



NÚMERO: 175/2012
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

TATIANA GELER ROFFE

**DINÂMICA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DEVIDO A MUDANÇAS NO
USO DA TERRA: ESTUDO DE CASO NA BACIA DE CHAMBAS, PROVÍNCIA
CIEGO DE ÁVILA, CUBA.**

**TESE DE DOUTORADO APRESENTADA AO INSTITUTO
DE GEOCIÊNCIAS DA UNICAMP PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE DOUTOR EM GEOGRAFIA NA ÁREA DE
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL.**

ORIENTADOR: PROF. DR. ALVARO PENTEADO CRÓSTA
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. ARCHIMEDES PEREZ FILHO

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA PELA ALUNA E ORIENTADA PELO PROF. DR.**

CAMPINAS – SP, 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
CÁSSIA RAQUEL DA SILVA – CRB8/5752 – BIBLIOTECA “CONRADO PASCHOALE” DO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNICAMP

G281d Geler Roffe, Tatiana, 1963-
Dinâmica da produção de sedimentos devido a mudanças no uso da terra: estudo de caso da bacia de Chambas, Província Ciego de Ávila, Cuba / Tatiana Geler Roffe -- Campinas,SP.: [s.n.], 2012.

Orientador: Alvaro Penteado Crósta.
Coorientador: Archimedes Perez Filho
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1.Hidrologia - Modelos. 2. Sistema de informação geográfica. 3. Sensoriamento remoto – Processamento de dados. I. Crósta, Alvaro Penteado, 1954- II. Perez Filho, Archimedes, 1947- III. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. IV.Título.

Informações para a Biblioteca Digital

Título em inglês: Dynamics of sediment yield due to land use changes: case study of Chambas River Basin, Ciego de Avila, Cuba.

Palavras-chaves em inglês:

Hidrology - Models

Geographic information systems

Remote sensing – Data processing

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Doutor em Geografia.

Banca examinadora:

Alvaro Penteado Crósta (Presidente)

Isabella Clerici de Maria

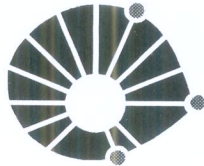
Lindon Fonseca Matias

Mara de Andrade Marinho

Marcio de Morisson Valeriano

Data da defesa: 25-04-2012

Programa de Pós-graduação em Geografia



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTORA: Tatiana Geler Roffe

Dinâmica da Produção de Sedimentos Devido a Mudanças no Uso da Terra: Estudo de Caso na Bacia de Chambas, Província Ciego de Ávila, Cuba.

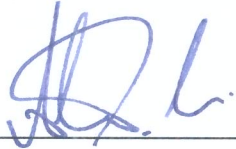
ORIENTADOR: Prof. Dr. Álvaro Penteado Crósta

CO – ORIENTADOR: Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

Aprovada em: 25 / 04 / 2012

EXAMINADORES:

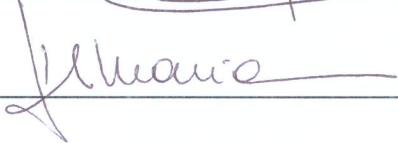
Prof. Dr. Alvaro Penteado Crósta


_____ Presidente

Prof. Dr. Lindon Fonseca Matias




Profa. Dra. Isabella Clerici de Maria



Profa. Dra. Mara de Andrade Marinho



Prof. Dr. Márcio de Morisson Valeriano



Campinas, 25 de abril de 2012.

DEDICATÓRIA

***A minha família e especialmente
a minha filha querida***

AGRADECIMENTOS

No final deste programa de estudo de doutorado, eu gostaria de expressar minha sincera gratidão àqueles que contribuíram para tornar este estudo uma realidade. Gostaria também de desculpar-me com todos aqueles que esqueci de mencionar. Este trabalho só foi possível graças ao apoio das seguintes instituições e pessoas, a quem agradeço:

Instituições Brasileiras:

- *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado*
- *Instituto de Geociências, UNICAMP*
- *Fundo de Apoio ao Ensino, à Pesquisa e à Extensão da UNICAMP (FAEPEX), pela ajuda financeira para realização dos trabalhos de campo.*
- *Fundação de Desenvolvimento da UNICAMP (FUNCAMP)*

Instituições Cubanas:

- *Instituto de Geografia Tropical (IGT) da Agência do Meio Ambiente - CITMA*
- *Direção Provincial do Instituto de Solos de Ciego de Avila (DPSCA - MINAGRI)*
- *Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila (INSMET)*
- *Instituto de Meteorologia de Havana (INSMET)*

Eu gostaria de mostrar o meu sincero apreço e agradecimento especial para os meus orientadores Prof. Dr. Álvaro Penteado Crósta e o Prof. Dr. Archimedes Perez Filho pela orientação e apoio em todos os momentos.

Sou muito grata também aos professores que ajudaram a aumentar o nosso conhecimento: Prof. Dr. Lindon Fonseca Matias, Prof. Dr. Marcos Ferreira, Profa. Dra. Regina Célia de Oliveira, Prof. Dr. Francisco Ladeira (IG) e Profa. Dra. Mara de Andrade Marinho (FEAGRI).

Também gostaria de fazer um agradecimento especial por suas contribuições aos meus estudos

- *Aos professores Dr Srinivasan e Dr. Jeff Arnold e a equipe de desenvolvedores do modelo SWAT do Grassland, Soil & Water Research Laboratory, USDA-ARS, e Universidade do Texas.*
- *Aos especialistas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) Dra. Isabella Clerici de Maria, Dr. Alceu Linares, Dr. Samuel Fernando Adami.*
- *Aos especialistas da empresa Embrapa Monitoramento por Satélite, Dr. Luis Eduardo Vicente e Dr. Ricardo Almeida Guimarães.*
- *Ao Prof. Dr. Jurandir Zullo especialista do CEPAGRI.*
- *A especialista Hilário Medeiros da empresa Sulsoft, representante do ENVI no Brasil.*

Meus sinceros agradecimentos para o engenheiro Silvio López Sardiña, especialista da Direção Provincial de Solos de Ciego de Ávila,

ao Dr. Luis Rivero Ramos, especialista do Instituto de Solos de Havana, aos especialistas do Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, Aliana López Mayea e Rogert Sorí Gómez.

Ao Dr. Roger Rivero Vega, especialista principal do Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, um especial agradecimento.

Ao MSc. Vladimir Guevara Velazco (Chefe) e aos especialistas do Centro do Clima do Instituto de Meteorologia de Havana.

Ao Dr. Ernesto Roche do Grupo Empresarial GEOCUBA.

Gostaria de estender meus agradecimentos para toda a comunidade de amigos cubanos, meus colegas do Instituto de Geografia Tropical, Instituto de Oceanologia, Instituto de Geofísica e Astronomia de Cuba e especialmente a minha amiga e irma Rosa Maria Leal Ramirez por seus conselhos em cada momento e amizade sempre.

A meus colegas e amigas e amigos do Programa de Pós-graduação do IG/UNICAMP que compartilharam todos os momentos de felicidade e tristeza comigo Marcos Vasconcelos, Danubia Caporusso, Joseane Carina, Cinthia Galindo, Cleyton Carneiro, Juliano Alves de Senna, Samuel Murphy, Gracieli Trentin, Fabricio Gallo, Clemente Macias, Cristiano Rocha, Kenia Nogueira Diógenes e Marina Miranda.

Um agradecimento especial aos meus amigos Andrea Koga, William Chinelato, Julhiet Lage, Veruska Rodrigues, Ana Maria Serdio de Mujica.

Minha eterna gratidão às secretárias da pós-graduação do IG Valdirene Pinotti, Edinalva Novaes, Maria Gorete Bernardelli, Dilma Pereira e Tiago Godoy.

Aos funcionários do IG em especial, Anibal Romano, Antonio Guerreiro, Maicon Diego Nunes de Freitas, Ricardo Campos Passanezi e Paulo Ferreira, Moacir Américo Cornetti.

Muito obrigada às instituições e pessoas do SAE e do CECOM, que me deram suporte e cuidaram da minha saúde nos momentos em que precisei.

Finalmente eu sou eternamente grata aos meus queridos pais pela paciência amor e preocupação durante toda a minha educação. Estendo minha gratidão sincera para eles. Para minha filha Tania, que é a minha inspiração. Para minha família e meus amigos, que nunca deixaram de me incentivar e me alegrar.

Enfim a todos os que de uma maneira ou outra contribuíram para a realização desta obra meus mais humildes e sinceros agradecimentos.

“O único caminho aberto para a prosperidade constante e fácil é o de aprender, cultivar e aproveitar os elementos inesgotáveis e incansáveis da natureza”.
José Martí

“Na ciência não existem estradas reais, e quem pretenda remontar seus cumes luminosos, deve estar disposto a escalar a montanha por trilhas escabrosas”.
Karl Marx

SUMÁRIO

RESUMO.....	XXXIII
ABSTRACT.....	XXXV
CAPÍTULO 1.	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 Problemas da erosão no mundo e em Cuba.....	1
1.2 Justificativa	3
1.3 Hipótese	4
1.4 Objetivo geral.....	4
1.4.1 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.5 Desafios científicos e contribuições	5
1.6 Estrutura da tese.....	6
CAPÍTULO 2	9
ANTECEDENTES E BASE TEÓRICA	9
2.1 Introdução	9
2.2 Antecedentes sobre a degradação dos solos no mundo.....	11
2.3 Degradação dos solos em Cuba.....	21
2.4 Degradação dos solos pela erosão hídrica.....	28
2.5 Modelos em estimativa de erosão.....	34
2.6 Modelos hidrológicos e sua integração em SIG	45
2.7 Experiência de Cuba em estudos da erosão dos solos.....	48
2.8 Bacia hidrográfica como unidade básica de estudo	57
2.9 Seleção do modelo para a estimativa da erosão.....	61
2.10 Estudo de cenários como uma ferramenta na modelagem.....	65
2.11 As técnicas de geoprocessamento e o sensoriamento remoto na geração de dados.....	65
2.11.1 <i>Delimitação dos divisores de água da bacia e sub-bacias e delineamento dos canais de drenagem</i>	66
2.11.2 <i>Geração da Cobertura e Uso da terra</i>	70
2.11.2.1 Introdução	70

2.10.2.2 O sensoriamento remoto e processamento digital de imagens em estudos da cobertura e uso da terra.....	74
CAPITULO 3	77
A MODELAGEM HIDRO-SEDIMENTOLÓGICA UTILIZANDO O MODELO SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL (SWAT).....	77
3.1 Introdução	77
3.2 O modelo SWAT.....	80
3.2.1 <i>Generalidades</i>	80
3.3 O desenvolvimento do SWAT	81
3.4 Adaptações de SWAT	84
3.5 Aplicações do SWAT	85
3.6 Descrição do modelo SWAT.	86
3.6.1 <i>Fase Terrestre</i>	87
3.6.1.1 Balanço Hídrico.....	87
3.6.1.2 Análise climatológica.....	88
3.6.1.3 Fluxo superficial.....	89
3.6.1.4 Fluxo subsuperficial.....	90
3.6.1.5 Fluxo subterrâneo	92
3.6.1.6 Sedimentos.....	94
3.6.2 <i>Fase de roteamento do ciclo hidrológico</i>	95
3.6.2.1 Propagação no Canal Principal	95
3.6.2.2 Propagação nos depósitos.....	96
3.7 Interface ArcSWAT	96
CAPITULO 4	101
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	101
4.1 <i>Generalidades e localização geográfica</i>	101
4.2. <i>Caracterização do meio físico</i>	101
4.2.1 <i>Clima</i>	101
4.2.2 <i>Geologia</i>	103
4.2.3 <i>Geomorfologia</i>	110
4.2.4 <i>Pedologia</i>	112
4.2.4.1 Fatores limitantes dos solos para seu uso.....	121
4.2.5 <i>Hidrografia</i>	122

4.2.6 Flora e Fauna	124
4.2.6.1 Patrimônio florestal.....	125
4.2.7 Características da paisagem	125
4.3 Desenvolvimento Econômico Social	126
4.3.1 Atividade econômica	126
4.3.2 População e Assentamentos	128
4.3.3 Infraestrutura e Serviços	128
4.3.3.1 Qualidade da Água	128
4.3.4 As principais fontes de contaminação	130
4.3.5 Principais Impactos Ambientais	130
CAPÍTULO 5	133
GERAÇÃO DA INFORMAÇÃO DE BASE E DOS PARÂMETROS DE ENTRADA NO MODELO SWAT.	133
5.1 Introdução	133
5.2 Materiais e software utilizados	133
5.2.1 Materiais originais	133
5.2.2 Base cartográfica utilizada escala 1:25.000, da área de estudo	134
5.2.3 Software	134
5.3 Criação das bases de dados espaciais e alfanuméricos.	135
5.3.1 Geração do Modelo de Elevação Digital (MDE)	135
5.3.2 Hidrografia da bacia do rio Chambas	135
5.3.3 Cobertura e uso da terra na bacia Chambas.	136
5.3.3.1 Os conceitos sobre uso e cobertura da terra e sua classificação.....	136
5.3.3.2 Processamento Digital das Imagens.....	140
5.3.3.2.1 Seleção e aquisição das imagens ALOS.	142
5.3.3.2.2 Pre-Processamento	143
5.3.3.2.2.1 Correção geométrica	143
5.3.3.2.2.2 Calibração radiométrica	144
5.3.3.2.2.3 Correção atmosférica	145
5.3.3.2.2.4 Recorte das imagens	146
5.3.3.2.2.5 Equalização e mosaico das imagens.....	146
5.3.3.2.2.6 Máscara de elementos não desejados.....	147
5.3.3.2.3 Processamento.....	149

5.3.3.2.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	149
5.3.3.2.3.2 Classificação	150
5.3.3.2.4 Pós-Processamento	152
5.3.3.2.5 Trabalhos de campo para verificação dos resultados.	154
5.3.3.2.6 Vetorização e exportação dos resultados da classificação	161
5.3.3.3 Cobertura e uso da terra na bacia Chambas, no período 2000-2004.	164
5.3.4 Levantamento dos Tipos de Solos.....	167
5.3.4.1 Classificação de solos utilizada na bacia Chambas.....	167
5.3.4.2 Criação do Banco de Dados dos Parâmetros do Solo.....	172
5.3.4.2.1 Profundidade máxima das raízes.	173
5.3.4.2.2 Grupos Hidrológicos do solo	174
5.3.4.2.3 Parâmetros que dependem das propriedades hidráulicas dos solos, densidade aparente (SOL_BD), a capacidade de água no solo (SOL_AWC) e a condutividade hidráulica saturada (SOL_K).	177
5.3.4.2.4 Características texturais do solo	178
5.3.4.2.5 Conteúdo de carbono orgânico.....	182
5.3.4.2.6 Salinidade do solo.....	183
5.3.4.2.7 Compactação do solo	186
5.3.4.2.8 Cascalho no solo.....	188
5.3.4.2.9 Albedo do solo.....	188
5.3.4.2.10 Erodibilidade do solo.....	190
5.3.5 Definição das Classes de Declividade.....	190
5.3.6 Geração dos dados climáticos.....	191
5.3.6.1 Cálculo dos parâmetros de entrada para o gerador do clima.....	193
CAPITULO 6	199
IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO SWAT.	199
6.1 Parametrização do modelo SWAT na bacia Chambas.	199
6.2 Discretização automatizada e/ou semi-automatizada da rede de drenagem, sub-bacias e pontos de desague de cada sub-bacia.....	200
6.3 Adição dos reservatórios e entrada dos dados.....	203
6.4 Entrada e reclassificação do uso da terra.....	204
6.4.1 Vínculo das classes de cobertura e uso da terra na bacia Chambas com o banco de dados no SWAT.....	205

