Fonte: O autor.

FIGURA 4.26 – Distribuição espacial geral da estimativa de produção de sedimentos na bacia para os cenários propostos.



Fonte: O autor.

Comparando a produção de sedimentos do cenário 1 com o cenário 2 nota-se que ocorreu redução de maneira proporcional de forma que praticamente as mesmas sub-bacias apresentaram os maiores valores. Essa redução no caso se deu com a aplicação do Código Florestal Brasileiro considerando que o mesmo fosse seguido integralmente. Com isso a estimativa da produção média de sedimentos do Cenário 2 apresentou uma redução de 0,12 ton/ha para toda a bacia em relação ao cenário atual.

Em uma análise mais restritiva quanto as APP's conforme apresentado no Cenário 3, houve um decréscimo significativo na produção média de sedimentos em relação ao

cenário atual da bacia, a adoção de 200 metros na delimitação dessas áreas apresentou uma redução de 0,19 ton/ha em comparação com o atual uso e cobertura do solo da bacia, o que demonstra que o aumento da cobertura vegetal influencia na diminuição do transporte de sedimentos.

Substituindo as classes de uso e ocupação do solo pastagem e remanescentes de vegetação nativa por agricultura, o Cenário 4 apresenta dois usos específicos, perímetro urbano e agricultura genérica como uso predominante na bacia. Em um comparativo com o cenário atual, percebe-se uma oscilação entre a produção de sedimentos nas sub-bacias de maneira geral. Nesse cenário, a redução foi de 0,01 ton/ha em relação ao Cenário 1, um valor relativamente pequeno se comparado com a produção média de sedimentos dos Cenários 2 e 3.

Assim como no cenário anterior, foi considerado que os demais usos e coberturas do solo (exceto o perímetro urbano) fossem substituídos por uma única classe, no caso desse cenário, a pastagem. As características desse cenário em um comparativo com o Cenário 4 se mantiveram também em relação a oscilação e a redução da produção média de sedimentos, a qual foi de 0,03 ton/ha, valor também considerado baixo se comparado aos demais cenários.

E no comparativo do último cenário, obteve-se a maior redução da produção média de sedimentos em relação ao cenário atual da bacia, a adoção da vegetação nativa como classe predominante em sua área total apresentou uma redução significativa na produção média de sedimentos, cujo valor foi de 0.35 ton/ha para toda a bacia. O que reforça conforme apresentado no Cenário 3 que a cobertura vegetal tem grande influência sobre o escoamento superficial e consequentemente sobre a produção de sedimentos.

Comparando os valores de produção média de sedimentos da bacia nos cenários propostos pode-se notar que houve uma oscilação nos mesmos, sendo que o Cenário 6 (Vegetação Nativa) apresentou os menores valores dessa estimativa.

4.4.3.2.8 - Estimativa de produção e aporte de sedimentos no reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite

As fontes de poluição difusa também estão associadas ao processo de produção de sedimentos, pois os processos erosivos não incluem apenas o transporte de partículas de sedimentos, mas também transportam nutrientes e poluentes. Associada às questões relacionadas à qualidade e disponibilidade de água, a degradação dos sistemas hídricos pode reduzir o volume e consequentemente o tempo de vida útil de reservatórios de abastecimento

de água para consumo, o que é um dos principais problemas causados pela deposição desses sedimentos.

Considerando o reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite como objeto de análise da estimativa de produção e aporte de sedimentos, foram consideradas as sub-bacias a montante do mesmo como áreas de contribuição direta para o mesmo, conforme apresentado no Quadro 4.12.

QUADRO 4.12 - Estimativa da produção de sedimentos das áreas de contribuição para o reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite.

Sub-bacia	Cenário Uso do Solo Atual (ton)	Cenário Código Florestal (ton)	Cenário APP 200m (ton)	Cenário Agricultura (ton)	Cenário Pastagem (ton)	Cenário Vegetação Nativa (ton)
1	1.415	1.041	1.853	1.853	1.680	512
2	766	1.073	881	881	1.389	303
3	1.382	886	619	619	1.105	312
4	665	595	821	821	841	238
5	2.333	1.448	2.027	2.027	2.761	498
6	644	416	1.573	1.573	579	254
7	4.253	3.479	3.181	3.181	3.381	761
8	1.168	733	1.445	1.445	732	264
9	1.965	1.221	2.517	2.517	2.793	461
10	765	494	687	687	549	227
11	1.759	1.158	2.160	2.160	1.345	87
12	1.010	687	1.896	1.896	385	251
13	1.700	1.450	735	735	2.003	471
14	3.518	2.451	2.918	2.918	2.934	583
15	1.529	1.215	1.052	1.052	1.002	468
16	1.424	1.079	1.818	1.818	967	407
17	840	597	957	957	1.061	204
18	810	545	287	287	924	205
19	1.712	1.233	3.062	3.062	683	525
20	2.299	1.668	642	642	2.081	361
Σ	31.959	23.466	31.129	31.129	29.194	7.392

Conforme já citado posteriormente, a simulação da estimativa de produção de sedimentos foi realizada somente para o ano de 2012, os demais dados climáticos utilizados serviram como subsídios para a melhor resposta do modelo e também pelo fato do

enchimento do reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite ter se iniciado no dia 18 de dezembro de 2009 o qual só atingiu sua cota máxima em 12 de janeiro de 2011.

De acordo como o Quadro 4.12 o cenário contendo como paisagem o uso e cobertura do solo atual da bacia considerando o somatório da produção média anual de sedimentos para as sub-bacias a montante do reservatório foi de 31.959 toneladas ao ano.

Os cenários 2 e 3 que podem ser considerados como possivelmente empregáveis, considerando a aplicabilidade da legislação ambiental vigente e uma legislação mais restritiva, apresentam uma redução considerável de sedimentos recebidos diretamente no reservatório.

Nos demais cenários propostos existe uma oscilação dessa produção de sedimentos, e analisando o que talvez seria considerado como “cenário ideal”, o cenário contendo como paisagem o uso e cobertura do solo como vegetação nativa obteve o menor valor de produção de sedimentos dispostos no reservatório, cujo valor foi de 7.392 toneladas ao ano.

4.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fim de compreender a produção sedimentos, o presente trabalho simulou os processos hidrossedimentológicos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite em diferentes cenários.

O modelo SWAT junto a interface ArcSWAT geraram dados simulados que acompanharam os dados observados de vazão. As simulações de vazão calibradas e validadas apresentaram valores aceitáveis com aplicação do Coeficiente de Nash-Sutcliffe – COE e nas correlações. O modelo SWAT também mostrou a sensibilidade da bacia às mudanças dos cenários de uso e cobertura do solo, permitindo modelar a dinâmica hidrossedimentológica da mesma.

Quanto aos sedimentos, verifica-se que o presente trabalho careceu de informações referentes a sua produção, devido a inexistência de uma estação hidrossedimentológica na bacia. Isso impossibilitou a calibração e validação desses dados. Com isso a estimativa de produção de sedimentos não atingiu um nível de confiabilidade aceitável, porém a partir das simulações foi possível determinar as sub-bacias juntamente com as diferentes paisagens contidas nos cenários propostos, permitindo assim a espacialização e quantificação da produção de sedimentos na bacia e no reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite.

O estudo evidenciou a influência do uso e cobertura do solo no aumento da produção dos sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite, que por sua grande importância para o abastecimento do município de Goiânia, necessita de um estreito controle quanto ao seu manejo, principalmente em relação as atividades agropecuárias e a especulação imobiliária a montante do reservatório, o que pode impactar na qualidade de suas águas, e consequentemente no aumento dos custos de seu tratamento, e quanto ao carreamento de sedimentos resultantes dessas atividades, em sua vida útil.

Ainda sobre a área de estudo, tratando-se da modelagem pode-se considerar que um levantamento mais detalhado das características físicas da bacia seria de grande importância para melhor representação da sua produção de sedimentos permitindo assim uma simulação mais confiável em estudos futuros, a calibração por sub-bacia deveria ser considerada, pois poderia resultar em um melhor ajuste, e consequentemente nos resultados dos fatores simulados. Ainda assim a simulação possibilita, mesmo que de maneira grosseira, nortear a tomada de decisões por parte do poder público quanto a importância da preservação dessa bacia que é tão importante para população local.

CAPITULO V: AVALIAÇÃO DO USO DE IMAGENS OBTIDAS PELOS SENSORES TM - LANDSAT-5 E PRISM - ALOS NA SIMULAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE

Este capítulo apresenta a comparação entre a simulação hidrossedimentológica da bacia hidrográfica e do reservatório do Ribeirão João Leite utilizando como dados de entrada do modelo imagens de satélite com diferentes resoluções espaciais.

5.1 – INTRODUÇÃO

Com o avanço das geotecnologias o uso de imagens orbitais para fins de monitoramento ambiental é uma realidade, e contribui para a geração de mapeamentos eficientes, rápidos e confiáveis nos mais diversos estudos que envolvam a dinâmica de processos que ocorrem em bacias hidrográficas, e seus problemas de gestão.

Uma alternativa para o manejo de uma bacia hidrográfica seria então identificar áreas de potencial risco para a qualidade de suas águas, partindo do princípio que as características da água bruta dependem das condições naturais e do uso e cobertura do solo na bacia (VON SPERLING, 2005). Por isso é preciso dinamizar o processo de extração de dados sobre bacias, gerando-se uma base de informações confiável e atualizada, principalmente no que se refere ao uso e cobertura do solo, configurando um componente relevante no processo de tomada de decisão. Partindo dessa premissa Fernandes (2005) afirma que o uso de geotecnologias, em particular daquelas oriundas do sensoriamento remoto, com o qual é possível a observação de grandes, médias e pequenas áreas, apresenta-se como uma alternativa para obtenção das informações que identifiquem e quantifiquem as características da superfície terrestre.

Os sensores TM e PRISM, instalados a bordo dos satélites Landsat-5 e ALOS de resolução espacial de 30 e 2,5 metros, respectivamente, produzem imagens adequadas para a caracterização do uso e cobertura do solo em diferentes escalas. Por meio da classificação dessas imagens, são elaborados mapeamentos do uso e ocupação do solo, que são imprescindíveis em estudos relacionados a modelagem hidrossedimentológica de bacias hidrográficas.