6.5 Entrada e reclassificação dos tipos de solo.	206
6.5.1 Vínculo das categorias de solo na bacia Chambas com o banco de dados de solos.	207
6.6 Definição das classes de declividade.	209
6.7 Definição das Unidades de Resposta Hidrológica (URH) da Bacia Chambas, através da Interface ArcSWAT.	211
6.8 Entrada dos dados de clima.	211
6.9 Simulação de cenários de estudo.	212
CAPITULO 7	215
RESULTADOS E DISCUSSÃO	215
7.1 Geração dos dados.	215
7.1.1 Modelo digital de elevação (MDE)	215
7.1.2 Clinografia da bacia Chambas.	215
7.1.3 Hidrologia da bacia Chambas.	219
7.1.4 Cobertura e uso da terra da bacia Chambas	221
7.1.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	221
7.1.4.2 Cobertura e uso da terra na bacia Chambas.	221
7.1.5 Solos da bacia Chambas e seu banco de dados.	225
7.1.6 Parâmetros do clima	228
7.2 Simulações na bacia hidrográfica Chambas.	229
7.2.1 Período de aquecimento do modelo	230
7.2.2 Simulação de cenários de uso e ocupação	230
7.2.2.1 Mudanças na cobertura e uso da terra na bacia Chambas, no período 2000-2010 bacia Chambas.	230
7.3 Implementação dos cenários de uso e ocupação	234
7.4 Análise de cenários	235
7.4.1 Análise dos cenários ao nível de subbacias.	236
7.4.1.1 Análise anual dos resultados do SWAT na bacia Chambas.	237
7.4.1.2 Análise das mudanças entre os cenários.....	242
7.4.1.3 Análise mensal dos resultados de SWAT para a bacia Chambas	245
7.4.1.4 Visualização da distribuição espacial dos resultados na produção de sedimentos para cada sub-bacia nos diferentes cenários de estudo.....	250
7.4.2 Análise dos cenários ao nível dos rios principais	257
7.4.2.1 Análise anual dos resultados de SWAT nos rios principais	257

7.4.2.2	Análise das mudanças entre os cenários.....	262
7.4.2.3	Análise mensal dos resultados de SWAT nos rios principais.....	264
7.4.2.4	Visualização da distribuição espacial dos resultados no transporte de sedimentos para cada rio principal nos diferentes cenários de estudo.	269
7.4.3	Análise de cenários ao nível dos reservatórios	275
7.4.3.1	Análise anual dos resultados de SWAT nos reservatórios.	276
7.4.3.2	Análise das mudanças entre os cenários.....	284
7.5	Vantagens e desvantagens da aplicação do modelo SWAT	287
CAPÍTULO 8	291
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	291
8.1	CONCLUSÕES	291
8.2	RECOMENDAÇÕES	294
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	297
APÊNDICES	327

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Fatores e causas da erosão do solo e sua interação, adaptado de Lal, (2001).....	33
Figura 2.2 Diagrama de fluxo para geração da hidrografia a partir do Modelo Digital de Elevação em ArcGis.....	70
Figura 3.1 O fluxograma da metodologia de pesquisa.....	79
Figura 3.2 Esquema da história do desenvolvimento do SWAT, incluindo uma seleção de adaptações do SWAT. Adaptado de Gassman et al. (2007).....	83
Figura 3.3 Representação esquemática do ciclo hidrológico (adaptado do manual de SWAT, NEITSCH et al, 2005).....	87
Figura 3.4 Diagrama do funcionamento da interface ArcSWAT em ArcGIS.....	98
Figura 4.1 Mapa de localização da área de estudo, bacia do rio Chambas.....	102
Figura 4.2 Mapa Geológico da bacia Chambas.....	104
Figura 5.1: Cartograma da bacia Chambas escala 1: 25.000.....	134
Figura 5.2 Fluxograma metodológico de PDI aplicado na área de estudo.....	141
Figura 5.3 Histograma das amostras de treinamento (ROIs).....	152
Figura 5.4 Mapa de cobertura e uso da terra obtido no procesamento digital de imagem sin verificação de campo.....	155
Figura 5.5 Carta-imagem do mosaico das imagens ALOS, bacia Chambas.....	156
Figura 5.6 Mapa com a distribuição dos pontos de controle coletados em trabalho de campo, bacia Chambas.....	158
Figura 5.7 Exemplos das classes de usos na bacia Chambas.....	163
Figura 5.8 Mapa da cobertura e uso da terra no período 2000 - 2004 na bacia Chambas.....	166
Figura 5.9: Interface do programa <i>Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator</i>	178
Figura 5.10 Triângulo Textural de USDA, adaptado do IBGE (2007).....	179
Figura 5.11 Localização das estações meteorológicas da bacia Chambas.....	192
Figura 6.1 Diagrama de fluxo do proceso para geração da hidrografia na bacia Chambas.....	202
Figura 6.2 Mapa clinografico gerado na interfaze ArcSWAT com dois intervalos	210

de declividade.....	
Figura 7.1 Modelo de Elevação Digital (MDE) da bacia Chambas.....	217
Figura 7.2 Mapa clinográfico da bacia Chambas.....	218
Figura 7.3 Mapa hidrológico da bacia Chambas.....	220
Figura 7.4 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da bacia Chambas.....	223
Figura 7.5 Mapa de cobertura e uso da terra na bacia Chambas, no período 2005-2010.....	224
Figura 7.6 Mapa de solos da bacia Chambas, conforme a Nova Versão de Classificação Genética dos Solos de Cuba.....	227
Figura 7.7 Mapas da cobertura e uso da terra do período 2000 – 2010, bacia Chambas.....	232
Figura 7.8 Porcentagem de ocupação e uso da terra na bacia Chambas, período 2000-2004.....	233
Figura 7.9 Porcentagem de ocupação e uso da terra na bacia Chambas período 2005-2010.....	233
Figura 7.10 Comportamento anual das precipitações, na bacia Chambas no período 2000- 2020.....	240
Figura 7.11 Comportamento anual da produção de sedimentos na bacia Chambas no período 2000- 2010.....	241
Figura 7.12 Comportamento anual da produção de sedimentos na bacia Chambas no período 2011- 2020.....	242
Figura 7.13 Produção de sedimentos no período 2000 - 2020, bacia Chambas.....	245
Figura 7.14 Comportamento mensal da produção de sedimentos na bacia Chambas no período 2000 - 2010.....	248
Figura 7.15 Comportamento mensal da produção de sedimentos na bacia Chambas no período 2011- 2020.....	249
Figura 7.16 Comportamento anual da produção de sedimentos media nas sub-bacias de Chambas no período 2000- 2010.....	252
Figura 7.17 Comportamento anual da produção de sedimentos media nas sub-	253

bacias de Chambas no período 2011- 2020.....	
Figura 7.18 Produção de sedimentos no nível de sub-bacias, do cenário 2, bacia Chambas.....	255
Figura 7.19 Produção de sedimentos no nível de sub-bacias, do cenário 4, bacia Chambas.....	256
Figura 7.20 Comportamento anual do transporte de sedimentos na bacia Chambas no período 2000 - 2010.....	261
Figura 7.21 Comportamento anual do transporte de sedimentos na bacia Chambas no período 2011 - 2020.....	261
Figura 7.22 Transporte de sedimentos no nível dos rios principais, período 2000 – 2020, bacia Chambas.....	264
Figura 7.23 Comportamento mensal do transporte de sedimentos de saída dos rios principais na bacia Chambas no período 2000 - 2010.....	267
Figura 7.24 Comportamento mensal do transporte de sedimentos de saída dos rios principais na bacia Chambas no período 2011 – 2020.....	268
Figura 7.25 Comportamento anual do transporte de sedimentos media nos rios principais da bacia Chambas, no período 2000 - 2010.....	270
Figura 7.26 Comportamento anual do transporte de sedimentos media nos rios principais da bacia Chambas, no período 2011 - 2020.....	271
Figura 7.27 Transporte de sedimentos no nível dos rios principais, no cenário 2, bacia Chambas período 2000 - 2010.....	273
Figura 7.28 Transporte de sedimentos no nível dos rios principais, no cenário 4, bacia Chambas período 2011 - 2020.....	274
Figura 7.29 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Cañada Blanca no período 2000 - 2010.....	281
Figura 7.30 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Cañada Blanca no período 2011 - 2020.....	282
Figura 7.31 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Chambas II no período 2000 - 2010.....	283
Figura 7.32 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Chambas II no período 2011- 2020.....	283

Figura 7.33 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Cañada Blanca no período 2000 - 2020.....	285
Figura 7.34 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Chambas II no período 2000 - 2020.....	287

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Degradação Global do solo induzida pelo homem, expresso em milhões de hectares (adaptado de Oldeman et al., 1991).....	13
Tabela 2.2: Gravidade da degradação da terra induzida pelo homem, e a degradação do solo devido às atividades agrícolas. Estatística da degradação das terras no mundo em 2000 adaptado de FAO (2003).....	15
Tabela 2.3: Estatísticas sobre a área agrícola na América Latina, Caribe (2007) e Cuba em 2009, expresso em 1000 ha, feita a partir de dados da UNEP e a FAO.....	19
Tabela 2.4: Tipos de processos de degradação da terra em Cuba.....	26
Tabela 2.5: Estatística sobre a superfície de uso da terra em CUBA (1000 ha) indicadas pela FAO em 2009.....	26
Tabela 2.6: Modelos de erosão e transporte de sedimentos.....	40
Tabela 5.1: Classificação adotada para a cobertura e uso da terra na bacia Chambas.....	139
Tabela 5.2: Bandas espectrais do satélite ALOS sensor AVNIR-2 e suas respectivas resoluções espaciais.....	142
Tabela 5.3: Valores dos ganhos utilizados na conversão dos valores de DN da imagem para radiância, adaptado de Bouvet et al (2007).....	145
Tabela 5.4: Pontos de controle verificados na região da bacia Chambas durante as etapas de trabalhos de campo.....	159
Tabela 5.5: Classes de cobertura e uso da terra, antes e depois da verificação em campo.....	161
Tabela 5.6: Área e porcentagem dos usos da terra nos dois períodos da modelagem 2000 - 2004 e 2005 - 2010.....	164
Tabela 5.7: Classificação dos solos da bacia Chambas ao nível de subtipo com as simbologias utilizadas em Cuba.....	170
Tabela 5.8: Correlação das classificações utilizadas pelo Serviço de Agricultura dos Estados Unidos (Soil Taxonomy) com a classificação da FAO-UNESCO, a classificação de solos do Brasil (SiBCS) e a Nova Versão de Classificação de Solos de Cuba (NV).....	171

Tabela 5.9: Parâmetros do banco de dados dos solos para sua entrada em SWAT.....	172
Tabela 5.10: Classes de profundidade máxima das raízes utilizadas na bacia Chambas.....	174
Tabela 5.11: Grupos hidrológicos e estimação da permeabilidade nos subtipos de solos da bacia Chambas.....	175
Tabela 5.12: Distribuição dos grupos hidrológicos na bacia Chambas.....	176
Tabela 5.13: Classificação granulométrica das partículas do solo, segundo USDA.....	179
Tabela 5.14: Classes texturais segundo USDA e sua equivalência em três línguas.....	180
Tabela 5.15: Textura original da primeira camada do solo.....	181
Tabela 5.16: Classes de texturas representadas na bacia Chambas.....	182
Tabela 5.17: Avaliação da humificação na camada arável, bacia Chambas.....	183
Tabela 5.18: Condutividade elétrica dos solos e sua avaliação em classes de salinidade das primeiras camadas do solo.....	184
Tabela 5.19: Avaliação do parâmetro salinidade e a CE (condutividade elétrica) nos solos da bacia Chambas.....	186
Tabela 5.20: Classes de compactação utilizadas pelo programa SWC.....	187
Tabela 5.21: Estimação do indicador compactação por subtipo na bacia Chambas.....	187
Tabela 5.22: Correlação da classificação dos solos pela FAO ao nível do táxon superior e o albedo segundo o sensor MODIS. Adaptado de TSVETSINSKAYA, et al (2002).....	189
Tabela 5.23: Classes de declividade e sua equivalência com as classes de relevo na bacia Chambas, adaptado de IBGE (2007).....	191
Tabela 5.24: Estações meteorológicas da bacia Chambas.....	191
Tabela 5.25: Variáveis climáticas calculadas para dar entrada no modelo SWAT.	193
Tabela 6.1: Parâmetros dos reservatórios Chambas II e Cañada Blanca, entrados em ArcSWAT.....	203

Tabela 6.2: Correlação das classes de cobertura e uso da terra, determinadas para a bacia Chambas e suas equivalências com as classes da base de dados no SWAT.....	206
Tabela 6.3: Classificação dos solos da bacia Chambas ao nível de subtipo com as simbologias utilizadas em Cuba e o campo SNAM com os nomes dos solos simplificados, para a entrada no SWAT.....	208
Tabela 7.1: Intervalos de valores de NDVI para a bacia Chambas e seus respectivos tipos de cobertura e uso da terra.....	221
Tabela 7.2: Classes de cobertura e uso da terra, da bacia Chambas.....	222
Tabela 7.3: Tipos e subtipos de solos na bacia Chambas com as respectivas áreas em hectares.....	225
Tabela 7.4: Parâmetros do clima requeridos pelo gerador climático do modelo SWAT, estação Camilo Cienfuegos, na bacia Chambas, calculados para o período 2000 - 2010.....	228
Tabela 7.5: Parâmetros do clima requeridos pelo gerador climático do modelo SWAT, estação Ciego de Ávila, na bacia Chambas, calculados para o período 2000 - 2010.....	229
Tabela 7.6: Classes de uso da terra com mudanças de área no período 2000 - 2010 na bacia Chambas.....	234
Tabela 7.7: Algumas das variáveis de saída do SWAT no nível de subbacias.....	237
Tabela 7.8: Resumo das medias anuais para a bacia Chambas no período 2000 - 2010 e uso da terra antigo.....	238
Tabela 7.9: Resumo das medias anuais para a bacia Chambas no período 2000 - 2010 e uso da terra atual.....	238
Tabela 7.10: Resumo das medias anuais para a bacia Chambas no período 2011 - 2020 e uso da terra antigo.....	239
Tabela 7.11: Resumo das medias anuais para a bacia Chambas no período 2011 - 2020 e uso da terra atual.....	239
Tabela 7.12: Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 1 e 2 período 2000 – 2010 ao nível da bacia.....	243