A partir da comparação do mapa de uso e cobertura do solo gerado por meio da classificação das imagens Landsat-5 e ALOS é possível extrair um conjunto de parâmetros

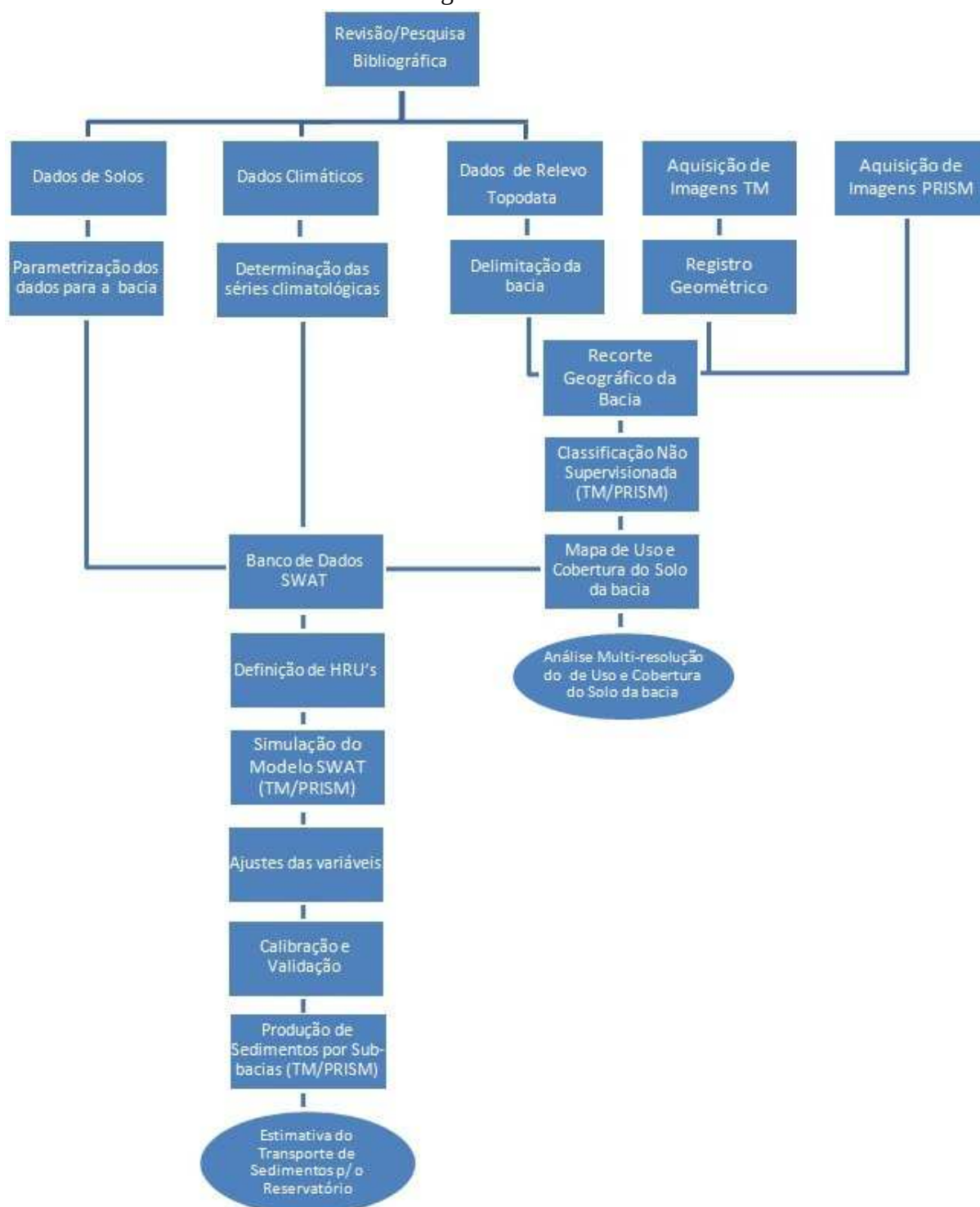
relacionados a cada classe, como área, interceptação vegetal, e uso e cobertura do solo o que permite diagnosticar, e se necessário tomar medidas que garantam a preservação ambiental do local, como é o caso da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

O objetivo desta etapa da dissertação foi verificar a influência que mapas de uso e cobertura do solo, elaborados a partir de imagens orbitais com distintas resoluções espaciais podem influenciar na modelagem hidrossedimentológica como o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*).

5.2 - MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para avaliar o uso de imagens Landsat-5 e ALOS na simulação hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite compreendeu uma combinação de procedimentos organizados, conforme o diagrama ilustrado na Figura 5.1.

FIGURA 5.1 - Fluxograma de atividades realizadas.



5.2.1 – Aquisição e processamento de dados para análise multi-resolução da bacia

Para realização do trabalho inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o histórico da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, assim como os métodos de delineamento de bacias hidrográficas a partir de dados de relevo obtidos pelo projeto

TOPODATA, o qual de acordo com Valeriano (2005) visa a construção de um banco de dados nacional com elevação e variáveis morfométricas calculados a partir de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Além dos dados TOPODATA também foram adquiridas por meio do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) imagens do satélite Landsat-5 sensor TM (*Thematic Mapper*) o qual produz imagens com 30 metros de resolução espacial. Foram adquiridas imagens do ano de 2009 as quais foram registradas (georreferenciadas) utilizando a base de dados do mosaico *Geocover* que disponibiliza imagens obtidas no ano 2000 pelo sensor ETM+, que está a bordo do sensor Landsat-7. A base de dados *Geocover* é formada por um mosaico de imagens padronizadas e corrigidas geometricamente para toda a superfície do planeta.

Foi adquirida também uma imagem do ano de 2009 obtida pelo sensor PRISM, instalado a bordo do satélite japonês ALOS, com 2,5 metros de resolução espacial, a qual foi disponibilizada pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás - SEMARH-GO.

Após o processo de registro geométrico as imagens foram recortadas, utilizando o limite geográfico da bacia hidrográfica gerada por meio do processamento dos dados de relevo TOPODATA. Em seguida, procedeu-se à classificação digital das imagens com o objetivo de separar as áreas de agricultura, pastagem, remanescentes de vegetação nativa, perímetro urbano e hidrografia, empregando-se o algoritmo de classificação não supervisionada *K-Means*. Segundo Piachiliani (2011) o *K-Means* é um algoritmo que tem por função fornecer uma classificação de informações, baseada em análises e comparações entre os seus valores numéricos e acomoda iterativamente os pixels agrupando-os em classes espectrais a partir de um número de classes, e de um número de ciclos pré-definidos pelo usuário. Nesse estudo estabeleceu-se o número de 10 classes, com 5 iterações e posteriormente o seu agrupamento.

O agrupamento das classes espectrais obtidas na classificação não-supervisionada foi realizado com auxílio do *link* dinâmico de imagens no *software* Envi. Esse *link* permite que o conteúdo de uma imagem seja visualizado dinamicamente sobre outra, facilitando à identificação e associação das classes espectrais resultantes da classificação que uma vez identificadas foram agrupadas.

Após o agrupamento foram calculadas as áreas das classes por meio do *software* de SIG (Sistema de Informações Geográficas) ArcGis 9.3, áreas essas que foram analisadas

posteriormente por meio da utilização do Índice Kappa, o qual teve por objetivo analisar o grau de concordância entre os resultados das imagens TM/Landsat-5 e PRISM/ALOS.

5.2.2 – Construção da base de dados para a modelagem hidrossedimentológica

Para simular a produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite utilizando imagens TM/Landsat-5 e PRISM/ALOS, foi utilizado o modelo hidrossedimentológico SWAT (com a interface ArcSWAT-2009) compatível com o Sistema de Informações Geográficas – SIG o qual é integrado com o *software* ArcGis 9.3 (ESRI).

A construção da base de dados básicos para a modelagem hidrossedimentológica está descrita no capítulo IV desta dissertação.

5.2.3 - Uso e Cobertura do Solo

Com a classificação não-supervisionada das imagens multiespectrais obtidas pelos sensores TM (satélite Landsat-5) e PRISM (satélite ALOS) foi possível mapear cinco diferentes tipos de uso e cobertura do solo presentes na área em estudo servindo como base para alimentar o modelo SWAT:

- Agricultura: áreas referentes ao cultivo de culturas perenes ou anuais;
- Hidrografia: como reservatórios de água naturais ou artificiais (açudes, represas, tanques, lagoas, etc.);
- Pastagem: área onde a vegetação é constituída predominantemente de gramíneas, plantas graminóides, ervas, arbustos e árvores dispersas, com influência marcante do uso de pastoreio;
- Perímetro Urbano: parte da superfície em que estão presentes edificações como vilas, cidades e outras áreas antrópicas isoladas das concentrações urbanas;
- Remanescentes de vegetação nativa: vegetação remanescente (restante) no local.

5.2.4 - Determinação das Unidades de Resposta Hidrológica - HRU's

Foram verificadas três possíveis determinações de HRU's para esse estudo: Classe dominante de solo, de uso e declividade (o modelo simula automaticamente resultados baseados no cruzamento da classe dominante de solo com a classe dominante de uso); HRU's

dominantes (a combinação única dominante do solo, do uso do solo, e de declividade na sub-bacia são usados para simular a HRU); e Múltiplas HRU's (o modelo simula automaticamente resultados baseados no cruzamento da classe dominante de solo com a classe dominante de uso, e declividade sendo desconsiderados os demais tipos de solos e usos menos representativos).

Foram escolhidas para todas as simulações, as HRU's Múltiplas, pois, existem outras classes de solos e usos, que não devem ser desconsideradas, já que os dados referentes a todas as classes foram inseridas no modelo, e desta forma, evitou-se a perda de informações relevantes para o trabalho, com isso foram geradas 353 HRU's para a simulação utilizando imagens TM/Landsat e 386 HRU's para a simulação utilizando imagens PRISM/ALOS para a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

5.2.5 – Simulações

A possibilidade de alterar as configurações dos parâmetros de entrada do modelo permite gerar novos conjuntos de condições virtuais, as quais possibilitam visualizar as consequências geradas por essas alterações. Sendo assim, foram modificados os parâmetros referentes ao uso e cobertura do solo utilizando imagens TM (satélite Landsat-5) e PRISM (satélite ALOS) na intenção de visualizar as mudanças nos resultados obtidos e verificar a sensibilidade do modelo quanto a resolução dessas imagens como dados de entrada na modelagem.

A simulação foi realizada para o período de 1992 a 2012, porém, somente foram utilizados os resultados gerados pela simulação do último ano. Os demais anos foram utilizados como um histórico de dados para um melhor funcionamento do modelo. Devido o provimento de estabilidade para as condições iniciais do modelo para esse trabalho foram utilizados os três primeiros anos (1989, 1990 e 1991) para o aquecimento do mesmo.

5.2.6 - Calibração/Validação do modelo

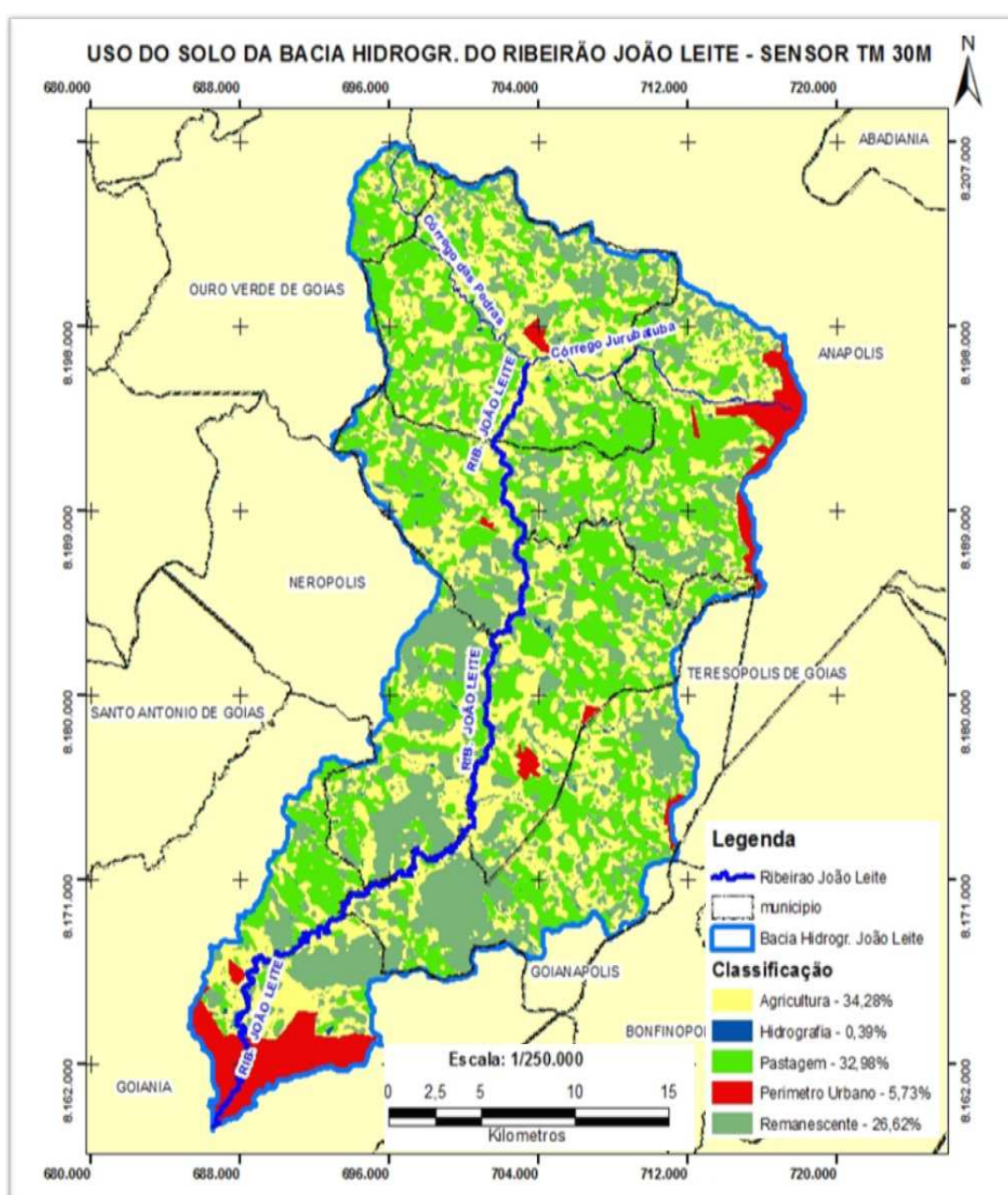
Para esse estudo foi adquirida uma série de dados observados de vazão referentes ao intervalo de 1992 a 2007 (sendo 1992 a 1999 para calibração e de 2000 a 2007 para validação do modelo) disponibilizada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM cujos dados são oriundos da estação Captação João Leite - código 60642000.