Tabela 7.13: Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 3 e 4 período 2011 – 2020 ao nível da bacia.....	244
Tabela 7.14: Resumo das médias mensais para o período 2000 -2010 e uso da terra antigo (cenário 1).....	246
Tabela 7.15: Resumo das médias mensais para o período 2000 -2010 e uso da terra atual (cenário 2).....	246
Tabela 7.16: Resumo das médias mensais para o período 2011 -2020 e uso da terra antigo (cenário 3).....	247
Tabela 7.17: Resumo das médias mensais para o período 2011 -2020 e uso da terra atual (cenário 4).....	247
Tabela 7.18: Médias mensais para cada estação do cenário 1, bacia Chambas.....	249
Tabela 7.19: Médias mensais para cada estação do cenário 2, bacia Chambas...	250
Tabela 7.20: Médias mensais para cada estação do cenário 3, bacia Chambas.....	250
Tabela 7.21: Médias mensais para cada estação do cenário 4, bacia Chambas.....	250
Tabela 7.22: Classes de perda de solos por erosão segundo Geler (2000).....	251
Tabela 7.23: Classes de perda de solos por erosão para a bacia Chambas.....	252
Tabela 7.24: Algumas das variáveis de saída do SWAT para os rios.....	257
Tabela 7.25: Resumo das medias anuais resultado das simulações em SWAT para os rios no período 2000-2010 e uso da terra antigo.....	258
Tabela 7.26: Resumo das medias anuais resultado das simulações em SWAT para os rios no período 2000-2010 e uso da terra atual.....	258
Tabela 7.27: Resumo das medias anuais resultado das simulações em SWAT para os rios no período 2011-2020 e uso da terra antigo.....	259
Tabela 7.28: Resumo das medias anuais resultado das simulações em SWAT para os rios no período 2011-2020 e uso da terra atual.....	259
Tabela 7.29: Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 1 e 2, período 2000 – 2010 ao nível dos rios principais.....	262
Tabela 7.30: Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os	262

cenários 3 e 4, período 2011 – 2020 ao nível dos rios principais.....	
Tabela 7.31: Resumo das médias mensais nos rios principais para o período 2000 -2010 e uso da terra antigo (cenário 1).....	265
Tabela 7.32: Resumo das médias mensais nos rios principais para o período 2000 -2010 e uso da terra atual (cenário 2).....	265
Tabela 7.33: Resumo das médias mensais nos rios principais para o período 2011 - 2020 e uso da terra antigo (cenário 3).....	266
Tabela 7.34: Resumo das médias mensais nos rios principais para o período 2011 - 2020 e uso da terra atual (cenário 4).....	266
Tabela 7.35: Médias mensais para cada estação do cenário 1, bacia Chambas...	269
Tabela 7.36: Médias mensais para cada estação do cenário 2, bacia Chambas...	269
Tabela 7.37: Médias mensais para cada estação do cenário 3, bacia Chambas...	269
Tabela 7.38: Médias mensais para cada estação do cenário 4, bacia Chambas...	269
Tabela 7.39: Classes de perda de solos por transporte de sedimentos nos rios principais para a bacia Chambas.....	271
Tabela 7.40: Algumas das variáveis de saída do SWAT para os reservatórios.....	275
Tabela 7.41: Identificação dos reservatórios em SWAT.....	276
Tabela 7.42: Resumo das médias anuais para o reservatório Cañada Blanca no período 2000-2010 e uso da terra antigo.....	276
Tabela 7.43: Resumo das médias anuais para o reservatório Cañada Blanca no período 2000-2010 e uso da terra atual.....	277
Tabela 7.44: Resumo das médias anuais para o reservatório Cañada Blanca no período 2011-2020 e uso da terra antigo.....	277
Tabela 7.45: Resumo das médias anuais para o reservatório Cañada Blanca no período 2011-2020 e uso da terra atual.....	278
Tabela 7.46: Resumo das médias anuais para o reservatório Chambas II no período 2000-2010 e uso da terra antigo.....	278
Tabela 7.47: Resumo das médias anuais para o reservatório Chambas II no período 2000-2010 e uso da terra atual.....	279
Tabela 7.48: Resumo das médias anuais para o reservatório Chambas II no período 2011-2020 e uso da terra antigo.....	279

Tabela 7.49: Resumo das médias anuais para o reservatório Chambas II no período 2011-2020 e uso da terra atual.....	280
Tabela 7.50: Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 1 e 2 para o reservatório Cañada Blanca, período 2000 – 2010.....	284
Tabela 7.51: Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 3 e 4 para o reservatório Cañada Blanca, período 2011 – 2020.....	284
Tabela 7.52: Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 1 e 2 para o reservatório Chambas II, período 2000 – 2010.....	286
Tabela 7.53: Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 3 e 4 para o reservatório Chambas II, período 2011 – 2020.....	286

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1: Pontos de observação dos solos realizados nos trabalhos de campo durante os anos 2009-2011.....	329
Apêndice 2: Banco de dados de solo para sua entrada em SWAT.....	333
Apêndice 3: Banco de dados morfométricos gerados por SWAT, das sub-bacias de Chambas.....	338
Apêndice 4: Banco de dados da produção de sedimentos gerados por SWAT, das sub-bacias de Chambas, cenários 2 e 4.....	342
Apêndice 5: Banco de dados morfométricos gerados por SWAT, dos rios principais de Chambas.....	346
Apêndice 6: Banco de dados do transporte de sedimentos (SED_OUT) em tons, gerados por SWAT, nos rios principais de Chambas, cenários 2 e 4.....	350

LISTA DE SIGLAS

ALOS	Advanced Land Observing Satellite
ASF	Alaska Satellite Facility
AVNIR-2	Advanced Visible and Near Infrared Radiometer Type 2
BSQ	Band Sequential Format
CEOS	Committee on Earth Observation Satellites
CROSS	Online Satellite Images Search & Order System
DEM	Digital Elevation Model
DN	Digital Number
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI	Environment for Visualizing Images
ETM	Enhanced Thematic Mapper
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID	Identificador
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
LANDSAT	Land Observation Satellite
MDT	Modelo Digital do Terreno
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
RGB	Red Green Blue
RMS	Root Mean Square (Erro Médio Quadrático)
ROI	Region of Interest
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UTM	Universal Transverse Mercator
MDE	Modelo Digital de Elevação
CORINE	Co-ordination of Information on the Environment
AMA	Agencia de Medio Ambiente
CITMA	Ministerio de Ciencia Tecnologia y Medio Ambiente
SIG	Sistema de Informação Geográfica

TIN	Triangular Irregular Network
SWC	Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator
IGP	Instituto de Geología y Paleontología
IGT	Instituto de Geografía Tropical
INRH	Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos
IPF	Instituto de Planificación Física
IS	Instituto de Suelos
MINAGRI	Ministerio de la Agricultura
MINAZ	Ministerio del Azúcar
ANAP	Asociación Nacional de Agricultores Pequeños
INSMET	Instituto de Meteorología.
OACE	Organismos de la Administración Central del Estado
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales
FAO	The Food and Agriculture Organization of the United Nations
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
LADA	Land Degradation Assessment in Drylands
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
GLASOD	Global Assessment of Soil Degradation
SOTER	Global Soils and Terrain Digital Database
NRCS	Natural Resources Conservation Service
USDA	United States Department of Agriculture
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
GEF	Global Environment Facility
UNDP	United Nations Development Programme
UNEP	United Nations Environment Programme
WOCAT	World Overview of Conservation Approaches and Techniques
GLADIS	Global Land Degradation Information System
NASA	National Aeronautic and Space Administration (USA)
ISRIC	International Soil Reference and Information Centre

ISSS	International Society of Soil Science
WOCAT	World Overview of Conservation Approaches and Technologies
ESRI	Environmental Systems Research Institute
UGI	União Geográfica Internacional



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

DINÂMICA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DEVIDO A MUDANÇAS NO USO DA
TERRA: ESTUDO DE CASO NA BACIA DE CHAMBAS, PROVÍNCIA CIEGO DE ÁVILA,
CUBA.

RESUMO

Tese de Doutorado

Tatiana Geler Roffe

Modelos matemáticos de predição de erosão e produção de sedimentos tem um grande potencial para uso em estudos da degradação e manejo dos recursos naturais, pois permitem estimar os impactos causados pela atividade agrícola. Este trabalho trata da aplicação do modelo hidrológico SWAT (*Soil Water Assessment Tool*), com a finalidade de previsão dos riscos de erosão devido às mudanças no uso da terra, na bacia do rio Chambas na província Ciego de Ávila, em Cuba. Este modelo tem sido utilizado de forma eficaz em estudos da dinâmica ambiental na representação da variabilidade espacial e temporal de processos hidrosedimentológicos em bacias hidrográficas. O método desenvolvido para modelagem descreve a dinâmica da perda de solo devido à enxurrada produzida pela água e às mudanças no uso da terra. Este permite a avaliação dos riscos de erosão do solo, utilizando um modelo implementado em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) em modo raster. O mapeamento de cobertura e uso da terra foi realizado com base na utilização de técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital das imagens. O estudo baseou-se no desenvolvimento de diferentes cenários de previsão de comportamento das taxas de erosão do solo, segundo mudanças da cobertura e uso da terra. Tendo em conta este procedimento, o mapeamento da erosão atual e/ou a sua predição no tempo e no espaço, desempenha um papel importante na determinação da variabilidade espacial dos fenômenos, tornando-se uma ferramenta essencial para o planejamento na conservação dos solos. Os resultados obtidos permitem avaliar a aplicabilidade do modelo na modelagem do escoamento superficial e produção de sedimentos em bacias hidrográficas em escala média com predomínio de uso agrícola. Esta foi avaliada através dos resultados da simulação em uma escala de tempo mensal e anual sem calibração durante um período de 20 anos de simulação para três cenários de estudo. Foram utilizadas diferentes condições de uso e ocupação do território. A análise dos resultados das simulações no âmbito destes cenários permitiu identificar as mudanças e contrastes que ocorreram e potenciais dos processos hidrosedimentológicos na bacia, o cálculo dos volumes do fluxo de escoamento e as taxas na produção de sedimentos anual e mensal e a sazonalidade destes processos. Neste sentido se desenvolveu uma metodologia para o cálculo e a avaliação da erosão dos solos por meio da utilização das ferramentas de geoprocessamento. Posteriormente, pretende-se aplicar esta metodologia para outras regiões do país, constituindo-se numa poderosa ferramenta para o prognóstico dos riscos à erosão nas regiões agrícolas de manejo inadequado e também, como instrumento para a tomada de decisões relativas aos impactos da erosão, acelerada pela atividade humana.

Palavras-chave: Modelagem Hidrológica, SWAT (Soil Water Assessment Tool), Sensoriamento Remoto, SIG



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

**DYNAMICS OF SEDIMENT YIELD DUE TO LAND USE CHANGES: CASE STUDY OF
CHAMBAS RIVER BASIN, CIEGO DE AVILA PROVINCE, CUBA.**

ABSTRACT

PhD Thesis

Tatiana Geler Roffe

Mathematical models for predicting erosion and sediment production has great potential for use in studies of the degradation and planning of natural resources, that allow estimating impacts caused by agricultural activity. This work deals with the application of the hydrological model SWAT (Soil Water Assessment Tool), in order to forecast the risks of soil erosion due to land use changes, in the Chambas river basin, Ciego de Avila province, Cuba. This model has been successfully used in studies of environmental dynamics in the representation of spatial and temporal variability of hydro-sedimentological processes in watersheds. The method developed for modeling, describes the dynamic in the loss of soil due to runoff produced by water and changes in land use. This allows us to assess the risks in soil erosion, using a model implemented in a Geographic Information System (GIS) raster mode. In determining the mapping of land cover/land use will be use remote sensing techniques and digital image processing. The study is based on the development of different scenarios to predict behavior in the rates of soil erosion when the Land cover /land use change. Taking into account this procedure, the mapping of the existing erosion and/or its prediction in time and space, plays an important role in determining the spatial variability of the phenomena, becoming an essential tool for soils conservation planning. The results obtained allow evaluating the applicability of the model in modeling runoff and sediment yield in medium scale watersheds with predominance of agricultural use. This was evaluated through simulation results on a monthly and annual time scale without calibration over a period of 20 years of simulation to three study scenarios. We used different stages of use and occupation of the territory. The analysis of simulation results under these scenarios, allowed identifying changes and contrasts, occurring and potential in hydro-sedimentological processes in the watershed, the calculation of flow rates of runoff and sediment yield annual and monthly and the seasonality of these processes. In this sense, was developing a methodology that enables using geoprocessing tools for the calculation and assessment of soil erosion and its subsequent generalization to other regions. This provides a powerful tool for forecasting the risk of erosion in agricultural regions, which facilitates decision making about the negative effects of accelerated erosion by human activity.

Key words: Hydrology Modelling, SWAT (Soil Water Assessment Tool), Remote Sensing, GIS.

INTRODUÇÃO

1.1 Problemas da erosão no mundo e em Cuba

A degradação do solo como resultado da erosão tem se tornado um grave problema ambiental que afeta a maioria dos países do mundo. Este problema reduz a fertilidade do solo e a produção de culturas, o que afeta potencialmente uma parcela expressiva da humanidade. Além disso, a erosão do solo como resultado do uso intensivo das terras agrícolas e o manejo inadequado estão mudando rapidamente a dinâmica da paisagem (FAO, 1990).

O projeto de “Avaliação Global da Degradação do Solo Induzida pelo Homem” GLASOD (OLDEMAN et al., 1991) pode ser considerado como o primeiro esforço para a avaliação global do conhecimento geográfico do estado de deterioração dos recursos do solo induzida pelo Homem. O GLASOD foi executado pelo *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC) em Wageningen, na Holanda, sob a orientação do Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUMA). O ISRIC realizou o mapeamento em escala 1:10 milhões em 1990 e elaboração de um banco de dados digital. De acordo com GLASOD, 1964 milhões de hectares de terras no mundo estão degradados pelo homem.

Conforme estudos realizados pelo Natural Resources Conservation Service, do United States Department of Agriculture (USDA), estima-se que do total de área global de terra firme, que somam 130.630 mil km², excluindo-se as regiões hiper-áridas e frias, sujeitas à erosão eólica e hídrica, em todo o mundo há 56 milhões de km² de terras vulneráveis à erosão hídrica, com capacidade para produção de aproximadamente 92 bilhões de toneladas de sedimentos anuais. De acordo Reich et al (2001), essa remoção de solos por erosão hídrica resulta em danos significativos em diferentes categorias.

A natureza e a intensidade dos fatores que desencadeiam a erosão geram impactos nas diferentes escalas espaço-temporais, bem como uma notável influência

sobre a dinâmica da degradação ambiental. Esses problemas condicionam os processos de conversão e de modificação da cobertura natural do planeta, e são comuns na maioria dos países, em especial nas ilhas da região do Caribe e em Cuba.

A avaliação da gravidade da degradação induzida pelo homem em Cuba, de acordo com informes do site da FAO (2003)¹, foi baseada em análises da degradação das terras em pesquisas conduzidas por países realizadas nos levantamentos de GLASOD durante a década de 1980 pelo PNUMA e pela ISRIC. Como resultado desta avaliação foi relatada a existência de 61. 000 km² de área de superfície afetada por degradação grave e muito grave equivalente a 54% da área total do país. Destaca-se que a agricultura é a principal causa desta degradação, dados estes que devem ser observadas com limitações devido à escala que foram realizados de acordo com relatórios da FAO (2000).