5.3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1 – Resultado da análise multi-resolução na bacia

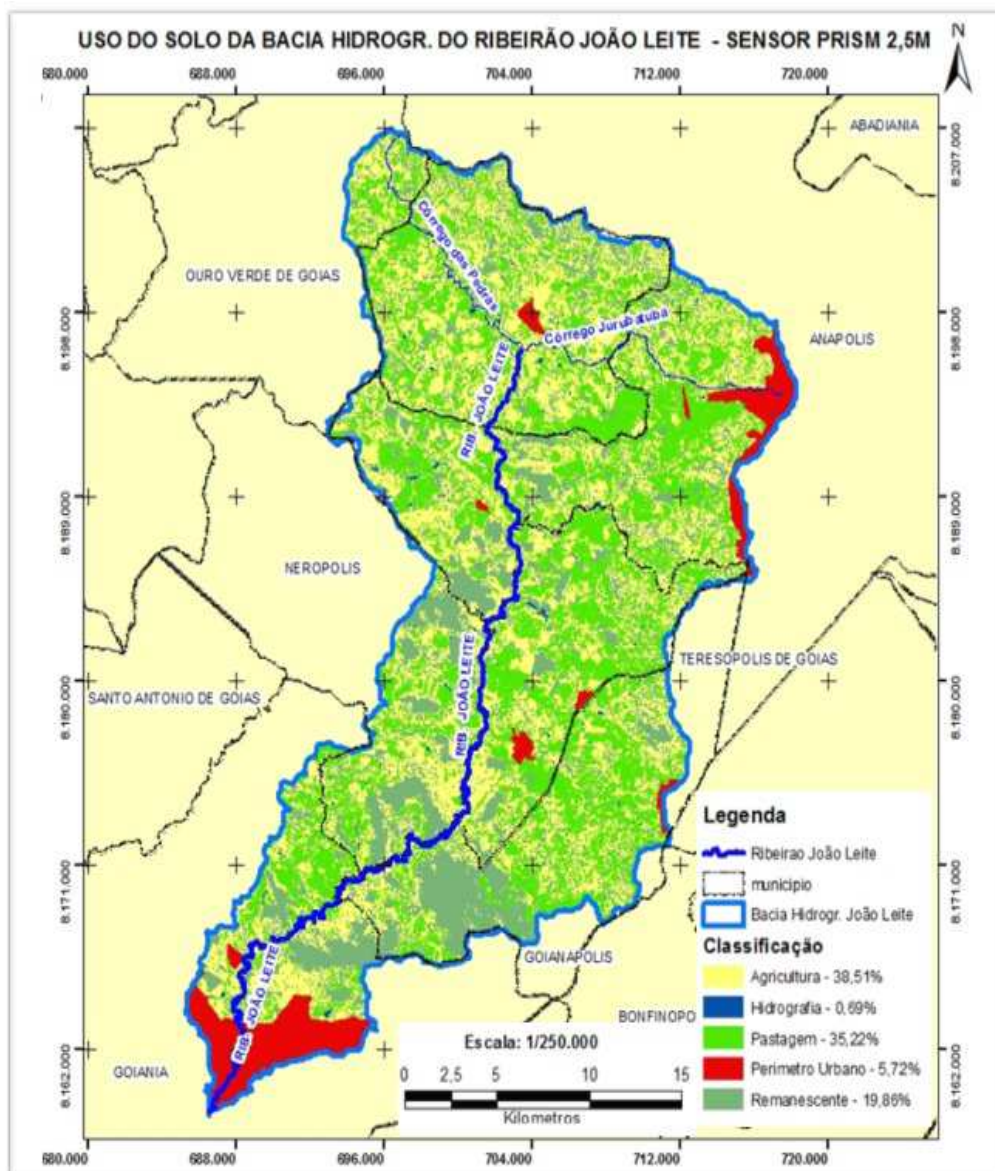
Como resultado da classificação não-supervisionada das imagens TM/Landsat-5 e PRISM/ALOS foram gerados mapas do uso e cobertura do solo contendo o percentual de ocupação dentro da bacia conforme apresentados nas Figuras 5.2 e 5.3.

FIGURA 5.2 – Mapa do uso e cobertura do solo obtido da classificação da imagem TM/Landsat-5 de 2009.



Fonte: O autor.

FIGURA 5.3 – Mapa do uso e cobertura do solo obtido da classificação da imagem PRISM/ALOS de 2009.



Fonte: O autor.

Utilizando as imagens do sensor TM do satélite Landsat-5 pôde-se notar que no ano de 2009 o uso predominante do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite era o de agricultura (34,28%) seguido de pastagem (32,98%), remanescentes de vegetação nativa (26,62%), o perímetro urbano representou 5,73% da área da bacia e a hidrografia 0,39%, conforme mostrado na Figura 5.2.

O resultado da classificação do mesmo ano utilizando imagens do sensor PRISM do satélite ALOS aponta que o uso predominante do solo na bacia continua sendo o de agricultura (38,51%) seguido novamente de pastagem (35,22%), remanescentes de vegetação

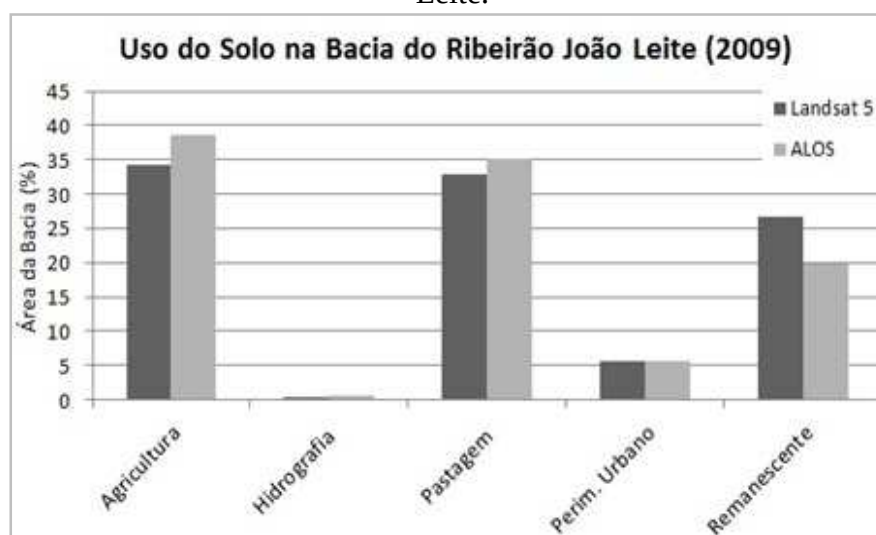
nativa (19,86%), o perímetro urbano continua representando praticamente o mesmo valor (5,72%) da área da bacia e a hidrografia 0,69%, conforme mostrado na Figura 5.3.

No geral não houve uma grande oscilação nos resultados da classificação das imagens dos dois sensores (Quadro 5.1 e Figura 5.4), exceto nas classes de agricultura e remanescentes de vegetação nativa a qual apresentaram uma variação de 4,23% e 6,76% respectivamente, variação essa que pode ser justificada pela diferença entre a resolução espacial dos dois sensores, mais especificamente do sensor TM (30 metros) que devido o tamanho do pixel de sua imagem tende a generalizar as feições nele representados.

QUADRO 5.1 - Classificação entre imagens dos sensores TM (satélite Landsat-5) e PRISM (satélite ALOS) no ano de 2009.

Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite		
Classe	Landsat 5 (%)	ALOS (%)
Agricultura	34,28	38,51
Hidrografia	0,39	0,69
Pastagem	32,98	35,22
Perim. Urbano	5,73	5,72
Remanescente	26,62	19,86

FIGURA 5.4 - Representação das áreas classificadas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.



Fonte: O autor.

Após a representação das áreas classificadas utilizando as duas imagens de satélite foi realizada aplicação do Índice Kappa para verificar a concordância entre os resultados (Quadro 5.2) e o desempenho de sua classificação (Quadro 5.3).

QUADRO 5.2 - Resultado da aplicação do Índice Kappa.

			ALOS					
			Agricult.	Hidrogr.	Pastag.	Per. Urb.	Remanes.	Total
			38,51	0,69	35,22	5,72	19,86	100
Landsat 5	Agricult.	34,28	54,02	0,89	31,34	0,36	13,32	100
	Hidrogr.	0,39	42,47	7,04	39,23	0,001	11,26	100
	Pastag.	32,98	30,72	0,54	59,2	0,12	9,33	100
	Per. Urb.	5,73	1,00	0,10	1,7	96,9	0,15	100
	Remanes.	26,62	36,04	0,67	17,54	0,10	46,02	100
	Total	100	164	9,00	149	97	80	500
					k=	0,5274		

QUADRO 5.3 - Índice Kappa e o correspondente conceito do desempenho da classificação.

Índice Kappa	Desempenho da Classificação
< 0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Mau
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Rennó (2010).

Realizando uma análise individual para cada classe, pode-se notar que o perímetro urbano obteve o maior índice de concordância seguido da pastagem e da agricultura, já a classe dos remanescentes de vegetação nativa por se confundir com os demais tipos de vegetação (devido a semelhança da assinatura espectral) obteve um baixo índice de concordância, principalmente pela confusão espectral entre a agricultura e pastagem conforme é mostrado no Quadro 5.2, ressaltando que a confusão espectral entre classes se dá dentro da própria imagem e não entre imagens diferentes.

Outra consideração a ser feita é sobre o baixo índice de concordância da hidrografia, que pode ser associada a diferença de resolução espacial entre as duas imagens, já que no caso do TM/Landsat-5 a generalização das feições representadas em um pixel de 30 metros associada a dimensão de alguns corpos d'água (como pequenas represas e trechos de drenagens mais estreitos) podem influenciar no resultado final de sua representação na bacia.

5.3.2 - Resultados gerados pelo modelo SWAT

Os resultados obtidos pela aplicação do modelo SWAT, demonstrados a seguir, são referentes à produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite e nas subunidades de estudo. Também são apresentados simulações da estimativa de produção de sedimentos comparando os resultados obtidos por meio da utilização do uso e cobertura do solo baseada em imagens de diferentes resoluções espaciais.

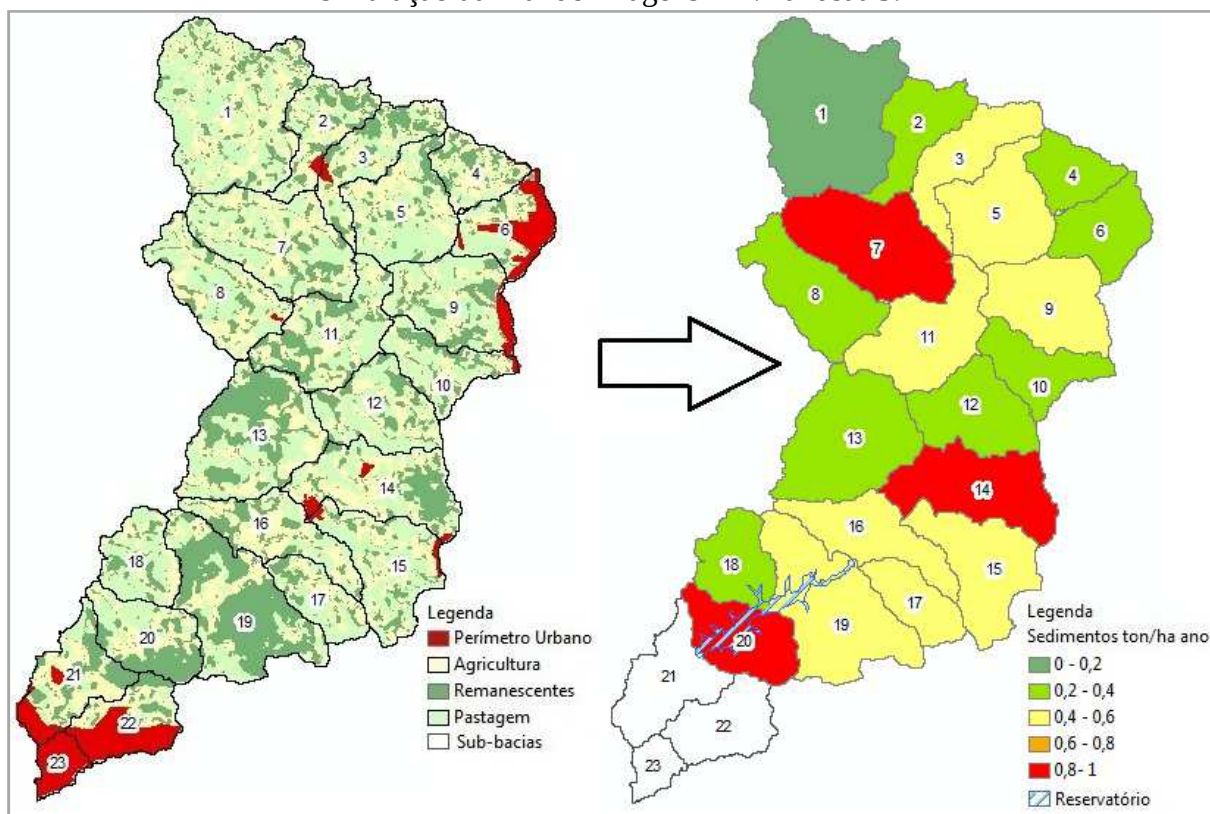
É importante considerar que as subdivisões da bacia, aplicação do modelo e ajustes do mesmo seguiram o mesmo método já apresentado no capítulo IV.

5.3.2.1 – Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos na bacia utilizando imagens TM/Landsat-5 e PRISM/ALOS

5.3.2.1.1 – Simulação utilizando imagens TM/Landsat-5

Para simulação utilizando imagens TM/Landsat-5 foram consideradas 353 HRU's cujo resultado considerando as condições do uso e cobertura do solo (perímetro urbano, agricultura, remanescentes de vegetação nativa e pastagem) referente ao ano de 2009 demonstrou que as sub-bacias 7 e 14 respectivamente localizadas nas regiões norte e central assim como a sub-bacia 20 localizada na região sul da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite apresentaram uma maior índice de produção de sedimentos conforme é apresentando na Figura 5.5.

FIGURA 5.5 – Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos para a simulação utilizando imagens TM/Landsat-5.



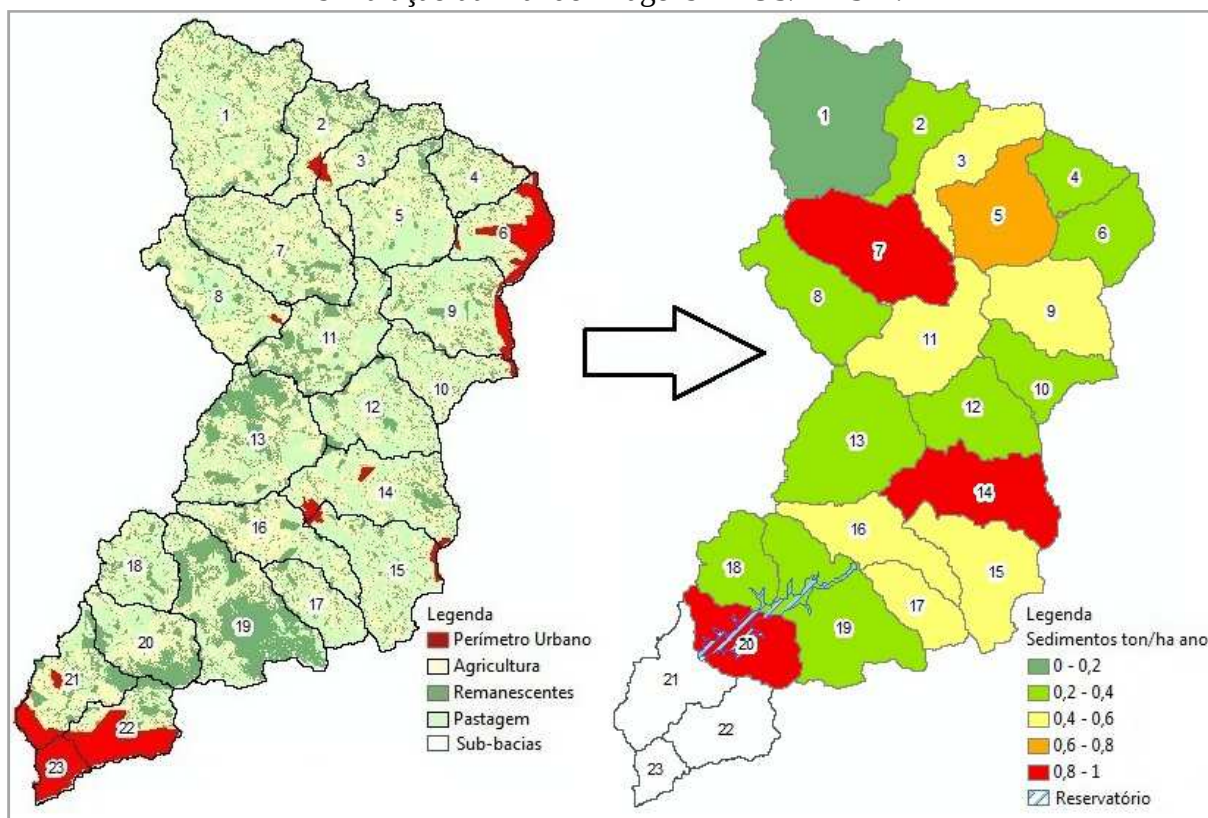
Fonte: O autor.

O resultado mínimo da estimativa de produção de sedimentos foi encontrado na sub-bacia 1 cujo valor para o ano de 2012 foi de 0,17 ton/ha e o valor máximo foi de 0,96 ton/ha para o sub-bacia 7. Nessa simulação a média de produção de sedimentos para toda a bacia foi de 0,47 ton/ha.

5.3.2.1.2 – Simulação – PRISM/ALOS

Na segunda simulação foi utilizada imagens PRISM/ALOS onde foram geradas 386 HRU's na qual adotou-se o uso e cobertura do solo (perímetro urbano, agricultura, remanescentes de vegetação e pastagem) referente ao ano de 2009, demonstrando que assim como na simulação anterior (imagens TM/Landsat-5) as sub-bacias 7 e 14 respectivamente localizadas nas regiões norte e central assim como a sub-bacia 20 localizada na região sul da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite apresentaram um maior valor da produção de sedimentos conforme é apresentando na Figura 5.6.

FIGURA 5.6 – Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos para a simulação utilizando imagens ALOS/PRISM.



Fonte: O autor.

O resultado mínimo da estimativa de produção de sedimentos foi encontrado na sub-bacia 1 cujo valor para o ano de 2012 foi de 0,17 ton/ha e o valor máximo foi de 0,92 ton/ha para o sub-bacia 14. Nessa simulação a média de produção de sedimentos para toda a bacia foi de 0,46 ton/ha.

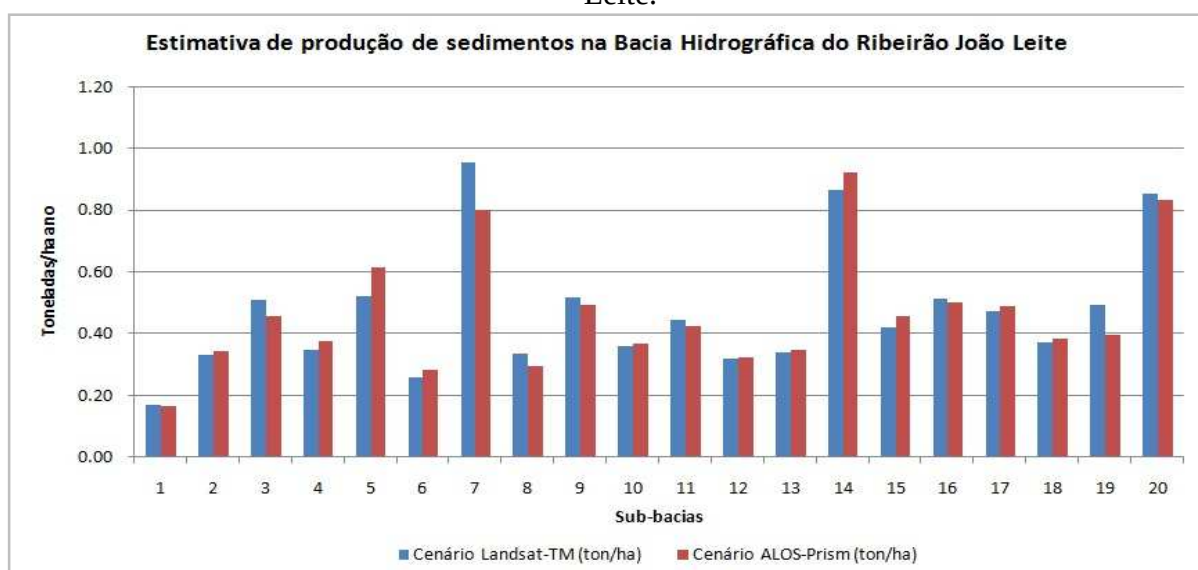
5.3.2.1.3 – Comparativo da estimativa de produção de sedimentos entre as simulações

A estimativa de produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite utilizando imagens de diferentes resoluções espaciais como dado de entrada na modelagem apresentou uma pequena variação no resultado das simulações conforme apresentado no Quadro 5.4 e nas Figuras 5.7 e 5.8.