No Programa Nacional de Combate à Desertificação e à Seca na República de Cuba (CITMA, 2003), apresentado na Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e à Seca, afirma-se que as terras agrícolas do país abrangem 6,7 milhões de hectares, representando 62,7% da superfície de terra firme e, nesta, a erosão de grau muito forte a média afeta mais de 2,9 milhões de hectares, correspondentes a 43,3% da terra arável em Cuba. De acordo com estimativas do Ministério da Agricultura (MINAGRI), esperava-se um aumento de 8,9% nas áreas afetadas pela erosão entre os anos de 1999 e 2014. Esse aumento tem causado grandes perdas de massa de solo devido aos seguintes fatores:

- Ritmo insuficiente de execução das medidas de contenção da erosão;
- Não cumprimento das normas tecnológicas;
- Desmatamento;
- Agricultura migratória;
- Insuficiência no monitoramento das ravinas de diversos tamanhos;
- Manejo inadequado dos solos na montanha;
- Pastagem extensiva.

Estudos mais recentes confirmam que a degradação dos solos por erosão é um

¹ Disponível em: <http://www.fao.org/nr/land/information-resources/terrastat/en/> atualizado 6 de Fevereiro de 2003.

dos principais problemas ambientais identificados em Cuba, que afeta mais de 2,5 milhões de hectares hoje, com 60% representados por terrenos agrícolas no total de terras firme. Este problema foi refletido na Estratégia Nacional do Meio Ambiente, Ministério da Ciência Tecnologia e Meio Ambiente (2007/2010), o que permitiu classificar a sua importância, orientando-a para os principais esforços da gestão ambiental no país.

1.2 Justificativa

A província Ciego de Ávila, localizada na bacia do rio Chambas, não está isenta da degradação dos solos por processos erosivos. Tal problema ambiental foi recentemente identificado em pesquisas. Mais de 70% das áreas presentes nas seções sul e centro desta bacia foram classificadas nas categorias de erosão média a muito alta. Tal valor tende, conforme López et al. (2008) a ser aumentado se não forem tomadas as medidas necessárias para o seu controle. O mesmo autor também considera que 56,5% dos solos são afetados por algum grau de erosão, especialmente nas categorias de moderada a forte erosão, que equivalem a 46,9%.

Em algumas áreas da bacia os processos da erosão são intensos, principalmente nas áreas de cultivo de tabaco na região de Florença e na área superior do município Chamba. Geralmente, estas áreas encontram-se em solos Fersialíticos Pardo Rojizo y Pardos dedicados a culturas de tabaco, pecuária, silvicultura e culturas mistas. Nessas regiões, as chuvas fortes, as variações climáticas e a suscetibilidade desses solos à erosão, juntamente com problemas de gestão, fazem que estas sejam considerados como áreas críticas em relação à degradação do solo.

Os processos envolvidos na erosão dos solos são complexos e diretamente interligados. Os modelos dinâmicos capazes de gerar cenários variados tem sido muito utilizados nas estimativas relacionadas aos processos erosivos, pois eles oferecem resultados eficientes, além de um quadro coerente e consistente para suporte à tomada de decisões.

Esta pesquisa é motivada pela inexistência de uma metodologia para avaliar taxas de erosão em solos em Cuba, bem como da sua dinâmica espacial e temporal. Nela, busca-se considerar a experiência internacional sobre o uso de modelos físicos para avaliação da erosão dos solos e a sua eficácia na resolução dos problemas

relativos à perda de solo.

Diversos modelos conceituais e empíricos têm sido utilizados para avaliar a erosão do solo. Entre os mais comumente usados encontram-se a equação universal da perda do solo (USLE) (Wischmeier e Smith, 1965, 1978), a equação universal da perda do solo modificada (MUSLE) (Williams, 1975), a equação universal das perdas de solo atualizada (RUSLE) (Renard et al, 1987), dentre outros.

Atualmente, existem muitos modelos que permitem a quantificação dos processos erosivos. Os modelos *Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems* (CREAMS) (Knisel, 1980), *Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation* (ANSWERS) (Beasley e Huggings, 1980), *Simulator for Water Resources in Rural Basins* (SWRRB) (Williams et al., 1985; Arnold et al., 1990), *Agricultural Nonpoint Source Pollution Model* (AGNPS) (Young et al., 1989), *Environmental Policy Integrated Climate* (EPIC) (Sharpley and Williams, 1990) e *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) (Williams et al., 1985, Arnold et al., 1990), são provavelmente os mais importantes.

A aplicação de métodos, baseados no uso de modelos dinâmicos em ambiente de sistemas de informação geográfica (SIG) e utilizando cenários de estudo, além de dados de sensoriamento remoto, permitem a identificação de alternativas viáveis para o desenvolvimento da agricultura sustentável, com resultados mais ajustados à realidade do que aqueles obtidos por procedimentos tradicionais.

Nesta perspectiva a modelagem de processos em ambiente SIG é uma ferramenta importante para permitir a combinação de diversas variáveis espacialmente distribuídas no território.

1.3 Hipótese

As observações sugerem que a erosão é provavelmente o maior problema para a continuidade sustentável do uso atual das terras na bacia do rio Chambas, em Cuba. Contudo, as taxas de erosão do solo podem ser muito diferentes em virtude da complexidade das características do relevo e as mudanças da cobertura e uso da terra.

1.4 Objetivo geral

O objetivo geral deste projeto de pesquisa é estimar a dinâmica da produção de

sedimentos resultante das mudanças no uso da terra, utilizando o modelo SWAT em ambiente SIG e técnicas de sensoriamento remoto. A área de estudo selecionada para aplicar esses métodos foi a bacia do rio Chambas, Ciego de Avila, Cuba.

1.4.1 Objetivos específicos

1. Geração das variáveis e bancos de dados de entrada do modelo SWAT, solo, hidrologia, uso da terra, clima e manejo, em ambiente SIG.
2. Estimativa das perdas de solo devido a mudanças no uso da terra na bacia hidrográfica do rio Chambas.
3. Análise do comportamento espacial e temporal da erosão dos solos na bacia hidrográfica em diferentes cenários de uso e ocupação da terra.

1.5 Desafios científicos e contribuições

O questionamento científico mais importante desta pesquisa relaciona-se ao desafio da implementação de uma metodologia para estimar a dinâmica da erosão nos solos em bacias hidrográficas a partir do uso de modelos integrados em SIG. Pretende-se, desta maneira, contribuir na geração de novos dados a partir da utilização de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, frente a pouca disponibilidade de dados em Cuba.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi necessário buscar respostas para as seguintes questões:

- Qual é o principal processo erosivo identificado na área de estudo e os fatores que o induzem?
- Quais são os tipos de uso da terra existentes na bacia?
- Quais são os dados necessários para a realização da pesquisa e destes, quais estão disponíveis?
- Que tipo de modelo melhor se aplica a este estudo e quais são os requisitos para desenvolvê-lo?
- Como integrar os processos da modelagem em SIG que permitam uma visão dinâmica dos processos da erosão que afetam o meio ambiente?
- Quais os cenários a serem estudados?

Esta linha temática se destaca como uma dimensão investigativa importante pela novidade e atualidade. Trata-se do primeiro estudo realizado sobre Cuba para determinar a erosão do solo utilizando o modelo hidrológico SWAT na produção e transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica, em ambiente SIG e utilizando técnicas de sensoriamento remoto para determinar a cobertura e uso da terra em escala média.

O desenvolvimento de diferentes cenários de estudos para o prognóstico do comportamento das taxas de erosão quando se muda a forma de uso da terra constitui uma tecnologia útil na previsão dos riscos de erosão do solo.

Tendo em conta este procedimento, o mapeamento da erosão existente e/ou a sua previsão no tempo e no espaço desempenha um papel importante na determinação da variabilidade espacial dos fenômenos, tornando-se uma ferramenta essencial para o planejamento e conservação dos solos.

Durante a execução deste projeto foi desenvolvida uma metodologia para o cálculo e avaliação da erosão dos solos na área de estudo, com auxílio de modelagem e de técnicas de geoprocessamento. Futuramente, pretende-se aplicar esta metodologia para outras regiões do país, uma vez que a mesma constitui uma importante ferramenta para o prognóstico da erosão nas regiões agrícolas com manejo inadequado. A metodologia proposta permitirá o estabelecimento de medidas preventivas a partir da identificação das principais áreas de risco para a perda de solo por erosão, facilitando dessa maneira a tomada de decisões para minimização dos impactos provocados pela erosão acelerada por ação do homem sobre a natureza.

O tema estudado na presente pesquisa apresenta uma importância econômica e social notável se levadas em consideração a necessidade crescente de produção de alimentos e a busca pela melhoria da qualidade de vida da população, não somente para a população de Cuba mas para todos os habitantes do planeta.

1.6 Estrutura da tese

O documento aqui apresentado para a defesa do doutorado é estruturado com este capítulo de Introdução, onde se descrevem o problema, a hipóteses, e os objetivos.

O Capítulo 2 apresenta a base teórico-conceitual e os antecedentes. Também

são abordadas a visão geral dos aspectos teóricos relacionados com a degradação dos solos, a modelagem da erosão dos solos e os conceitos básicos na seleção de modelos para seu uso e sua integração com os Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto.

Os passos metodológicos da pesquisa estão descritos no Capítulo 3 que apresenta ainda considerações relacionadas ao desenvolvimento do modelo hidrológico SWAT, suas aplicações, adaptações, a descrição geral de seus componentes e a interface utilizada em SIG.

No Capítulo 4 foi realizada a caracterização geral da área de estudo com a descrição de suas principais características físico-geográficas e socioeconômicas.

O Capítulo 5 aborda a geração de informações básicas para modelagem de erosão. Neste capítulo foi feita a descrição do desenho da estrutura das bases de dados, e da geração dos parâmetros necessários para o cálculo da erosão. Ainda no capítulo 5 são apresentados os métodos utilizados para o mapeamento do uso da terra por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Já no capítulo 6 é apresentada a implementação do modelo para a área de estudo e a sua aplicação.

Os resultados obtidos durante a pesquisa e sua discussão a partir da geração de variáveis inéditas para a região de estudo são apresentados no Capítulo 7, onde são também encontradas as análises dos resultados da modelagem para cada cenário proposto para estudo.

Finalmente, o último capítulo desta tese traz as considerações finais, as conclusões e as recomendações para futuros estudos e aplicações relacionadas ao tema estudado nesta pesquisa.

ANTECEDENTES E BASE TEÓRICA

2.1 Introdução

O crescente interesse na proteção, conservação e restauração dos recursos naturais é devido, em grande parte, ao reconhecimento pela sociedade da magnitude e a gravidade das catástrofes e danos que o homem causou e está causando aos recursos naturais pela sua imprevisão, negligência e exploração e uso irracional dos recursos que depende para sua sobrevivência.

De acordo com a Comissão Nacional de Boas Práticas Agrícolas (2008) os recursos naturais são definidos como aqueles elementos da natureza que fornecem bens materiais e serviços importantes para as sociedades humanas que contribuem para o seu bem-estar e desenvolvimento direto (matérias-primas, minerais, alimentos) ou indireto (serviços ecológicos essenciais para a continuação da vida no planeta). Dentre eles pode-se distinguir a água, o ar, o solo e a biodiversidade.

O recurso solo, objeto do nosso estudo, era frequentemente negligenciado em estudos ambientais e não foi considerado, por um longo tempo, tão importante na vida do homem quanto os outros recursos naturais. A conscientização sobre a natureza limitada dos recursos naturais e a fragilidade do sistema planetário tem sido estendida agora para o recurso solo, que por muito tempo foi esquecido nos desenvolvimentos das pesquisas ambientais.

Entre as definições mais utilizadas está a do *Soil Survey Staff*, que afirma:

Solo é um corpo natural composto de sólidos (minerais e matéria orgânica), líquidos e gases que ocorre na superfície da Terra, ocupa espaço e é caracterizado porque têm horizontes ou camadas que diferem do material inicial como um resultado de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria, ou porque é capaz de sustentar plantas enraizadas em um ambiente natural (SSS, 1999) adaptado de JARAMILLO, D. (2002, p.21).

O solo é um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal de terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir. Nessa cobertura

incluem-se não só as culturas como também todos os tipos de árvores, gramíneas, raízes e herbáceas que podem ser utilizadas pelo homem (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008, p. 28).

O uso do solo é indispensável para o desenvolvimento humano, pois dele dependem a agricultura, a pecuária, a silvicultura, e a mineração. Além disso, o solo é provedor de materiais utilizados na construção civil e base para as edificações.

De acordo com FAO (1995)², as funções do solo são diversas, mas entre as principais estão:

- Função biológica: no solo vive grande número de espécies de plantas e animais, essenciais para sua formação, funcionamento e fertilidade.
- Função alimentar: o solo é a fonte e reserva de elementos essenciais da vida, como cálcio, potássio, nitrogênio, fósforo e magnésio.
- Função depuradora: a porosidade do solo atua como um filtro que retém e transforma as impurezas da água através dele.
- A função de suporte das plantas, edifícios e estradas.

A atividade humana influencia constantemente na função do solo, tornando-o muitas vezes vulnerável a perda da sua fertilidade.

Atualmente, a opinião internacional é sensível à importância da preservação e à função do solo e sua preservação. Cada vez mais é notória a preocupação com a disponibilidade de terras aráveis do planeta e sua capacidade para responder ao aumento da demanda de alimentos no futuro. A polêmica em torno da energia de origem vegetal ganhou força em relação à concorrência que representa a utilização de alimentos da produção agrícola, assim como, seu impacto sobre o aumento dos preços dos produtos básicos. Mesmo a atividade pecuária tem sido questionada, em particular pelo seu impacto sobre a degradação do solo e desertificação. Isto exige uma visão mais integrada do solo em que a alimentação, agricultura e meio ambiente estão intimamente ligados.

A conservação dos recursos naturais é de fundamental importância na

² FAO. La influencia humana. Los seres humanos y el medio ambiente.
<http://www.fao.org/DOCREP/006/W1309S/w1309s10.htm>

manutenção da base produtiva da nação e dos processos ecológicos essenciais para garantia da vida. Esta permite assegurar a produção de alimentos, fibras e outros materiais necessários para satisfazer às demandas de alimentação, moradia e vestuário da população.

Conservação é o método de usar um recurso natural ou o meio ambiente total de um ecossistema particular para impedir a exploração, poluição, destruição ou abandono e assegurar o uso futuro desse recurso.

A definição de conservação, mas aceita atualmente foi apresentada em 1980 pela União Internacional para a Conservação da Natureza e Recursos Naturais (UICN) como: "Gestão do uso da biosfera pelo homem de modo a produzir o máximo benefício sustentável para gerações presentes, mantendo seu potencial para atender as necessidades e aspirações das gerações futuras" (IUCN, 1980, p.15).

De acordo com a IUCN (1980), a conservação inclui a preservação, manutenção, utilização sustentável, restauração e melhoria do ambiente natural.