QUADRO 5.4 – Estimativa da produção de sedimentos para as simulações.

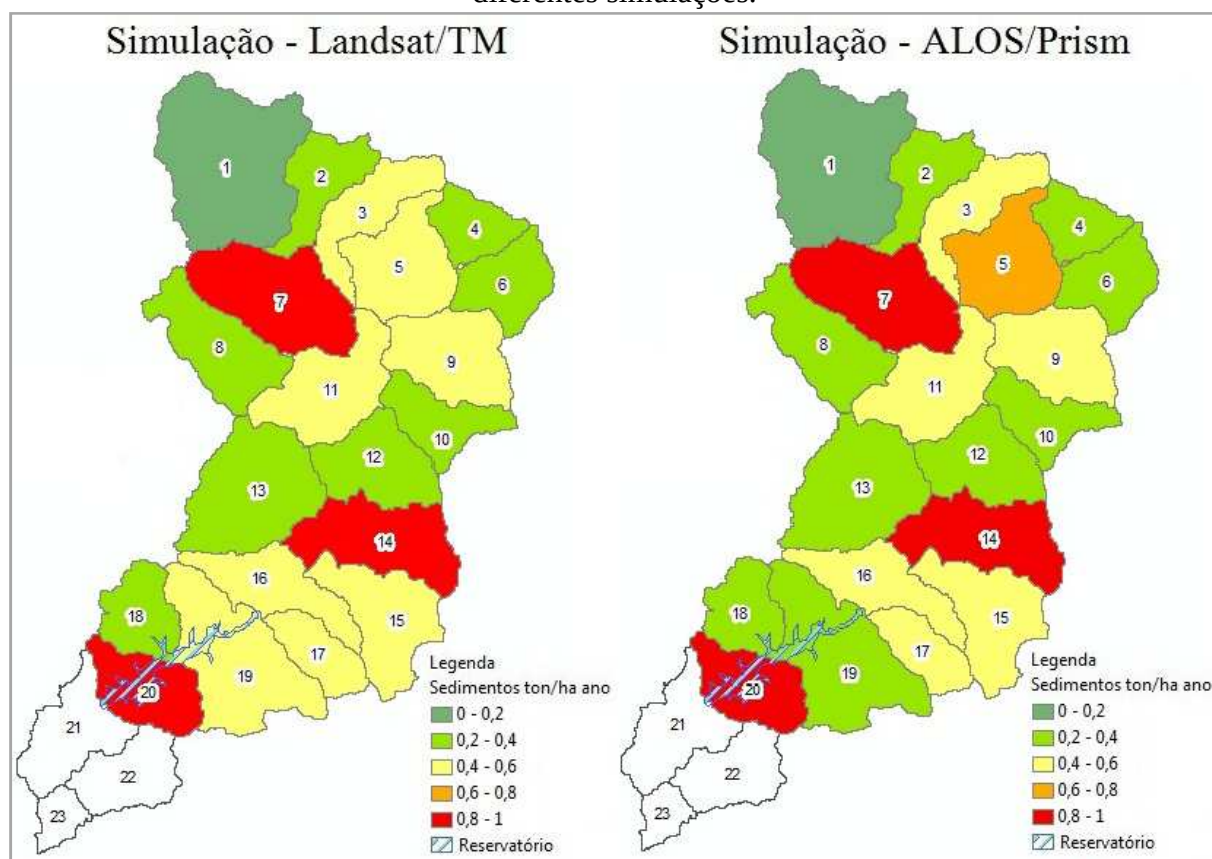
Sub-bacia	Cenário Uso do Solo - Landsat/TM (ton/ha)	Cenário Uso do Solo - ALOS/Prism (ton/ha)
1	0,17	0,17
2	0,33	0,35
3	0,51	0,46
4	0,35	0,38
5	0,52	0,61
6	0,26	0,28
7	0,96	0,80
8	0,34	0,30
9	0,52	0,49
10	0,36	0,37
11	0,45	0,43
12	0,32	0,33
13	0,34	0,35
14	0,87	0,92
15	0,42	0,46
16	0,51	0,50
17	0,47	0,49
18	0,37	0,38
19	0,50	0,40
20	0,85	0,84
média	0,47	0,46
mínimo	0,17	0,17
máximo	0,96	0,92

FIGURA 5.7 – Estimativa de produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.



Fonte: O autor.

FIGURA 5.8 - Distribuição espacial da estimativa de produção de sedimentos na bacia para as diferentes simulações.



Fonte: O autor.

Comparando a estimativa produção de sedimentos entre as duas simulações nota-se que a mesma ocorre de maneira proporcional de forma que praticamente as mesmas sub-bacias apresentaram os maiores valores. Analisando a produção média desses sedimentos (0,47 ton/ha para a simulação TM/ Landsat e 0,46 ton/ha para a simulação ALOS/PRISM) percebe-se que a resposta do modelo quanto a utilização de resoluções espaciais diferentes para a determinação do uso e cobertura do solo não apresenta uma grande variação.

Considerando o reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite como objeto de análise da estimativa de produção e aporte de sedimentos, foram consideradas as sub-bacias a montante do mesmo como áreas de contribuição direta para o mesmo, conforme apresentado no Quadro 5.5.

QUADRO 5.5 - Estimativa da produção anual de sedimentos das áreas de contribuição para o reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite.

Sub-bacia	Simulação Landsat-TM (ton)	Simulação ALOS-PRISM (ton)
1	1.283	1.254
2	784	816
3	1.382	1.246
4	627	675
5	1.939	2.272
6	630	692
7	4.642	3.897
8	1.206	1.060
9	1.895	1.802
10	804	827
11	1.738	1.658
12	1.010	1.030
13	1.756	1.798
14	3.467	3.698
15	1.529	1.659
16	1.525	1.484
17	860	894
18	831	851
19	2.760	2.203
20	2.335	2.282
Σ	33.002	32.098

Conforme apresentado no Quadro 5.5 a estimativa da produção anual de sedimentos das áreas de contribuição para o reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite demonstrou que o mesmo recebe diretamente 33.002 e 32.098 toneladas de sedimentos ao ano respectivamente, para as simulações Landsat-TM e ALOS-PRISM.

5.4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os produtos gerados pela classificação não-supervisionada utilizando o classificador *K-means* se mostraram úteis, entretanto houveram algumas dificuldades na distinção de certas feições presentes em ambas as imagens devido a relativa baixa qualidade espectral das mesmas, e pela vegetação apresentar características espectrais similares aos da agricultura. Com isso, a utilização da banda do infravermelho próximo do sensor TM

influenciou no resultado final da classificação, pois a resposta espectral da mesma evidencia melhor a vegetação do que as bandas da região do visível. Já a imagem do sensor PRISM possibilitou uma análise com uma melhor resolução espacial, da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

O bom grau de concordância apresentado na comparação entre os resultados de ambas as imagens demonstra que as imagens produzidas pelo sensor TM apesar de não disponibilizar imagens de alta resolução, podem ser utilizadas de forma eficaz em diversas aplicações. Se tratando de sua utilização como dado de entrada em modelos hidrossedimentológicos de bacias hidrográficas como o SWAT percebe-se que sua resolução espacial se comparada com o sensor PRISM não apresentou uma grande variação na resposta final do modelo quanto a estimativa da produção de sedimentos na bacia.

Como produto da classificação de ambas as imagens, o uso e cobertura do solo é um importante dado de entrada para o modelo SWAT, e quanto maior o seu nível de detalhamento melhor será a resposta final do modelo quanto a estimativa de produção de sedimentos, detalhamento esse que está mais associado a distinção das classes em si do que a resolução espacial do mesmo. Ainda sobre a resolução espacial, alguns pontos a serem considerados na comparação entre esses sensores é o custo da aquisição de suas imagens e a disponibilidade de acervo das mesmas. O sensor PRISM do satélite ALOS com resolução espacial de 2,5 metros, apesar de mais recente (lançado em janeiro de 2006) teve suas atividades encerradas em abril de 2011, o que garante um acervo de imagens de pouco mais de 5 anos, acervo esse que não é disponibilizado gratuitamente. Já o sensor TM, do satélite Landsat-5 com resolução espacial de 30 metros também encerrou suas atividades no mesmo ano, porém disponibiliza de forma gratuita suas imagens desde seu lançamento em março de 1984, o que possibilita um grande histórico de imagens para análise, possibilitando assim análises multi-temporais.

O modelo SWAT exige também outras variáveis tão importantes quanto o uso e cobertura do solo e que são escassas na área de estudo, como dados referentes aos solos, os quais foram utilizados com base na literatura científica para a bacia estudada. Portanto, a utilização de imagens de alta resolução em modelagens hidrossedimentológicas pode não ser um fator determinante na qualidade da resposta final do modelo, pois além de um custo de aquisição oneroso, a sua utilização como dado de entrada pode não representar uma variação significativa nas simulações.

Se tratando da análise do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, a mesma apresentou em 2009 uma média (comparação entre a

classificação das duas imagens) de 23,3% na redução da vegetação remanescentes da área total da bacia, o que merece atenção dos órgãos de fiscalização, pois uma possível redução desse percentual pode representar conflitos entre o uso e cobertura do solo e a preservação ambiental da mesma.

Fica evidente que a representação do uso e cobertura do solo na bacia para o ano de 2009 nos permite um diagnóstico do local, mas se faz necessário ainda um monitoramento contínuo do mesmo por meio de análises multitemporais para demonstrar o nível de degradação da bacia ao longo do tempo e também subsidiar medidas mitigadoras, no intuito da preservação das áreas que sofrem com o processo de degradação pelo uso intensivo e indiscriminado do solo e também servem para apoiar as mais diversas iniciativas de pesquisa, planejamento territorial, desenvolvimento econômico e preservação ambiental dentro da bacia.

CAPÍTULO VI: OBSERVAÇÕES FINAIS

6.1 - PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES SOBRE O TEMA ABORDADO

A utilização do geoprocessamento aplicado em análises ambientais em bacias hidrográficas pode ser considerada uma ferramenta de grande potencial, principalmente aliadas ao uso de imagens de sensoriamento remoto e softwares de SIG o que possibilita a geração de diversos produtos como foi o caso da análise multitemporal da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite a qual demonstrou que no período analisado o uso e cobertura do solo apresentou uma oscilação entre as classes de agricultura e pastagem, classes essas predominantes na bacia e que consequentemente tomam o lugar de grande parte de sua vegetação nativa. Essa análise também demonstrou que dentre os municípios que compõe a bacia o que mais suprimiu a vegetação nativa foi Anápolis.

Já a simulação utilizando o modelo SWAT junto a interface ArcSWAT aplicado a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, foi considerada uma primeira aproximação para a estimativa da produção de sedimentos, porém, dado o enfoque do trabalho, a aplicação desse modelo foi considerada satisfatória gerando informações importantes para a área de estudo. O modelo gerou dados simulados que acompanharam os dados observados de vazão onde as simulações calibradas e validadas apresentaram valores aceitáveis, porém verifica-se que o presente trabalho careceu de certas informações como possuir série de dados observados de sedimentos para calibração e validação de sua estimativa na bacia.

A definição de cenários com diferentes paisagens na bacia mostraram a dinâmica do transporte de sedimentos em diferentes proporções e em suas diferentes subunidades juntamente com o seu aporte no reservatório de abastecimento.

Ainda sobre o modelo SWAT, a utilização de imagens de satélite de diferentes resoluções espaciais para determinação do uso e cobertura do solo como dado de entrada no modelo não apresentou uma grande variação na resposta final da simulação de estimativa de produção de sedimentos na bacia e que o detalhamento de outros dados de entrada podem surtir uma melhor resposta na modelagem.

De maneira geral, essa pesquisa visou contribuir para um diagnóstico ambiental com ênfase na manutenção da qualidade e da disponibilidade de água, bem como da vida útil do reservatório de abastecimento assim como toda a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. É crucial, para as autoridades, a quem compete a questão, que se conscientizem sobre a importância da preservação ambiental dessa bacia hidrográfica, definindo o justo ponto de

equilíbrio entre a ocupação humana e à preservação dos recursos naturais indispensáveis à sua sobrevivência. Pois se não ocorrer de maneira controlada a ocupação do entorno do reservatório pode proporcionar o desenvolvimento direto e indireto de diversos fatores de degradação de uma bacia hidrográfica, isto é, atrairá um grande fluxo populacional pelos interesses e necessidades de moradia, serviços, comércio, lazer, turismo e, principalmente, a expansão urbana, que, nesse local, será extremamente danosa para os cursos hídricos de abastecimento público chegando a possibilidade de desabastecimentos temporários, com sérios transtornos para as populações. E ainda a poluição, a degradação e assoreamento do reservatório pelo carreamento e transporte de sedimentos, resíduos sólidos, líquidos, orgânicos, químicos, óleos, graxas e detergentes, a pressão antrópica sobre a fauna, a flora e as Áreas de Preservação Permanentes, assim com a floração de algas e, dentre elas, as espécies tóxicas, que, proporcionalmente à ocupação, terão como consequência a redução da vida útil, complicações e o aumento de custos para a operação do reservatório, podendo-se chegar à perda de controle sanitário do mesmo.

6.2 - QUESTÕES DE PESQUISA REVISITADAS

Até que ponto o uso de ferramentas de geoprocessamento podem auxiliar na avaliação da paisagem da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite?

Com o avanço das geotecnologias o potencial de monitoramento e avaliação ambiental de bacias hidrográficas ganhou uma importante ferramenta. E considerando o uso e cobertura do solo como um dos principais elementos que constituem a paisagem, a utilização de sensores remotos associados ao uso de ferramentas de SIG possibilitam um monitoramento contínuo dessas bacias. No caso da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite o processamento de dados multitemporais e descritivos que constituíram o banco de dados necessário para modelagem da mesma demonstra que o geoprocessamento possibilita avaliar a paisagem de maneira eficiente, mas que o levantamento detalhado de dados coletados “*in loco*” é crucial na qualidade do produto final gerado.

Qual(is) município(s) que compõe(m) a bacia está(ão) contribuindo para o aceleração de sua antropização? E quais são essas atividades?

De maneira geral todos os municípios que compõem a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite contribuem direta ou indiretamente em seu processo de antropização. Porém esse estudo demonstrou que dentre esses municípios, Anápolis foi o que mais apresentou supressão de remanescentes de vegetação nativa (11,1%) dentre o período estudado. Nesse mesmo período houve uma grande variação no uso e cobertura do solo nas classes de pastagem e agricultura nesses municípios o que pode estar associado à variação do perfil econômico dos mesmos. De toda forma essas atividades são prejudiciais à bacia e ao reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite devido o potencial aumento do transporte de sedimentos para essas áreas.

Qual é a influência da atual paisagem da bacia na produção de sedimentos para o reservatório de abastecimento? Essa estimativa pode ser considerada confiável? O modelo SWAT representa bem esse processo na bacia?

A atual paisagem da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite apresenta um uso e cobertura do solo oscilando entre as classes de pastagem e agricultura como usos predominantes, ambos contribuem no aumento da estimativa de produção de sedimentos na bacia. Devido a inexistência de uma estação hidrossedimentológica na área de estudo a calibração e validação dessa estimativa no reservatório de abastecimento não pôde ser realizada. Nesse caso, por essa estimativa não ser validada, a mesma pode não representar a realidade da produção de sedimentos no local. Quanto a representação desse processo, o modelo SWAT se mostra com um grande potencial, porém um monitoramento de dados de sedimentos poderia melhorar a resposta final do modelo.

Qual seria a configuração espacial ideal ou menos impactante para preservação da bacia?

Do ponto de vista da preservação da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, pode-se afirmar que o “cenário ideal” para seu uso e cobertura do solo seria o de vegetação nativa, porém considerando a atual ocupação humana e a conseqüente antropização trazida pela mesma, o cenário considerando a APP com 200 metros seria algo aplicável e que

reduziria consideravelmente a produção de sedimento na bacia quanto no reservatório de abastecimento.

A utilização de imagens obtidas pelos sensores TM/Landsat-5 e PRISM/ALOS como dados de entrada no modelo SWAT apresentam uma diferença significativa na resposta final do modelo quanto a estimativa da produção de sedimentos na bacia?

A simulação da estimativa de produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite utilizando imagens de diferentes resoluções espaciais não apresentou uma variação significativa em seu resultado final, devido o detalhamento do dado de entrada referente ao uso e cobertura do solo utilizado não apresentar uma maior discretização (como culturas existentes no local) o que poderia representar melhor o mesmo e consequentemente representar melhor essa estimativa. Deve-se considerar ainda que a carência de outras variáveis como a discretização dos solos da área de estudo dentre outros dados pode ter uma maior influência na representação da modelagem da bacia.

6.3 - OPORTUNIDADES PARA NOVOS ESTUDOS

Evidentemente que aqui não se esgota o tema abordado e que novos estudos devem ser realizados para atestar tais possibilidades aqui levantadas. Por isso com base no presente trabalho sugere-se alguns estudos que podem ser desenvolvidos a fim de contribuir, com melhor compreensão e segurança, aos processos hidrossedimentológicos da área de estudo:

- Realizar um estudo comparando a influência de diferentes níveis de discretização da bacia (determinação de sub-bacias) no resultado final da simulação de estimativa de transporte de sedimentos.
- Implantar uma rede de monitoramento de vazão e sedimentos em diversos pontos da bacia possibilitando a calibração das simulações por sub-bacias.
- Aplicar o modelo SWAT para bacias com reservatórios superficiais que possuam dados observados da entrada e saída, tanto de vazão líquida quanto de sedimentos, de modo a averiguar a confiabilidade do modelo.
- Realizar uma classificação supervisionada pra melhor determinação do uso e cobertura do solo da bacia.

- Aplicar a simulação em diferentes cenários (além dos já propostos) para entender melhor a dinâmica da estimativa produção de sedimentos na bacia.
- Levantar/produzir dados de forma mais detalhada para alimentar o modelo SWAT para melhorar a resposta final do modelo como o levantamento dos parâmetros de solos requeridos na modelagem.
- Melhorar a escala dos dados espaciais como os solos e o Modelo Digital de Elevação, o que permitirá o refinamento dos resultados gerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, A. A. **Avaliação do potencial de risco de contaminação das águas superficiais da microbacia do Rio João Leite por agrotóxicos**. 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO (Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.
- ARNOLD, J. G.; FOHRER, N. **SWAT 2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling**. Hydrological Processes, v.19, p.563-572, 2005.
- ARNOLD, J. G.; MUTTIAH, R. S.; SRINIVASAN, R. & ALLEN, P. M. **Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin**. Journal of Hydrology, v.227, n.1-4, p. 21-40, 2000.
- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R. A. **Continuous catchment scale erosion model**. In: BOARDMAN, J.; FAVIS-MORTLOCK, D. (Ed.). Modeling soil erosion by water. Oxford. Publisher Springer. p. 413-428, 1995.
- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. **Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development**. Journal of the American Water Resources Association, v.34, p.73-89, 1998.
- ARABI, M., GOVINDARAJU, R. S.; HANTUSH, M. M. **A probabilistic approach for analysis of uncertainty in evaluation of watershed management practices**. Journal of Hydrology, 333: 459-471, 2007.
- ARTHUR, D. & VASSILVITSKII, S. **How slow is the k-means method?** In: Proceedings of the twenty-second annual symposium on Computational geometry, SCG '06, New York, NY, USA. ACM. p. 144–153, 2006.
- ASSAD, E. D. **Dados meteorológicos básicos utilizados no projeto. impacto das variações do ciclo hidrológico no zoneamento agroclimático brasileiro, em função do aquecimento global**. Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/cthidro/dbasicos.php>>. Acesso em 18 de fevereiro de. 2011.
- ÁVILA, C. J. C. P.; ASSAD, E. D.; VERDESIO, J. J.; EID, N. J. S.; FREITAS, M. A. V. **Geoprocessamento da Informação Hidrológica. O estado das águas no Brasil**, ANEEL/SRH/OMM, Brasília, v.1, p.187-196, 1999.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 9 ed. 332 p. 2003.
- BALDISSERA, G. C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. Dissertação

(Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, 144 p. 2005.

BALTOKOSKY, V. **Modelo SWAT 2005 aplicado às sub-bacias dos Rios Conrado e Pinheiros – Pato Branco / PR**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 138p. 2008.

BERTONI, J. & LOMBARDINETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 355p. 1990.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global**. Curitiba, n. 8, p. 141-152, Editora UFPR. 2004.

BLAINSKI, E.; ARAÚJO, I. S.; GOMES, P. **Modelagem e simulação do uso do solo e as alterações no ambiente**. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Uberlândia-MG, 2010.

BOCCO, G.; VELÁSQUEZ, A.; TORRES, A. **Ciência, comunidades indígenas y manejo de recursos naturales. Um caso de investigación participativa em México**. Interciencia, v. 25, n. 2, p. 64-70, 2000.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. **Elementos de engenharia de sedimentos**. In: TUCCI, C. E. M. (Org). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: EDUSP. P. p.915-943, 1993.

CÂMARA, G. **Princípios básicos em geoprocessamento**. INPE, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <http://www.academia.edu/510125/Principios_basicos_em_geoprocessamento> Acesso em 27 de junho de 2011.

CÂMARA, G. & DAVIS, C. **Introdução: Porque Geoprocessamento?** INPE, São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.13.48/doc/cap1-introducao.pdf>>. Acesso em 27 de junho de 2011

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. **Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos – SC**. Revista Brasileira Ci. Solo, 22:131-140, 1998

CARVALHO NETO, J. G. **Simulação hidrossedimentalógica da Bacia do Riacho dos Namorados com o modelo SWAT**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2011.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 372 p. 1994.

CIBIN, R.; SUDHEER, K. P.; CHAUBEY, I. **Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of the SWAT model**. Hydrological Process, vol 24, pp 1133-1148, 2010.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. **Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em Sistemas de Informações Geográficas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.7, n. 3, p. 43-51. 2002.

CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology**: a compendium of water-resources technology. New York: MacGraw-Hill Book Co., 1v. 1964.

Código Florestal Brasileiro - **Lei 4.771/1965**, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=311>> Acesso em 12 de março 2012.

COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia** In: GUERRA A. J. T.; CUNHA S. B (orgs): **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

CUNHA, S. B. **Geomorfologia Fluvial**. In: GUERRA A. J. T.; CUNHA S. B (orgs): **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

ENGESAT 2011. **Principais Especificações Técnicas do Satélite ALOS**. Disponível em: http://www.engesat.com.br/index.php?system=news&news_id=765&action=read>. Acesso em 06 de março de 2011.

FARIAS, T .R. L. **Produção de sedimentos em bacias hidrográficas sob diferentes contextos geoambientais: medida e modelagem**. Dissertação (mestrado em recursos hídricos) –Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza, 110p. 2008.

FERNANDES, S. C. **Avaliação de imagens de satélite de alta e muito alta resolução espacial para a discriminação de classe de uso e cobertura do solo : aplicação ao caso da sub-bacia do Córrego Capão Comprido Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 106p. 2005.