Conservação do solo, na agricultura ou pecuária, é o conjunto de práticas aplicadas para promover o uso sustentável do solo para o plantio. O princípio básico da conservação do solo deve ser o de manter a produtividade do solo próxima ao da sua condição original, ou o de recuperá-lo, caso sua produtividade seja baixa, usando-se, para tanto, de sistemas de manejo capazes de controlar a ação dos agentes responsáveis pela degradação do solo e daqueles condicionantes do processo erosivo.

2.2 Antecedentes sobre a degradação dos solos no mundo.

A degradação da terra é um fenômeno de grande interesse na atualidade, com implicações globais e locais, e foi definida de variadas maneiras. Nachtergaele et al. (2009) a definem como "a redução da capacidade da terra para fornecer bens e serviços dos ecossistemas e assegurar as suas funções durante um período de tempo para os seus beneficiários", apud Pulido e Bocco (2011).

Para evitar mal-entendidos, é necessário definir-se o que se entende por degradação do solo e da terra, respectivamente.

A degradação do solo, conforme definido no mapa GLASOD é "um processo que descreve os fenômenos induzidos pelo homem que reduzem a capacidade atual ou futuro do solo para sustentar a vida humana" (OLDEMAN et al., 1991). Já a degradação

da terra refere-se à redução temporária ou permanente da capacidade produtiva da terra, como resultado da ação humana. É reconhecido que a degradação da terra é um problema que é generalizado e grave em algumas áreas (YOUNG, 1998) apud FAO (2000).

A degradação do solo é um aspecto de degradação da terra, enquanto os outros são a degradação dos recursos vegetação ou água, de acordo com VAN LYNDEN (2004).

Nem todos os solos com problemas são considerados como solos degradados. Solos degradados têm propriedades que foram recentemente alteradas no sentido negativo através da intervenção humana ou por processos naturais, com efeito imediato, tais como eventos extremos de chuva. Eles não devem ser confundidos com solos com problemas, que têm características desfavoráveis criados por processos naturais, de formação do solo em longo prazo: por exemplo, solos rochosos em zonas de montanha, solos desérticos ou solos salinos.

A degradação do solo é a perda de produtividade real ou potencial ou a utilidade, como resultado de fatores naturais ou antropogênicos (LAL, 1994c). Em essência, é o declínio na qualidade do solo ou a redução da produtividade e da capacidade regulatória do ambiente, de acordo com Lal (1997, 2001).

A UNCCD (1996), define a degradação da terra no contexto da sua abordagem para as terras secas como:

“uma redução ou perda da produtividade biológica ou econômica em zonas áridas, semiáridas e terras secas subúmidas, e da complexidade da lavoura de sequeiro, a terra de culturas irrigadas ou arbusto, pastagens, florestas e terras florestadas, como resultado do uso da terra ou de um processo ou combinação de processos, incluindo os resultantes de atividades humanas e o modelo de assentamento, tais como: (i) a erosão do solo causada pelo vento e / ou água, (ii) deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas ou econômicas do solo e (iii) a perda em longo prazo da vegetação natural ” (NKONYA, 2011, p.11).

A degradação do solo tem sido objeto de estudos de vários pesquisadores ao redor do mundo. O projeto GLASOD, identificou tipo, extensão, grau, velocidade, e causas principais de degradação do solo induzida pelo homem. Este projeto representa a base dos estudos mais recentes da ONU sobre a degradação global, e a

desertificação. Apesar de ser base de diversos programas ambientais internacionais, o GLASOD foi direcionado apenas aos recursos do solo com enfoque em uma abordagem produtivista, sendo que a avaliação dos níveis de degradação foi em grande parte conduzida a critério dos especialistas e não incluiu a degradação natural. Além disso, a escala do mapeamento (1: 10 milhões) não permite uma análise precisa, a nível nacional.

Numa perspectiva global, a degradação do solo e a perda de terras agrícolas têm sido causadas por uma série de fatores sendo que muitos ou a maioria deles quais estão ligados ao desenvolvimento humano (OLDEMAN,1991),. As principais causas para tal degradação em ordem de importância são sobrepastoreio (35%), desmatamento (30%), agricultura (28%), a superexploração da madeira (7%) e industrialização (4%).

OLDEMAN et al. (1991) determinaram que, no âmbito do projeto GLASOD, a erosão hídrica é facilmente o tipo mais importante de degradação do solo, que ocupa cerca de 1.094 milhões de hectares no mundo, representando 56% do total da área afetada pela degradação do solo induzida pelo homem. Globalmente, a área afetada pela erosão eólica ocupa 548 milhões de hectares (28% dos solos degradados), conforme se observa na tabela 2.1.

A perda da camada superficial do solo por erosão hídrica é o subtipo mais importante de deslocamento de material do solo também nas regiões da Ásia e África, cobrindo uma área de 441 e 227 milhões de hectares, respectivamente, como mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Degradação Global do solo induzida pelo homem, expresso em milhões de hectares (adaptado de Oldeman et al., 1991).

Regiões	Área total (10 ⁶ ha)	Degradação de solo induzida pelo home (10 ⁶ ha)	Erosão do solo (10 ⁶ ha)	
			Hídrica	Eólica
África	2.966	494	227	186
Ásia	4.256	748	441	222
América Latina	2.074	306	169	47

América do Norte	1.885	95	60	35
Europa	950	219	115	42
Austrália e Pacífico	882	103	83	16
Mundo	13.013	1.964	1.094	548

Middleton e Thomas (1997) apresentaram o Atlas da Desertificação no Mundo, onde foram apresentadas estimativas das áreas áridas susceptíveis à erosão hídrica e eólica. Os autores argumentaram que existem aproximadamente 19 milhões de km² (41% terras secas suscetíveis) de terras vulneráveis à erosão hídrica e existem cerca de 17 milhões de km² ou 37% de terras áridas que são vulneráveis à erosão eólica no mundo. As áreas hiper-áridas, frias e úmidas foram excluídas desta estimativa.

A FAO (2000), baseado na obra de Oldeman (1991) caracterizou a degradação dos solos aos níveis regionais e nacionais, identificando os principais problemas degradantes dos solos de cada região, incluindo as regiões montanhosas, com ou sem a agricultura. Foram identificadas áreas para cada tipo de problema e aquelas afetadas por mais de um problema nas diferentes regiões. De todos os problemas identificados o risco de erosão é o que mais afeta os solos no mundo, com mais de 21 milhões de quilômetros quadrados, equivalentes a 16 % do total da área considerados neste estudo (134,907 milhões km²).

De acordo com as atualizações da FAO (2000, 2003), com base nas estatísticas sobre a degradação da terra no mundo ao nível de regiões e países, considera-se que há mais de 35 milhões de quilômetros quadrados de terra com comprometimento grave, o equivalente a 27% de solos considerados nesta análise (131, 866 milhões km²). Do total de terras com comprometimento grave, mais de 12 milhões de quilômetros quadrados são devido à agricultura e equivalem a 9% do total, conforme ilustrado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Gravidade da degradação da terra induzida pelo homem, e a degradação do solo devido às atividades agrícolas. Estatística da degradação das terras no mundo em 2000 adaptado de FAO (2003)³

Região	Área total '000 km ²	Degradação total da terra				Degradação da terra pela atividade agrícola				
		Severa '000 km ²	Muito severa '000 km ²	Degra. total '000 km ²	% Área total degra.	Severa '000 km ²	Muito severa '000 km ²	Degra. total '000 km ²	% Área degra.	% de área total
Ásia e Pacífico	28.682	6.336	2.071	8.407	29	3.220	285	3.505	42	12
Europa	6.806	2.456	818	3.274	48	702	25	727	22	11
Norte de África e Oriente Médio	11.545	3.395	865	4.260	37	482	277	759	18	7
América do Norte	19.295	3.158	0	3.158	16	2.427	0	2.427	77	13
Norte de Ásia, Leste de Urais	20.759	3.637	784	4.421	21	1.153	27	1.180	27	6
América Central e Sul	20.541	4.580	973	5.553	27	1.490	305	1.795	32	9
África subsaariana	24.238	3.472	2.460	5.932	24	1.077	919	1.996	34	8
Mundo	131.866	27.034	7.971	35.005	27	10.551	1.838	12.390	35	9

Fonte dos dados: FAO Terrastat © FAO AGL (2003). Última atualização: 6 Fevereiro 2003. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/land/information-resources/terrastat/en/>

Outra estimativa da degradação global da terra devido à erosão hídrica e eólica foi conduzida pelo Natural Resources Conservation Service of USDA (REICH et al., 2001), que sugere que ao nível mundial existem aproximadamente 56 milhões de km² (43% da terra livre de gelo) de terras vulneráveis à erosão hídrica em zonas pouco áridas e úmidas do planeta. Há cerca de 33 milhões de km², ou 25% da massa de terra que é vulnerável à erosão eólica. As áreas hiper-áridas, frias e úmidas foram excluídas desta estimativa.

O GLASOD, apesar de suas conhecidas limitações, continua a ser um projeto relevante. Embora seja limitado para a avaliação da degradação do solo e não inclua toda a degradação dos recursos terrestres, tais como: o clima, a vegetação, as questões dos recursos hídricos, este projeto vem sendo ponto de partida para diversos

³Site da FAO, com as estatísticas sobre a degradação da terra para cada país, induzida pela atividade humana, especialmente a agricultura.

estudos voltados para avaliação da degradação da terra.

Estudos de degradação regional no estilo de GLASOD, foram conduzidos mais tarde com algumas modificações na Ásia e Europa, respectivamente nos projetos ASSOD (*Assessment of Soil Degradation in South and Southeast Asia*) Van Lynden e Oldeman (1997) e SOVEUR (*Soil Vulnerability Assessment in Central and Eastern Europe*) Van Lynden (2000). As modificações adotadas nestes projetos permitiram melhorias na descrição dos tipos de degradação do solo e estimativa do efeito da degradação em termos de tendência de produtividade. A principal vantagem deste projeto é que se pode aplicar a nível nacional para identificar as causas e os processos da degradação, bem como a gravidade dos processos.

Também se desenvolveu uma metodologia de utilização de unidades terrestres do banco de dados SOTER (UNEP / ISRIC / FAO / ISSS, 1993) como uma única unidade em que a degradação do solo é avaliada, segundo Nachtergaele (2005).

O objetivo do projeto SOTER é usar as tecnologias da informação atuais e emergentes para estabelecer um banco de dados de solos do mundo e do terreno, contendo unidades de mapa digitalizado e dados de atributos (ISSS, 1986b). A principal função desta base de dados é fornecer os dados necessários para melhorar o mapeamento e monitoramento das mudanças dos solos do mundo e os recursos terrestres, de acordo com a UNEP / ISRIC / FAO / ISSS (1995).

Por outro lado, em uma iniciativa de acompanhamento de GLASOD iniciou-se em 1992 o projeto WOCAT (*World Overview of Conservation Approaches and Technologies*), que foi a primeira avaliação global de mitigação e prevenção da degradação das terras.

O WOCAT foi iniciado em resposta a abordagem GLASOD a fim de desenvolver um conjunto de ferramentas para documentar, monitorar e avaliar a Conservação do Solo e da Água (SWC), "know-how" para espalhar por todo o mundo, e para facilitar a troca de experiências (SCHWILCH, LINIGER, e VAN LINDEN 2004). Sua finalidade era facilitar o intercâmbio nacional e internacional do conhecimento através da criação da rede WOCAT, de acordo Nkonya (2011).

Aproveitando as tecnologias SIG e sensoriamento remoto, a FAO iniciou em 2000 o projeto denominado LADA (*Land Degradation Assessment in Drylands*), que

tem produzido avaliações das causas, status, e o impacto da degradação das terras secas. Este estudo usa mapas e bancos de dados existentes e além de incorporar também incorporar novas informações a partir de imagens de satélite.

O projeto de Avaliação da Degradação do Solo em Zonas Áridas (LADA), financiado pelo Global Environment Facility (GEF) e do Mecanismo Global (GM), implementado pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) e executado pelas Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), responde à necessidade de fortalecimento do apoio para combate a degradação da terra, como previsto pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), (NACHTERGAELE, 2005).

Os principais objetivos da LADA são (i) desenvolver e implementar estratégias, métodos e ferramentas para avaliar, quantificar e analisar a natureza, extensão, gravidade e conseqüências da degradação da terra nos ecossistemas, bacias hidrográficas e de seqüestro de carbono em terras áridas em uma faixa de escalas espaciais e temporais, (ii) criar capacidades de avaliação de níveis nacional, regional e global que permitam a concepção, planejamento, e implementação de intervenções para reduzir a degradação da terra e estabelecer o uso sustentável e práticas de manejo (FAO, 2003; NACHTERGAELE et al., 2010).

O projeto começou em 2000 com a seleção de países (Argentina, China e Senegal) e em 2006 iniciou a implementação de todo o projeto-piloto em seis países: Argentina, China, Cuba, Senegal, África do Sul e Tunísia, com uma duração de quatro anos. Foi aplicado inicialmente a nível nacional, mas potencialmente poderá ser aplicado a nível global. Apesar de seu foco ter sido inicialmente na desertificação limitando sua aplicação a regiões úmidas, esta tendência tem mudado nos últimos anos (CITMA, 2010).

A informação do projeto GLASOD foi atualizada pelo projeto de Avaliação Global da Degradação da Terra (GLADA), com base em uma análise dos índices de vegetação de diferença normalizada (NDVI), tendo em conta as mudanças climáticas. Ao contrário de GLASOD, o estudo GLADA utiliza dados de satélite ao invés de opinião de especialistas. Comumente são usadas imagens do satélite NOAA AVHRR (GIMMS), MODIS de muito baixa resolução. De acordo com Nkonya (2011) o GLADA também usa

uma resolução espacial muito maior (8 km) do que a utilizada anteriormente.

O projeto GLADA tem como base o projeto LADA e avalia tanto a degradação quanto a melhoria das terras. A cobertura global GLADA também inclui áreas úmidas e subsumidas. O projeto inicialmente considerou a degradação da terra como uma perda em longo prazo da função do ecossistema e é medido em termos de mudanças na produtividade primária neta (NPP), o que mais tarde foi considerado um importante indicador da FAO/GLADIS (NACHTERGAELE et al., 2010).

O GLADIS (*Global Land Degradation Information System*) constitui um dos produtos do projeto LADA e trata-se de um sistema online com mapas e bancos de dados digitais que combinam dados de GLASOD e GLADA (PULIDO e BOCCO, 2011). O sistema GLADIS utiliza uma abordagem ecossistêmica e combina bases de dados globais preexistentes e de novo desenvolvimento, para informar os tomadores de decisão em todos os aspectos da degradação do solo nesta escala. Destina-se a fornecer aos usuários informações e análises sobre o estado dos recursos da terra ao nível global e dos processos de degradação ou melhoria que agem sobre eles (NACHTERGAELE et al. 2010).

O sistema GLADIS é baseado em seis eixos: biomassa, solo, água, biodiversidade, economia, indicadores sociais e culturais. Seu objetivo é capturar o estado atual dos recursos da terra, assim como, os processos de degradação que agem sobre eles (NKONYA, 2011).

Em geral os projetos GLASOD, GLADA / LADA, e GLADIS usam sistemas de sensoriamento remoto passivos, tais como imagens de satélites ópticos, para o monitoramento dos determinantes físicos da degradação das terras. Os indicadores monitorados com imagens de sensoriamento remoto são: a produtividade primária neta (NPP), eficiência do uso da precipitação (RUE), índice de aridez (IA) e variabilidade a precipitação e a erosão, ou seja, a análise das alterações na produtividade de biomassa ou da cobertura vegetal, estimado pelo NDVI, com ajustes pelo fator chuva (BAI et al., 2007, 2010).

A preocupação em relação ao problema da degradação bem como a escassez de terras agrícolas adequadas na região da América Latina e Caribe (ALC) tem sido crescente a apontada por várias agências internacionais de pesquisa, planejamento

agrícola e de desenvolvimento (FAO, 2000, 2002, 2003, UNEP, 2000, 2003, 2010, a CEPAL, 2005, UNEP, 1990; ISRIC / UNEP, 1991).

A ALC possui as maiores reservas de terras aráveis no mundo, de acordo com a UNEP (2000, 2003). No entanto, a degradação ameaça a maioria das terras cultivadas, resultando em perda de produtividade. Neste sentido, é importante ressaltar que em grau extremo a degradação do solo, gera a desertificação do mesmo. Estima-se que as perdas regionais na ALC pela desertificação podem chegar a mil milhões de dólares anualmente. A intensificação da agricultura, por outro lado, tem sido obtido em muitas partes, em troca do intenso crescimento do uso de produtos químicos, com alta toxicidade ambiental.

De acordo com estimativas da FAO (2000) esta região tem um potencial de cultivo de sequeiro de 3.848 milhões hectares, dos quais 38% é relatado como atualmente cultivadas. No entanto, grande parte das terras aráveis, mas não cultivadas, é selva ou floresta, ou necessárias para pastagem e serviços dos ecossistemas.

Estimativas recentes da FAO, em 2007, apresentadas no Anuário Estatístico da UNEP (2010), reafirmam as estimativas feitas até agora, mostrando que a região da América Latina e no Caribe possuem as maiores reservas de terras aráveis no mundo, além de uma área agrícola estimada em 717 milhões de hectares, representando 35% da área total da região, como mostrado na Tabela 2.3. Entretanto, 27 % da terra na América Latina e no Caribe é afetada por degradação da terra severa e muito severa, de acordo com estatísticas da FAO (2003) (Tabela 2.2).

Tabela 2.3 Estatísticas sobre a área agrícola na América Latina, Caribe (2007) e Cuba em 2009, expresso em 1000 ha, feita a partir de dados da UNEP e a FAO.

	América Latina e Caribe		Caribe		Cuba	
	1000 ha	%de total	1000 ha	%de total	1000 ha	%de total
Superfície Terrestre Total	2.027.462,00		22.893,00		10.989,00	
Superfície agrícola	717.137,00	35,37%	11.790,00	51,50%	6.655,00	60,56%
Terras aráveis e	168.131,00	8,29%	7.099,00	31,01%	4.025,00	36,63%

Culturas permanentes

Fontes dos dados: PNUMA, 2010 e FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2011, Atualizado: 21 de Julho de 2011.

Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/377/DesktopDefault.aspx?PageID=377#ancor>

Acesso em: 13 de Setembro de 2011.

Na América Latina e no Caribe, a degradação é como uma crise silenciosa que está avançando rápido, onde poucos países têm a esperança de alcançar uma agricultura sustentável num futuro próximo. É um problema que, apesar de estar ameaçando a subsistência de milhões de pessoas na região tende a ser ignorado por governos e população em geral.

Degradação da terra é um dos problemas ambientais mais graves na região, tem origem em processos como a erosão, acidificação, diminuição da matéria orgânica, compactação, perda de nutrientes, poluição química e salinização. Como resultado, estima-se que mais de três milhões de quilômetros quadrados de terras agrícolas na América Latina e do Caribe sofreram perdas significativas na produtividade (UNEP 2003).

Como previsto na Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), há amplo consenso de que a degradação da terra é o resultado da atividade humana e os fatores do clima. Neste contexto destacam-se o desmatamento, a extração excessiva de produtos florestais, incêndios florestais, sobre pastoreio, o excesso de uso intensivo do solo, o manejo inadequado, o uso de tecnologias inadequadas para os ecossistemas frágeis e as secas recorrentes e prolongadas, que afetam alguns dos países da região e agravam ainda mais as consequências da ação humana (CEPAL, 2005).

Segundo estatísticas da CEPAL (2005), de uma área de aproximadamente 20,18 milhões km² na ALC, 25% correspondem a terras áridas, semiáridas e subúmido seco. Destas, por sua vez, 75%, ou seja, 378 milhões de hectares apresentam sérios problemas de degradação. A estes se adicionam outros ecossistemas afetados pelo mesmo tipo de problema, com diferentes graus de intensidade.

Os diferentes graus de degradação e vulnerabilidade vão desde os fenômenos de desertificação em áreas de planícies tropicais até a degradação grave nas terras

áridas do planalto com mais de 4.000 metros acima do nível do mar (UNEP 2010).

Todos os países da ALC são afetados por um ou mais processos de degradação dos solos em pelo menos parte do seu território, salinização, compactação, erosão hídrica e eólica, exaustão ou perda avançada de nutrientes, acúmulo de substâncias tóxicas, que são todos agravados por condições climáticas extremas (CEPAL, 2007a) apud (UNEP, 2010).

O Caribe é caracterizado por marcadas variações sazonais das chuvas, e a maioria dos territórios sofrem secas prolongadas, seguidas de chuvas torrenciais que aumentam a erosão do solo (UNEP, 2010).

A erosão do solo pela água é a principal forma de degradação da terra na América Latina. Quanto maior é a área sob cultivo, mais grave é a erosão, mesmo nos Pampas férteis. Por exemplo, no noroeste da Argentina a erosão do solo, tem sido um problema intratável e levou ao abandono da terra (UNEP, 2000, 2003, 2007).

Os países mais ameaçados pela degradação do solo são os menores, como muitas ilhas do Caribe, começando com o Haiti e países da América Central como El Salvador. Também são países particularmente vulneráveis aqueles que mais dependem da agricultura para sustentar suas economias, como Nicarágua, Guatemala, Bolívia e Paraguai. Essas tendências são uma ameaça em curto prazo para a segurança alimentar de alguns países com maiores níveis de degradação da terra (UNEP, 2003).

2.3 Degradação dos solos em Cuba.

Em Cuba, a degradação dos solos e estudos destinados a sua conservação foram enquadradas em geral, através de diferentes etapas, a partir de trabalhos anteriores do projeto CITMAb (2007) e FEBLES et al. (2009).

Etapa da conquista e colonização da nossa América (1492 - 1900), uma história que também é comum às ilhas do Caribe, foi caracterizada pela denudação das florestas e da espoliação dos recursos naturais. O ambiente sofreu o desmatamento de grandes áreas de floresta e o uso irracional da terra para produção agrícola e pecuária. Em 1900 a área florestal tinha sido reduzida a 54%.

O período da República Neocolonial (1901 - 1959) intensificou a degradação dos solos, topografia, fauna e vegetação, área de floresta continuou a diminuir atingindo

dramáticos 14% de Cuba, o que levou a uma perda significativa de diversidade biológica, cujo impacto é impossível de ser avaliado por completo. A atividade manufatureira era fraca, quase artesanal, e com exceção da indústria do açúcar, quase não se aplicava o ordenamento territorial ou medidas de proteção ambiental. As condições de vida da população eram deploráveis por insuficientes serviços de saúde e sociais em geral.

As primeiras ações para proteção dos solos e a obtenção de tecnologias de culturas de acordo com suas características, se desenvolveram na Primeira Estação de Pesquisa Agrícola, criada no início do século XX, em Santiago de las Vegas, província Havana, através dos trabalhos realizados no cultivo da cana pelo cientista cubano Alvaro Reinoso, bem como a classificação dos solos em Cuba, feito por Bennett e Allisson nos anos 1928 a 1932.

A partir de 1959 (período da Revolução) realizaram-se transformações econômicas e sociais que conduziram a melhorias significativas nas condições de vida da população e a proteção dos recursos naturais, alcançando um aumento na área florestal, e o desenvolvimento de capacidades científicas para diagnosticar e resolver muitos problemas ambientais e causas subjacentes.

Nos anos 60, o desenvolvimento de instituições científicas da Agricultura levou ao desenvolvimento da ciência do solo e os estudos deste em Cuba com um propósito mais geral, que visava aumentar e diversificar a agricultura. Nesta década, começaram os trabalhos de classificação genética dos solos de Cuba, realizados até agora I, II, III e Nova Versão de Classificação Genética dos Solos de Cuba, que forneceram a base para estudos pedológicos e edafológicos nacionais, com a confecção das cartas de solos nacionais em escala 1: 250.000, 1: 50.000 e 1: 25.000 e a caracterização de mais de 80.000 perfis no país.

Nesta mesma década foram produzidos mapas temáticos nacionais da acidez, da erosão atual e potencial, de salinidade, de matéria orgânica, da produtividade agrícola dos solos, drenagem e outras em diferentes níveis e extensão territorial. Foram realizados também estudos detalhados dos solos para o desenvolvimento agrícola, conservação e melhoria dos solos em diferentes regiões do país, além do desenvolvimento do Programa Nacional de Melhora e Conservação do Solo, dentre

outros.

As décadas de 70 e 80 foram caracterizadas pela intensificação da agricultura, sendo que nestas décadas foram alcançados os rendimentos históricos mais elevados em quase todos os produtos agrícolas e pecuários, através da aplicação de altos níveis de mecanização e quimização, do melhoramento genético do rebanho bovino por meio do uso de técnicas de inseminação artificial ligados ao desenvolvimento de sistemas de agricultura intensiva, e da aplicação dos resultados da ciência e da tecnologia em variedades altamente produtivas e resistentes a pragas e doenças.

Esta etapa na agricultura cubana é conhecida por outros autores, como Revolução Verde (VEGA e FEBLES, 2005; FEBLES et al., 2007) apud FEBLES et al. (2009), onde a visão predominante na gestão das terras, ao invés de ecológica, foi agrônômica: aumentando a produtividade através do desmatamento de novas terras para o cultivo (desmatamento de terras virgens), do uso excessivo de fertilizantes para compensar as perdas, introduzindo variedades melhoradas, da utilização cada vez mais frequente de máquinas pesadas e de causas sociais que levaram a separação do homem da terra.

Na década de 90, devido à perda de laços comerciais e mercados estabelecidos principalmente com os países da Europa Oriental, a economia cubana sofreu uma forte contração, o que afetou diretamente a agricultura. Esse período ficou conhecido como Período Especial (VEGA e FEBLES, 2005; FEBLES et al., 2007) apud FEBLES et al. (2009).

O período de 1996 até o presente, conhecido como a Recuperação Econômica (VEGA e FEBLES, 2005; FEBLES et al., 2007) apud FEBLES et al. (2009), foi caracterizado pela substituição de insumos agrícolas e de conversão horizontal, sob um conceito agro-ecológico, a fim de fazer uso dos mecanismos de sinergia de grande importância para finalmente consolidar a base para a aplicação de uma agricultura orgânica nos sistemas agrícolas em larga escala.

Iniciou-se a partir desse período a busca de alternativas para o desenvolvimento agrícola através dos resultados do Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia, que contou também com a contribuição das forças técnicas não científicas do país, construído e canalizado através do Fórum de Ciência e Tecnologia. A contribuição

deste Forum foi uma via importante para a introdução de práticas agrícolas sustentáveis e o uso de tecnologias tradicionais, propiciando o uso de tecnologias que são menos prejudiciais ao meio ambiente e mitigando os efeitos das reduções drásticas de insumos agrícolas.

A década de 1990 a 2000 foi tanto internacionalmente quanto nacionalmente destinada a combater desastres pela ONU. A partir desse momento foram iniciados uma série de projetos internacionais e nacionais, com um apoio financeiro considerável.

A chamada feita pela Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), conhecida também como ECO-92, Rio-92, Cúpula ou Cimeira da Terra, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, constituiu o marco propício para prevenir a degradação do solo, combater à desertificação e restaurar as terras afetadas.

O Estado cubano faz parte dos acordos de cooperação e parcerias internacionais, como parte do Programa Agenda 21 para ajudar a alcançar o desenvolvimento sustentável nas áreas afetadas, o que requer a aplicação de estratégias integradas focadas simultaneamente na detenção dos processos de degradação, na recuperação dos ambientes, no aumento da produtividade das terras, e na reabilitação, conservação e uso sustentável dos recursos da terra e dos recursos hídricos, buscando a melhoria das condições de vida da população, especialmente em nível da comunidade (CITMA 2003).

A criação em 1994 do Ministério de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Cuba (CITMA), impulsionou intensamente a elaboração de políticas de gestão ambiental a nível nacional. No mesmo ano, veio a Convenção Internacional de Combate à Desertificação (UNCCD), nos países afetados por seca grave ou desertificação.

Em 1995, criou-se o Grupo Nacional de Combate à Desertificação e à Seca em Cuba, composta por 36 representantes de 26 instituições e organizações da Administração Central do Estado (OACE), centros de ciência, professores e ONGs, sob a coordenação geral do Ministério de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente.

Apesar das dificuldades econômicas enfrentadas pela economia cubana e a forte contração que atingiu o país neste período, o Governo de Cuba aprovou no ano de

2000 o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação (PAN), dirigido pelo CITMA, que estabeleceu as primeiras diretrizes do Programa relacionado a gestão sustentável da terra (CITMA, 2003).

O objetivo deste programa é:

“Prevenir e controlar as causas que contribuem para o desenvolvimento dos processos que conduzem à desertificação através da implementação de medidas práticas necessárias e suficientes que permitam mesmo, deter e reverter esses processos, mitigar os efeitos da seca e contribuir para o desenvolvimento sustentável das áreas afetadas, a fim de melhorar a qualidade de vida de seus habitantes” (CITMA, 2003, p.65).

O PAN indicou que as condições da degradação da terra são extremas em 14% das terras produtivas afetadas pela desertificação e a seca. Este é o caso particular das áreas de planícies costeiras baixas até 40 metros acima do nível do mar e nas planícies associadas com as serras até 500 m (CITMA, 2003).

Em 2004, foi realizado a IV Convenção de Combate à Desertificação e à Seca da República de Cuba, patrocinada pelo Secretariado da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e à Seca (CCD), pela Organização para Agricultura e Alimentação (FAO) e pelo Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola (FIDA).

Desde 2005, Cuba integra o projeto de Avaliação da Degradação do Solo em Zonas Áridas (*Land Degradation Assessment in Drylands*, LADA), financiado pelo GEF e pelo Mecanismo Global (GM), implementado pelo PNUMA e executado pela FAO, onde participa como um país com cenários de estudo no contexto Tropical até 2010.

Em seguida, criou-se em Cuba o Programa Nacional de Ciência e Técnica da Defesa Civil, que apoia projetos relacionados às questões de desastres naturais. No ano de 2006 foi implementada a Diretiva¹, que autoriza ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente a realizar estudos de avaliação de riscos de desastres e seu impacto em todo o país. No entanto, as pesquisas relacionadas à avaliação de riscos na agricultura são relativamente limitadas e focadas em poucas instituições (SANCHEZ et al, 2006).