FERREIRA, N. C. **Apostila de Sistema de Informações Geográficas**. CEFET-GO, 2006. Disponível em: <http://www.geolab.faed.udesc.br/sites_disciplinas/geoprocessamento_aplicado_ao_planejamento/docs/apostila_sig%5B1%5D.pdf >. Acesso em 27 de maio de 2011.

FERRIGO, S. **Utilização do modelo SWAT na estimativa de sedimentos na bacia do Córrego Capão Comprido no Distrito Federal**. Trabalho de conclusão de curso de graduação em agronomia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 90p. 2011.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FUSHITA, A. T. **Análise da fragmentação de áreas de vegetação natural e semi-natural do município de Santa Cruz da Conceição, São Paulo, Brasil**. 2006. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

GASSMAN, P. W.; Reyes, M. R.; Green, C. H.; Arnold, J. G. **The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Vol. 50(4): 1211-1250, 2007.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 372p. 2004.

GUERRA, A. T. & GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário geológico - geomorfológico**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 1997.

GUIMARÃES, M.; DORADO, A.J.; COUTINHO, A.C. **Utilização de Dados TM-Landsat para o Mapeamento e Monitoramento da Cobertura Vegetal**. GIS BRASIL, 2000, Salvador. Anais. CD-ROM Salvador'

HACKEL, H. **Meteorologie**. 4. Aufl. Stuttgart: Ulmer, 1999.

HARDT, L. P. A.; HARDT, C. **Avaliação da qualidade da paisagem como fundamento à gestão urbana e regional: estudo de caso em Piraquara, Paraná, Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Sensoriamento Remoto, p.5301-5307, 2007.

IBAMA, **Instrumentos de Planejamento e Gestão Ambiental para a Amazônia, Cerrado e Pantanal Demandas e Propostas - Metodologia de avaliação de impacto ambiental**, 2001. Disponível em:<<http://pt.scribd.com/doc/52072627/5/Conceito-de-Qualidade-Ambiental>>. Acesso em 25 de maio de 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia/IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais** – 2ed. Rio de Janeiro: IBGE, 323p. 2007. Disponível em:<ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_pedologia.pdf>Acesso em 10 de agosto de 2012

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Goiias.pdf> Acesso em 15 de junho de 2011.

IM, S.; BRANNAN, K.; MOSTAGHIMI, S.; CHO, J. **A comparison of SWAT and HSPF models for simulating hydrologic and water quality responses from an urbanizing watershed**. ASAE Paper No. 032175, 2003. Disponível em: <<http://SWAT.tamu.edu/média/1303/asae032175.pdf>>Acesso em 16 de junho de 2012.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.**Projeto TOPODATA**. 2011. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/topodata/data/TD_site.doc> Acesso em 12 de maio de 2012.

KELLER, E. A. **Environmental Geology**. 7. Ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall. 1996.

KING, K. W.; ARNOLD J. G.; WILLIAMS, J. R.; SCRINIVASAN R. **Soil and Water Assessment Tool – SWAT**. Texas: USDA, Agricultural Research Service, 450p. 1996.

KRAMER, L. A.; MEYER, L. D. **Small ammounts of surface mulch reduce soil erosion and runoff velocity**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 12, p. 638-641. 1969.

LABGIS - **Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia**. Universidade do Estado de Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.fgel.uerj.br/labgis/>> Acesso em 10 de junho de 2011.

LACROIX, M. P.; LAWRENCE W. M.; GEOFF W. K.; JURGEN G. **Using digital terrain analysis modeling techniques for the parameterization of hydrologic model**. Environmental Modelling and Software. V.17, pp 127–136. 2002.

LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas : Instituto Agrônômico, 12p. 1975.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR R.; GALETI P.A.; BERTOLINI D.; LEPSCH I.F.; OLIVEIRA J.B. **Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços**. In: Simpósio sobre terraceamento agrícola, 1989, Campinas, *Anais...* Campinas: Fundação Cargil, p.99-124. 1989.

LOPES, N. H. Y. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais utilizando o modelo SWAT**. Dissertação (mestrado).Universidade Federal de Santa Catarina, 164p. 2008.

LOPES, W. T. A. **Efeitos de Escala na Modelagem Hidrossedimentológica na Região Semi-Árida Paraibana**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. 174p, 2003.

LUBITZ, E. **Avaliação da aplicação do modelo hidrológico SWAT à Bacia do Ribeirão Concórdia – Lontras, SC**. Dissertação (mestrado). Universidade Regional de Blumenau, 125p. 2009.

MACHADO, C. A. S. & QUINTANILHA, J. A. **Módulo de Treinamento: Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Geoposicionamento: Uma Aplicação Urbana**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Brasil, 2008. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/ptr2355/PTR2355_Apostila_SR.pdf> Acesso em 10 de fevereiro de 2012.

MACHADO, R. E. **Simulação de Escoamento e de Produção de Sedimentos em uma Micro Bacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento**. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-10072002-161200/pt-br.php>> Acesso em 05 de fevereiro de 2012.

MARCHIORO, E. **Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: Subsídios à aplicação de práticas de conservação de água e solo no noroeste fluminense**.

Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2008. 197p.

MEDEIROS, J. S. & CÂMARA G. **Introdução a Ciência da Geoinformação**. INPE, 2011. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoesambientais.pdf>> Acesso em 08 de abril de 2011.

MELO, H. A. **Integração entre modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: uma avaliação metodológica**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, 119p. 2010.

MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. **A review of erosion and sediment transport models**. Environmental Modelling & Software, Oxford, v. 18, p. 761-799. 2003.

MISHRA, S. K. ; TYAGI, J. V.; SINGH, V. P.; SINGH, R. **SCS-CN-based modeling of sediment yield**. Journal of Hydrology, v.324, p.301-322, 2006.

MONTINA, N. B. **Transformações e dinamismo da paisagem na bacia hidrográfica do ribeirão São Francisco – noroeste do Paraná**. Universidade Estadual Paulista. 2007. Disponível em: <<http://docs.fct.unesp.br/semanas/geografia/geografiaruraleagraria/TCGRA03%20-%20Neiriele%20Bruschi%20Montina.pdf>> Acesso em 20 de julho de 2012.

MORAES, M. E. B.; GOMES, R. L.; THÉVENIN, J.M.R. ; SILVA, G. S.; VIANA, W. R. C. **Análise da paisagem da bacia hidrográfica do Rio Almada (BA) com base na fragmentação da vegetação**. Caminhos de Geografia Uberlândia v. 13, n. 41 p. 159 – 169. 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16490/9207>> Acesso em 15 de agosto de 2012.

MORO, M. **A utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2005.

MOSCHINI, L. E. **Diagnósticos e Riscos Ambientais Relacionados à Fragmentação de Áreas Naturais e Semi-naturais da Paisagem. Estudo de Caso: Município de Araraquara**, SP. UFSCar, 2005. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <<http://www.lapa.ufscar.br/bdgaam/geoprocessamento/Moschini%202.pdf>>. Acesso em 23 de maio de 2011.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)**. Disponível em: <<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>> Acesso em 18 de maio de 2012.

NASCIMENTO, M. A. L. S. **Bacia do Rio João Leite: influência das condições ambientais naturais e antrópicas na perda de terra por erosão laminar**. 1998, 176 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 1998.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. **Soil and water assessment tool – Input/Output file documentation version 2004**. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 541p. 2004.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. **Soil and water assessment tool - Theoretical documentation version 2005**. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 541p. 2005.

NISHI, E.; TEGERINA-GARRO, F. L.; MAIA, T. C. B. **Caracterização da cobertura vegetal remanescente e implicações na conservação da biota na bacia do Ribeirão João Leite, Goiás, Região Centro-oeste**. Revista Brasileira de Cartografia Nº 62/04 pp. 649-660, 2010.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2. Ed. São José dos Campos: Edgard Blucher, 1992.

NRCS Soil Survey Staff, (**Soil Survey Manual -Complete Print Friendly Version - NRCS Soils**) 2008. Disponível em:<<http://munsellstore.com/files/CIPA00009%5C903.pdf>> Acesso em 12 de maio de 2012.

OLIVERA, F.; VALENZUELA, M.; SRINIVASAN, R.; CHOI, J.; CHO, H., KOKA, S., AGRAWAL, A. **ArcGIS-SWAT: A Geodata Model and GIS interface for SWAT**. Journal of the American Water Resources Association. Vol. 42, nº2, pp 295-309. 2006.

PAPALEO, A., MARTINS JUNIOR, O. P.; **Goiânia terceiro milênio: modelagem e estudo de viabilidade com vistas à estruturação de empreendimento em Goiânia**. Diagnostico final. jul, 2008.

PETERSON, J. R.; HAMLET, J. M. **Hydrologic Calibration of the SWAT Model in a Watershed Containing Fragipan Soils**. Journal of the American Water Resources Association. Vol. 34, no.3, pp 531 – 544. 1998.

PIACHILIANI, M. **Data Mining na Prática: Algoritmo K-Means**. 2011, Disponível em:<<http://www.devmédia.com.br/data-mining-na-pratica-algoritmo-k-means/4584>> Acesso em 12 de maio de 2012.

PISSARRA, T. C. T. **Avaliação quantitativa das características geomórficas de microbacias hidrográficas de 1ª ordem de magnitude em quatro posições do sistema de drenagem**. 1998. 124 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

PONTES, S. H. N.; FERNANDES, I. V. 2002. **Atualização do método das isozonas para a região Amazônica**. In: Encontro de iniciação científica e pós-graduação do ITA, 8 p., 2002, São José dos Campos. **Anais**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

PRADO, T. B. G. **Evolução do uso das terras e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jundiaí-Mirim**. Dissertação (mestrado). Instituto Agrônomo de Campinas. 72p. 2005. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/dissertacoes/pb1803803.pdf>> Acesso em 20 de julho de 2011.

RABELO, C. G. **Mapeamento de áreas vulneráveis para a qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (GO) utilizando técnicas de geoprocessamento.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, 2009.

RENNÓ, C. D. **Estatística: Aplicação ao Sensoriamento Remoto.** INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2010.

RESENDE, I. L. M.; ARAUJO, G. M.; OLIVEIRA, A. P. A.; OLIVEIRA, A. N.; AVILA JUNIOR, R. S. de. **A comunidade vegetal e as características abióticas de um campo de murundu em Uberlândia, MG.** Acta Botânica Brasilica, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 9-17, jan/mar. 2004.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S. **O desafio da delimitação de Áreas de preservação permanente.** Revista Árvore (Brazilian Journal of Forest Science), Viçosa, v. 29, n. 2, p. 203 - 212, mar./apr. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622005000200004&script=sci_arttext>. Acesso em 12 de junho de 2011.

RIBEIRO, J. F. & WALTER, B. M. T. **Tipos de vegetação do bioma Cerrado.** Agência de Informação Embrapa, 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_23_911200585232.html> Acesso em 20 de julho de 2011.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos.** EESC/USP. São Carlos, 840p. 1998.

ROMANOWICZ, A. A.; VANCLOOSTER, M.; ROUNSEVELL, M.; LA JONESSE, I. **Sensitivity of the SWAT model to the soil and land use data parametrisation: a case study in the Thyle catchment, Belgium.** Ecological Modelling, n. 27-39. 2005.

SALGUEIRO, T. B. **Paisagem e Geografia.** Finisterra, XXXVI, 72, pp. 37-53, 2001. Disponível em: <http://www.ceb.ulg.pt/finisterra/numeros/2001-72/72_04.pdf>. Acesso em 12 de junho de 2011.

SAMMONS, N. & NEITSCH, S. L. **Until interface for SWAT2000 – User guide.** SERVICE, G.U.A.R.: 14 p. 2000.