O CITMA em sua "Estratégia Nacional de Meio Ambiente 2007/2010", identificou os principais problemas ambientais no país, tendo em conta o seu impacto pela

afetação dos recursos naturais e sua distribuição à escala nacional, entre os quais se encontra a degradação dos solos.

Dentre os principais processos de degradação dos solos em Cuba, estão os processos de erosão que afetam 2,9 milhões de hectares de terra no país, como mostra na Tabela 2.4. Estas áreas são afetadas por fatores naturais ou antrôpicos acumulados ao longo dos anos, com uma preponderância marcada do último, embora nos últimos anos se intensificassem os processos naturais como a seca e a incidência de furacões, com as consequentes inundações, lixiviação dos solos, e movimentos de massa, que estão incidindo na sua deterioração (CITMAa, 2007).

Tabela 2.4 Tipos de processos de degradação da terra em Cuba.

Tipo de degradação	MM de hectares	% de área total
Salinidade e/ou sodicidade	1,00	14,9
Erosão (muito forte e meia)	2,90	43,3
Baixa fertilidade	3,00	44,8
Acidez (ph KCl < 6,0)	3,40	51,5
Compactação	1,60	23,9
Muito baixo conteúdo de M.O.	4,66	70,6
Mao drenagem	2,70	40,3

Fonte: Oficina Nacional de Estadística (ONE) 2005 em (CITMA/LADA 2007)

A superfície de terras agrícolas de Cuba é de 6.654.500 hectares o que representa 60,56 % do território total. A área cultivada é 54,02 % dessa área agrícola (CITMAa 2007). Tais dados podem ser vistos na Tabela 2.5 com as estatísticas da FAO para o ano 2009.

Tabela 2.5 Estatística sobre a superfície de uso da terra em CUBA (1.000 ha) indicadas pela FAO em 2009.

Tipos de usos	1.000 ha
Superfície do país	10.989,00
Superfície da terra	10.644,00

Superfície agrícola	6.655,00
Terras aráveis e Culturas permanentes	4.025,00
Terras aráveis	3.650,00
Pousio (temporal)	1.314,00
Culturas permanentes	375,00
Savanas e pastos permanentes	2.630,00
Savanas e pastos permanentes - Cultivados	232,00
Savanas e pastos permanentes - Naturais	2.398,00
Superfície florestal	2.835,40
Outras terras	1.153,60
Água interior	345,00
Superfície total provida para riego	870,00

Fonte: FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2011, Atualizada: 21 de Julho de 2011

Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/377/DesktopDefault.aspx?PageID=377#ancor>

Aceso em: 13 de Setembro 2011.

Os processos que causam a degradação da terra afetam um número considerável de solos agrícolas, incluindo áreas de agricultura mecanizada e manual, culturas de irrigação, culturas não irrigadas, agricultura permanente e de migração. Cuba tem cerca de 970 reservatórios, com cerca de 7.000 milhões de metros cúbicos, que enfrentam crescentes problemas de sedimentação devido aos altos níveis de erosão do solo em bacias hidrográficas que drenam para eles. Vários aquíferos de importância foram afetados pelo aumento nas concentrações de nitrato provenientes de fertilizantes artificiais (até 60 mg/l em algumas partes da bacia Havana-Matanzas, que ultrapassa os níveis permitidos de 45 mg/l), enquanto os corpos de água superficial sofrem eutrofização da mesma fonte (CITMAa, 2007).

Nas condições de Cuba, há uma estreita inter-relação entre fatores biofísicos e socioeconômicos, como os agentes de degradação dos ecossistemas produtivos, em particular os agrícolas, notando-se que naquelas áreas frágeis, como o Vale de Guantánamo, Vale do Cauto, ao norte das Províncias Centrais, Planície Havana-Matanzas e a Planície do Sul de Pinar del Rio, a pressão gerada pela produção de

alimentos, bem como a construção de infraestruturas habitacionais e rodoviárias, tem levado a processos de erosão, compactação, salinidade, perda de matéria orgânica e sobre-umedecimento . Estas regiões são as que apresentam as maiores áreas de degradação da cobertura do solo (CRUZ DIAZ et al 2008).

A erosão tem causado grandes perdas da massa de solo devido ao desenvolvimento inadequado dos sistemas de rotação de culturas pelas lavouras e culturas na direção da inclinação mais acentuada, ao uso de sistemas de aspersão de alta pressão com uma incorreta fundamentação técnica, à eliminação da drenagem natural da água a fim de realizar a tipificação dos campos, aos padrões de irrigação que excedem a capacidade de infiltração do solo causando o escoamento superficial; à mecanização de áreas com solos rasos e culturas e à procedimentos que provocam a denudação dos solos (CITMAb, 2007; CITMA, 2010).

2.4 Degradação dos solos pela erosão hídrica.

A fragilidade do solo, ou seja, sua suscetibilidade à degradação ocorre por propriedades intrínsecas do solo ou por diferentes variáveis no ecossistema, tais como alteração de cobertura vegetal, a severidade do clima ou as características do relevo. A ação humana pode introduzir desequilíbrio especialmente intervindo nas atividades agrícolas sobre a cobertura vegetal, com a má gestão de plantações florestais, com o desenvolvimento industrial inadequado, com projetos de urbanização mal planejados, etc.; intensificando os efeitos dos desastres naturais como tempestades, deslizamentos, inundações.

Uma vez degradado, o solo perde sua capacidade produtiva, e necessita cada vez mais da adição de nutrientes para equilíbrio de sua fertilidade e garantia de boas colheitas. Em geral, o desempenho diminui à medida que se vai deteriorando o solo.

A degradação pode se manifestar por meio de múltiplas alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A degradação química pode ser causada por vários fatores: perda de nutrientes, acidificação, salinização, sodicidade, aumento da toxicidade pela liberação ou a concentração de determinados elementos químicos.

Deterioração do solo é, por vezes, um resultado da degradação física: perda de estrutura, aumento da densidade aparente, permeabilidade reduzida ou diminuição da

capacidade para reter água. Isso pode ser produzido pelas repetidas lavragens da terra (desagregando as partículas) ou pelos solos em pousio expostos à erosão (causando perda de matéria orgânica e água), ou também pela compactação devido à passagem de máquinas e animais.

Outras vezes a degradação do solo é biológica, ocorrendo quando há uma diminuição da matéria orgânica incorporada. Esta degradação ocorre principalmente por um excesso de lavragem do solo em uma área, perdendo a sua matéria orgânica por erosão.

A erosão, a compactação e o aumento da salinidade do solo são os maiores problemas relacionados ao manejo inadequado e estarão diretamente relacionadas à escassez de alimentos num futuro não muito distante, resultando num profundo desequilíbrio do sistema produtivo, caso práticas corretas não forem adotadas.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008) as terras agrícolas tornam-se gradualmente menos produtivas por quatro razões principais:

- Degradação da estrutura do solo;
- Diminuição da matéria orgânica;
- Perda de solo e
- Perda de nutrientes.

Estas razões são, basicamente, os efeitos do uso e manejo inadequado do solo e da ação da erosão acelerada.

A erosão é um processo natural caracterizado pela perda seletiva de materiais do solo, onde os materiais das camadas superficiais são arrastados pela ação da água ou do vento. A erosão causada pela ação da água é denominada erosão hídrica enquanto a erosão eólica é aquela causada pela ação do vento. A ação de ambos os agentes, água e vento, é favorecida em áreas com declividade acentuada ou que não possuem cobertura vegetal suficiente para promover a redução da erosão.

Em geral, quando se trata de erosão do solo refere-se à erosão antrópica (ação humana), que é de desenvolvimento acelerado. No entanto, é necessário ressaltar a existência da erosão natural ou geológica, que diferentemente da erosão antrópica é de evolução muito lenta.

A erosão geológica sempre existiu na Terra, e é responsável pelo modelado dos

continentes. Seus efeitos são compensados no solo, pois eles atuam com suficiente lentidão para que suas conseqüências sejam compensadas pela velocidade de formação do solo. Assim, o solo de superfície estável é formado, pelo menos, na mesma velocidade pela qual é erodido.

A erosão hídrica é causada pela dispersão e transporte de solo devido ao impacto das gotas de chuva, em conjunto com o escoamento superficial da água. A intensidade desse processo depende principalmente dos seguintes fatores e suas interrelações: quantidade e intensidade de precipitação, propriedades intrínsecas do solo, declividade e área da terra, vegetação e implementação ou não de medidas preventivas para a conservação do solo.

A perda da camada superficial do solo por erosão hídrica é o tipo mais comum de degradação do solo. Ela ocorre em quase todos os países, sob uma grande variedade de condições climáticas, físicas e de uso da terra. Como o solo é normalmente rico em nutrientes, uma quantidade relativamente grande de nutrientes é perdida com a ação da água sobre a superfície contribuindo dessa maneira para o processo de empobrecimento do solo. A perda de solo em si é precedida, muitas vezes, por compactação e/ou crostas, causando uma diminuição na capacidade de infiltração do solo, que por sua vez colabora para aceleração de escoamento superficial; e como conseqüência, acelera o processo de erosão do solo. Este processo limita o crescimento e desenvolvimento das culturas, reduzindo a quantidade de terras disponíveis para exploração das raízes, diminui as reservas de umidade e nutrientes no solo e expõe os horizontes inferiores menos férteis do perfil. A camada de solo fértil que cobre a terra agrícola tem apenas cerca de 15 a 20 cm de espessura.

A erosão é a remoção do solo pela água ou vento a velocidades superiores à formação do solo, Erosão não é apenas uma "doença" do solo, mas também da paisagem porque inclui a vegetação, o clima, etc. e é causada por uma série de fatores, incluindo, a chuva, o solo, a topografia e a cobertura da vegetação. O primeiro não pode ser controlado; no entanto, os outros três podem sofrer influências externas de forma a acelerar os processos erosivos que ocorrem no solo. A gestão adequada dos mesmos é a base para a conservação do solo (CARLSON e RONCEROS, 1987).

As características da precipitação de maior importância, do ponto de vista da

erosão são a intensidade, a duração e a frequência com a qual as chuvas ocorrem.

A intensidade de chuva pode colaborar com a aceleração dos processos erosivos do solo à medida que esta pode causar um aumento do escoamento superficial. Tal processo ocorre quando há uma saturação do solo, ou seja, quando a intensidade da precipitação é maior do que a capacidade de infiltração do solo.

A característica do solo de maior importância considerado na erosão é sua permeabilidade. Geralmente, os solos argilosos (pesados) ou com uma camada dura são mais suscetíveis à erosão, devido à sua baixa permeabilidade. Solos com alto teor de matéria orgânica são bem mais resistentes à erosão porque a matéria orgânica contribui para o aumento da permeabilidade do solo, permitindo que se formem partículas de tamanho maiores no solo que não são transportadas tão facilmente pelo escoamento superficial.

As características da topografia do terreno têm um impacto significativo sobre a taxa de erosão do solo pelos agentes da água e da gravidade. Os aspectos importantes incluem a inclinação, comprimento, aspecto e forma. O efeito do relevo na erosão é praticamente inexistente em áreas plana, sendo que apenas em áreas de encostas, o escoamento pode causar erosão.

Na topografia do solo, as características mais importantes a serem consideradas são o grau de inclinação e comprimento da encosta, pois estes fatores têm influência direta na velocidade do escoamento. Quanto mais acentuada seja a inclinação ou comprimento da encosta, maior será a velocidade do escoamento e, portanto, seu poder erosivo. Algumas alternativas para redução da declividade e da extensão da encosta podem ser a construção de terraços e de barreiras ao longo das linhas de contorno e da agricultura de contorno.

As características do solo que determinam o que pode acontecer com a precipitação são a permeabilidade e estado de saturação. A baixa permeabilidade do solo tende a maior escoamento. A velocidade da água é fundamental quando se trata da erosão causada pelo escoamento.

A relação entre a velocidade de escoamento e seu poder erosivo é geométrico. Isto é, dobrando a velocidade de escoamento, aumenta-se em quatro vezes o seu poder erosivo; e se, por exemplo, aumentamos a velocidade de escoamento em três

vezes, teremos seu poder erosivo aumentado em nove vezes. Em termos de material arrastado, ao duplicar a velocidade de escoamento aumenta-se em 32 vezes a quantidade de sedimentos a ser transportados (CARLSON e RONCEROS, 1987).

A cobertura do solo exerce um forte impacto moderador sobre a dissipação de energia fornecida pelos agentes de erosão do solo. O estabelecimento de vegetação, sejam as árvores, arbustos ou ervas ajudam a proteger o solo da erosão hídrica. Isso amplia o período de infiltração, reduzindo o escoamento superficial durante as tempestades menores.

O processo da erosão é modificado pelo ambiente biofísico composto pelos fatores antes mencionados e a interação entre eles conforme pode-se observar na Figura 2.1.

A susceptibilidade do solo aos agentes de erosão, é determinada pelas propriedades inerentes do solo, tais como: textura, estrutura, conteúdo de matéria orgânica do solo, minerais de argila, cátions trocáveis, retenção de água e as propriedades de transmissão. A erodibilidade do solo é uma propriedade dinâmica e está influenciada pelo manejo (LAL, 2001).

A erosividade está influenciada por fatores ambientais, principalmente climáticos, incluindo distribuição do tamanho das gotas e intensidade da chuva, quantidade e frequência da chuva, quantidade e velocidade de escoamento e velocidade do vento. Outro fator ambiental não climático que afeta a erosividade é a reação química que leva à dissolução por intemperismo.

O efeito dos processos biofísicos rege a erosão do solo influenciado por causas econômicas, sociais e políticas (Figura 2.1). As causas sociais que podem acentuar a taxa de erosão induzida pela degradação do solo incluem a agricultura de subsistência ou baseada em recursos, pobreza e analfabetismo, saúde precária e desnutrição, instabilidade política e pressão demográfica elevada. As causas sociais, econômicas e políticas atuam principalmente no tipo de uso e gestão da terra. Essas causas, em seguida, influenciam a taxa de erosão do solo que determina a gravidade da degradação do solo (LAL, 2001).