SANEAGO. **Projeto de Ampliação do Sistema Produtor de Água de Goiânia e Áreas Conurbadas – Sistema João Leite.** 2011. Disponível em: <<http://www.saneago.com.br/site/?id=programas4&tit=programas4>> Acesso em 14 de março de 2012.

SANO, E. E.; DAMBROS, L. A.; OLIVEIRA, R. S. B; BRITES, R. S. Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás. In: FERREIRA JR. L. G (Org.) **A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado** (pp. 91-106). 1. ed. Goiânia : Editora da Universidade Federal de Goiás, 240p. 2008.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. **Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.** Revista

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental . Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG. v.14, n.8, p.826–834, 2010

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E. LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. LACTEC, Curitiba-PR. 2001.

SANTOS, J. T. S. & PENA, H. W. A., **Geoprocessamento aplicado a ecologia de paisagem: uma análise da dinâmica espacial da Ilha do Papagaio – PA**, Revista OIDLES - Vol 5, Nº 11 Amazônia-Brasil. Dezembro, 2011.

SANTOS, R. O. **Avaliação da produção de sedimento na bacia hidrográfica do Rio Potengi através do modelo SWAT**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária - Natal, RN, 186p. 2010.

SEMARH, Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Relatório Final - Inventário Faunístico - Parque Altamiro de Moura Pacheco e Parque dos Ipês**. 2009. Disponível em <<http://www.semarh.goias.gov.br/PEAMP/>>. Acesso em 16 junho 2011.

SILVA, A. L. G., **Descrição dos Principais Sistemas Sensores Orbitais em Operação**. Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense. 2002. Disponível em: <http://www.professores.uff.br/cristiane/Documentos/apostilasr.doc>>Acesso em 21 de maio de 2012.

SILVA, A. M.; CAMARGO, P. B.; SCHULZ, H.E. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos-SP. 140p. 2004.

SILVA, M. T. G.; LACERDA, M. P. C.; CHAVES, A. A. A. **Geotecnologia aplicada na avaliação do uso das terras da microbacia do Ribeirão João Leite, Goiás**. Pesquisa agropecuária tropical, Goiânia, v. 39, n. 4, p. 330-337, out./dez. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pvb/v27n10/a07v2710.pdf>>. Acesso em 17 de março de 2011.

SILVA, P. M. O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G. **Modelagem da hidrografia de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, p. 258–265, 2008.

SOARES FILHO, B. S. **Análise de Paisagem: Fragmentação e Mudança**. São Paulo: Instituto de Geociências - UFMG, Departamento de Cartografia, Sensoriamento Remoto. 1998.

SRINIVASAN, R., ARNOLD, J. G. Integration of the basin-scale water quality model with GIS. **Water Resources Bulletin**, v. 30, n 03, p. 453-462, 1994.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER Jr., J.J. **Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soils materials**. J. Soil Sci., 102: 18-22, 1966

TUCCI, C .E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, RS: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFGRS: Edups, ABRH, 943p. 2001.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE: **Soil Conservation Service**. Hydrology. National engineering handbooks. Washington: USDA, 1986.

UZEIKA, T. **Aplicabilidade do Modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em pequena bacia hidrográfica rural**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 144p. 2009.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p. 1-8. 2005.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **TOPODATA: Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2009.

VASCONCELOS, S. M. S., SERAFINI A. B., MARQUES, R. G. **Ocorrência de indicadores de poluição nos mananciais de abastecimento da cidade de Goiânia, Goiás-Brasil: coliformes totais e fecais**. 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/i-055.pdf>> Acesso em 15 de junho de 2011.

VERBURG, P. H.; SOEPBOER, W.; LIMPIADA, R.; ESPALDON, M. V.O.; SHARIFA, M.; VELDKAMP, A. **Land use change modelling at the regional scale: the CLUES-S model**. Environmental Management, v. 30. N, 3, p. 391-405, 2002.

VERSTRAETEN, W. W.; VEROUSTRAETE, F.; VAN DER SANDE, C. J.; GROOTAERS, I. Y.; FEYEN J. **Soil moisture retrieval using thermal inertia, determined with visible and thermal spaceborne data, validated for European forests**. Remote Sensing of Environment, New York, v. 101p. 299–314, 2006.

VISSMAN J. R., LEWIS, G. L. **Introduction to Hydrology**. 4.ed. Nova York: HarperCollins College Publishers, 1995.

VILLELA, S. M. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, Mcgraw-Hill do Brasil, 245p. 1975.

VITTE, A. C. & GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Beltrand Brasil, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. p. 452. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WHITE, K. L.; CHAUBEY, I. **Sensitivity analysis, calibration and validation for a multisite and multivariable SWAT Model**. Journal of the American Water Resources Association. October, pp 1077–1089, 2005.

WINCHELL, M.; SRINIVASAN, R.; LUZIO, M.; ARNOLD. **ArcSWAT Interface for SWAT 2005** – User's guide. Temple: Blackland Research Center, Soil and Water Research Laboratory. 436p. 2007.

XAVIER, F. V. Contribuições metodológicas para o estudo da produção e distribuição espacial de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Mano utilizando o modelo SWAT. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Mato Grosso, 166p. 2009.

APÊNDICE - Parametrização dos dados de solos da bacia do Ribeirão João Leite.

DADO DE ENTRADA	CLASSE DE SOLO	CAMADA	VALOR	UNID	REFERÊNCIA
Número de camadas do solo NLAYERS	Cx	-	5	-	Xavier (2009)
	Gj	-	4	-	
	Lve	-	5	-	
	PVA	-	2	-	Lelis (2011)
Profundida de das Camadas SOL_Z	Cx	I	300.00	mm	Xavier (2009)
		II	600.00	mm	
		III	800.00	mm	
		IV	1100.00	mm	
		V	1170.00	mm	
	Gj	I	80.00	mm	
		II	450.00	mm	
		III	750.00	mm	
		IV	1300.00	mm	
	Lve	I	110.00	mm	
		II	290.00	mm	
		III	670.00	mm	
		IV	940.00	mm	
		V	1500.00	mm	
	PVA	I	200.00	mm	Lelis (2011)
		II	800.00	mm	
Grupo Hidrológico HYDGRP	Cx	-	C	-	Baldissera (2005) e com base no NCRS
	Gj	-	D	-	
	Lve	-	A	-	
	PVA	-	B	-	
Máxima prof. Raiz SOL_ZMX	Cx	I	1100.00	mm	Xavier (2009)
	Gj	I	1300.00	mm	
	Lve	I	940.00	mm	
	PVA	I	800.00	mm	
Porosidade ANION_EXCL	Cx	-	0.47	%	Lelis (2011)
	Gj	-	0.39	%	
	Lve	-	0.30	%	
	PVA	-	0.55	%	
Densidade SOL_BD	Cx	I	1.60	g/cm ³	Xavier (2009)
		II	1.40	g/cm ³	
		III	1.40	g/cm ³	
		IV	1.80	g/cm ³	
		V	1.40	g/cm ³	
	Gj	I	1.40	g/cm ³	
		II	1.50	g/cm ³	
		III	1.60	g/cm ³	
		IV	1.70	g/cm ³	
	Lve	III	1.70	g/cm ³	
		IV	1.40	g/cm ³	
		V	1.50	g/cm ³	
	PVA	I	1.50	g/cm ³	Lelis (2011)
		II	0.35	g/cm ³	

DADO DE ENTRADA	CLASSE DE SOLO	CAMADA	VALOR	UNID	REFERÊNCIA
Capacidade de Água disponível SOL_ACW	Cx	I	0.15	mm/mm	$AWC = 0,064 + 0,19 \cdot (\text{argila} + \text{silte})^2 - 2,7 \cdot 10^{-2} \cdot C_{arg}^2$ Utilizada relação composta por Machado (2002) e Moro (2005)
		II	0.18	mm/mm	
		III	0.18	mm/mm	
		IV	0.18	mm/mm	
		V	0.18	mm/mm	
	Gj	I	1.00	mm/mm	
		II	0.10	mm/mm	
		III	0.70	mm/mm	
		IV	0.50	mm/mm	
	Lve	I	0.00	mm/mm	
		II	0.10	mm/mm	
		III	0.00	mm/mm	
		IV	0.00	mm/mm	
		V	0.10	mm/mm	
	PVA	I	0.06	mm/mm	
		II	0.15	mm/mm	
Albedo SOL_ALB	Cx	I	0.15	-	Xavier (2009)
		II	0.15	-	
		III	0.00	-	
		IV	0.15	-	
		V	0.00	-	
	Gj	I	0.16	-	
		II	0.16	-	
		III	0.16	-	
		IV	0.16	-	
	Lve	I	0.15	-	
		II	0.15	-	
		III	0.15	-	
		IV	0.15	-	
		V	0.15	-	
	PVA	I	0.18	-	$SOL_ALB = 0.6 / \exp(0.4 \cdot SOL_CB)$
		II	0.36	-	
Fator K EUPS USLE_K	Cx	I	0.05	-	$K_{USLE} = f_{csand} \cdot f_{ci-si} \cdot f_{orgC} \cdot f_{hisand}$
		II	0.16	-	
		III	0.17	-	
		IV	0.18	-	
		V	0.18	-	
	Gj	I	0.31	-	
		II	0.30	-	
		III	0.26	-	
		IV	0.21	-	
	Lve	I	0.17	-	
		II	0.10	-	
		III	0.13	-	
		IV	0.14	-	
		V	0.13	-	
	PVA	I	0.13	-	
		II	0.15	-	

DADO DE ENTRADA	CLASSE DE SOLO	CAMADA	VALOR			UNID	REFERÊNCIA
Granulometria			Areia	Silte	Argila		Xavier (2009)
	Cx	I	20.0	40.00	40.0	%	
		II	30.3	35.70	34.0	%	
		III	33.90	37.70	28.40	%	
		IV	29.50	43.70	26.80	%	
		V	33.70	39.30	27.00	%	
	Gj	I	2.10	71.50	26.40	%	
		II	5.90	56.30	37.80	%	
		III	12.00	62.40	25.60	%	
		IV	21.20	57.30	21.50	%	
	Lve	I	78.00	9.40	12.60	%	
		II	79.90	5.60	14.50	%	
		III	70.80	9.40	19.80	%	
		IV	64.90	11.10	24.00	%	
		V	66.40	9.80	23.80	%	
	PVA	I	38.00	30.00	32.00	%	Lelis (2011)
		II	27.00	31.00	42.00	%	
Carbono orgânico SOL_CBN	Cx	I	1.40			dag/kg	Xavier (2009)
		II	0.60			dag/kg	
		III	0.40			dag/kg	
		IV	0.40			dag/kg	
		V	0.30			dag/kg	
	Gj	I	2.80			dag/kg	
		II	0.70			dag/kg	
		III	0.30			dag/kg	
		IV	0.30			dag/kg	
	Lve	I	0.80			dag/kg	
		II	0.50			dag/kg	
		III	0.30			dag/kg	
		IV	0.30			dag/kg	
		V	0.20			dag/kg	
	PVA	I	1.71			dag/kg	Lelis (2011)
		II	0.73			dag/kg	
Condutividade Hidráulica Saturada SOL_K	Cx	I	12.50			mm/h	Xavier (2009)
		II	12.50			mm/h	
		III	12.50			mm/h	
		IV	40.00			mm/h	
		V	12.50			mm/h	
	Gj	I	12.50			mm/h	
		II	5.00			mm/h	
		III	40.00			mm/h	
		IV	12.50			mm/h	
	Lve	I	90.00			mm/h	
		II	90.00			mm/h	
		III	90.00			mm/h	
		IV	12.50			mm/h	
		V	12.50			mm/h	
	PVA	I	12.50			mm/h	Baldissera (2005) e com base no NCRS
		II	12.50			mm/h	