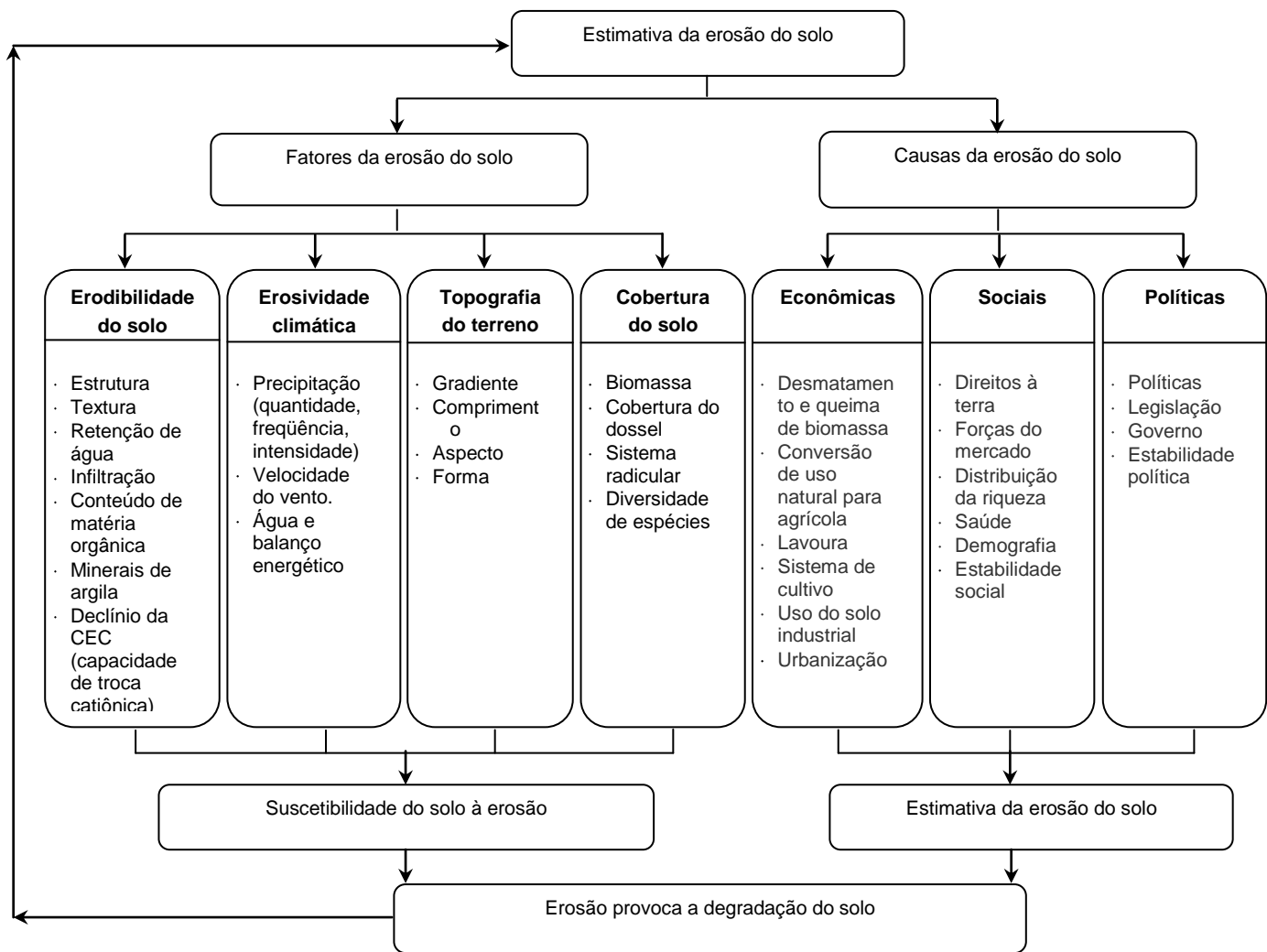


Figura 2.1 Fatores e causas da erosão do solo e sua interação, adaptado de Lal, (2001).

A erosão causada pela água pode ser das seguintes formas: laminar, em sulcos e voçorocas, sendo que as três formas de erosão podem ocorrer simultaneamente no mesmo terreno (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008). Essa classificação se corresponde com as etapas progressivas à concentração de enxurrada na superfície do solo. A erosão laminar é a lavagem da superfície do solo nos terrenos arados; em seguida, é a erosão em sulcos, que é a concentração de água escorrendo em pequenos sulcos nos campos cultivados, e depois a erosão em voçorocas que ocorre quando os sulcos foram bastante erodidos em largura e profundidade. Essa

classificação é apropriada à nossa compreensão, porém omite a erosão por salpicamento ou o efeito do impacto da gota de chuva, que é a primeira e mais importante etapa do processo de erosão.

O solo é um organismo vivo, em contínua atividade, e há diversos fatores envolvidos na utilização dos nutrientes para as plantas. Além dos dados sobre os totais de perdas de solo ocasionados pela erosão, deve-se ter em mente as quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio arrastados pela enxurrada. A remoção de materiais mais grossos como areia e cascalho é muito menos prejudicial que a lavagem do material coloidal orgânico e inorgânico e dos nutrientes em solução. Dessa forma, o índice de erosão deve ser, além de quantitativo, qualitativo.

Os solos das regiões tropicais, com chuvas intensas, estão mais sujeitos a sofrer empobrecimento de bases do que outros elementos nutritivos. A cobertura vegetal e seu manejo adequado são de grande eficiência na redução das perdas de nutrientes e é fundamental no desenvolvimento de um plano de conservação da fertilidade dos solos.

A erosão hídrica do solo é amplamente reconhecida como o principal obstáculo para alcançar uma agricultura sustentável, uma vez que este processo contribui diretamente para a redução do potencial da produção agrícola em todo o mundo.

2.5 Modelos em estimativa de erosão.

A palavra modelo possui inúmeras nuances em seu significado. De modo geral, pode ser compreendido como sendo qualquer representação simplificada da realidade ou de um aspecto do mundo real que seja de interesse ao pesquisador, que possibilite reconstruir a realidade, prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A definição que ainda permanece como sendo uma das mais adequadas estabelece que:

“modelo é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade”, (HAGGETT e CHORLEY, 1967; 1975) apud CHRISTOFOLETTI (1999, p 8).

Um modelo pode ser uma teoria, uma lei, uma suposição, uma equação, ou até mesmo uma ideia estruturada (CHORLEY & HAGGETT, 1975).

De acordo com a literatura, existem algumas vantagens na utilização dos modelos (DeCoursey, 1991; De Roo, 1993)

- A hipótese expressa em termos matemáticos pode fornecer uma descrição quantitativa e compreensão dos processos químicos, biológicos e hidrológicos;
- Modelos matemáticos podem proporcionar um quadro conceitual completo que pode ajudar a identificar áreas onde existe uma falta de conhecimento, e poderia estimular novas ideias e abordagens experimentais;
- Modelos matemáticos podem ser uma boa forma de dar uma receita para que o conhecimento da pesquisa esteja disponível em uma forma fácil de utilização para o usuário;
- Os benefícios econômicos dos métodos sugeridos pela pesquisa podem ser pesquisados e ressaltados freqüentemente por um modelo estimulando assim a adoção de melhores métodos de previsão;
- A modelagem pode levar a menor experimentação *ad hoc*, como os modelos tornam muitas vezes mais fáceis os desenhos de experimentos para responder a perguntas específicas, ou para discriminar entre alternativas;
- Em um sistema com vários componentes, um modelo fornece uma maneira de reunir conhecimentos sobre as partes, proporcionando assim uma imagem coerente do comportamento do sistema como um todo;
- A modelagem pode ajudar a fornecer apoio estratégico e tático para um programa de pesquisa motivando os cientistas e promovendo a colaboração;
- Um modelo pode fornecer um poderoso meio para resumir os dados, e também um método de interpolação e extrapolação conservador;
- Os dados são cada vez mais precisos, e ao mesmo tempo mais caros . Um modelo pode, às vezes, fazer o uso dos dados de forma mais eficiente (por exemplo, a altitude pode ser usada para calcular o gradiente do declive, exposição das vertentes, curvatura, padrão drenagem, e bacias hidrográficas);

- O poder preditivo de um modelo bem sucedido pode ser utilizado de várias maneiras: atuando na atribuição de prioridades em pesquisa e desenvolvimento, gestão e planejamento, dentre outros;
- Os modelos validados pelos dados coletados experimentalmente podem fornecer um mecanismo para transferencia de dados de uma área de estudo para outras áreas com menor disponibilidade de dados.

A modelagem constitui um procedimento teórico envolvendo um conjunto de técnicas com a finalidade de compor um quadro simplificado e inteligível do mundo, como atividade de reação do homem perante a complexidade aparente do mundo que o envolve.

A modelagem no campo dos sistemas de informação geográfica envolve representação simbólica das propriedades locacionais (onde), assim como dos atributos temáticos (o que) e temporais (quando) descrevendo as características e condições do espaço e tempo (BERRY, 1995) em CHRISTOFOLETTI (1999).

Os conceitos relacionados com os sistemas e modelos encontram-se subjacentes em todos os procedimentos da modelagem de sistemas ambientais, e expressam perspectivas ligadas com as maneiras de se conceber a estruturação e funcionamento dos fenômenos da natureza, tendo como base as visões de mundo (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A modelagem do processo de erosão é uma importante ferramenta no desenvolvimento de avaliações confiáveis de predições de perdas de solo e, ainda, para o planejamento de medidas de controle do referido fenômeno.

Os principais componentes destes modelos de erosão são baseados no princípio da equação universal de Perda do Solo (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1978), a qual relaciona a quantidade total de perda de solo com seis fatores: erosividade da chuva, textura do solo, comprimento e inclinação da vertente, cobertura vegetal e práticas de conservação do solo.

Desde meados dos anos 70 muitos modelos de sistemas de erosão tem sido desenvolvidos principalmente para predizer os efeitos das diferentes técnicas de produção e rotação das culturas na superfície deslave e a perda de solo em terras

aráveis.

Atualmente, existem muitos modelos que permitem a quantificação dos processos de erosão. O modelo CREAMS (KNISEL, 1980), ANSWERS (BEASLEY et al, 1980), SWRRB (WILLIAMS et al., 1985; ARNOLD et al., 1990), AGNPS (YOUNG et al., 1986), EPIC (WILLIAMS, 1984) e SWAT (ARNOLD et al., 1998) são provavelmente os mais importantes.

Em nossa análise podemos agrupar os modelos naqueles que trabalham no nível da parcela como GUEST (ROSE et. al., 1997), CREAMS (KNISEL, 1980), GLEAMS (LEONARD et al., 1987), EPIC (WILLIAMS, 1985).

Existem modelos que usam valores diários de predição e outros que trabalham em escala anual como o USLE (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Há também os modelos descontínuos que trabalham exclusivamente no nível de eventos meteorológicos pontuais como LISEM (DE ROO et al., 1994), EUROSEM (MORGAN et al., 1998), ANSWERS (BEASLEY et al,1980) e AGNPS (YOUNG et al,1986), assim como, modelos contínuos como o WEPP (FOSTER et. al., 1985); e o SWAT (ARNOLD et. al., 1998) com base em processos físicos hidrológicos.

Dependendo da forma matemática que leva a descrição dos processos físicos simulados, os modelos de erosão podem ser classificados em três categorias (MERRITT et al, 2003, ALATORRE, 2009.): i) empíricos ii) conceituais e iii) de base física (ver Tabela 2.6).

Os modelos empíricos são geralmente os mais simples baseados na análise estatística de um conjunto de observações. Eles são baseados na acumulação de informações quantitativas de instalações experimentais e monitoramento de campo. Geralmente, os modelos empíricos são preditivos e principalmente do tipo métrico estático, ou seja, não fornecem uma visão dinâmica do processo, mas destinam-se as previsões de valores médios em longo prazo.

Os primeiros estudos empíricos tentando relacionar a perda de solo a diferentes fatores, tais como chuva ou formas de gestão forma desenvolvidos nos Estados Unidos nos anos 30 do século XX. A grande maioria dos modelos de erosão de tipo empírica utilizados hoje é derivada da USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A USLE avalia a perda de solo médio em um ano produzido por erosão hídrica por fluxo laminar e em

sulcos em áreas onde não há formação de voçorocas, sendo projetado para parcelas agrícolas com uma área de até um hectare.

Apesar de sua popularidade, os modelos empíricos têm sido amplamente criticados, embora sejam frequentemente mais utilizados que os modelos mais complexos, uma vez que eles podem ser implementados em situações em que a principal limitação é a falta de dados para alimentar o modelo. Além disso, permitem uma primeira abordagem para identificar as causas e fontes da erosão.

Modelos conceituais destinam-se a descrever os principais processos físicos que governam a erosão, pois eles são baseados em uma conceituação dos mecanismos subjacentes de desprendimento e transporte de partículas, e em uma representação do sistema de erosão como uma série de armazenamento temporário de materiais interconectados.

As relações de transferência de massa entre os diferentes armazenamentos são determinadas por equações matemáticas genéricas e são controlados por parâmetros que devem ser determinados pela calibração a partir de dados observados, tais como escoamento e concentração de sedimentos.

A maior dificuldade associada com o uso de modelos conceituais é a determinação dos valores dos parâmetros, uma vez que estes geralmente não correspondem aos parâmetros físicos mensuráveis e devem ser ajustados por um processo de calibração. É necessário estabelecer um equilíbrio entre a complexidade do modelo (número de parâmetros) e a melhoria que ocorre no grau de ajuste das previsões.

No entanto, os modelos conceituais desempenham um papel importante entre a concepção empírica e física. Embora os modelos conceituais tendam a apresentar os resultados de maneira agregada e fornecer um baixo nível de detalhes sobre os processos internos do sistema são capazes de descrever os processos fundamentais que regem a erosão. Esta é a principal característica que distingue os modelos conceituais dos empíricos, porque os últimos baseiam-se principalmente na previsão tendo em conta as relações observadas entre as diferentes variáveis e não fornecem uma descrição dinâmica dos processos.

Os modelos de base física, são fundamentados em leis físicas que controlam as

relações entre os diferentes parâmetros e processos de erosão e transporte de sedimentos observados e sua descrição através de equações que governam a transferência de massa, momento e energia.

Geralmente, os processos incorporados aos modelos de erosão de base física incluem o desprendimento das partículas pelo impacto das gotas de chuva e a tensão de cisalhamento exercida pelo escoamento superficial, o transporte por impacto das gotas de chuva e o transporte e sedimentação pelo escoamento laminar e concentrado em ravinas.

Os modelos de base física são desenvolvidos a partir da década de 70 do século XX, coincidindo com o aumento da capacidade da computação numérica. Uma vez baseados em equações universalmente válidas e seus parâmetros têm um significado físico, os modelos de base física podem, em teoria, ser aplicados a partir de medições diretas dos valores dos parâmetros sem ter que recorrer à calibração a partir de registros empíricos.

Em geral, os modelos de base física são baseados em uma representação espacial distribuída, seja na forma de grade regular (grid) ou irregular (triangular irregular network, o TIN), que permite a implementação de equações de conservação de massa e momento por diferenças finitas ou elementos finitos, respectivamente. Por isso, estes, exigem a introdução de um grande número de parâmetros, especialmente bem distribuídos.

Em princípio, os modelos de base física não apresentam problemas na sua extrapolação para áreas geográficas com características diferentes, apesar de que deve assegurar-se que a descrição dos processos físicos que se faz no modelo se ajuste às condições da nova área de estudo. Por ter como base equações de validade universal e parâmetros com significado físico, os modelos de base física permitem a predição de erosão em diferentes cenários de clima e uso da terra e o estudo dos efeitos de mudanças nos fatores externos, tais como a mudança climática.

A distinção entre os diferentes tipos de modelos pode não ser muito clara, porque o mesmo modelo pode exibir uma combinação de algumas das categorias acima.

Tabela 2.6 Modelos de erosão e transporte de sedimentos.

Modelo	Tipo	Escala espacial	Escala temporal	Resultados	Referencia (ano)
USLE	Empírico	Parcela/Encosta	Anual	Erosão	Wischmeier e Smith, 1965, 1978
MUSLE	Empírico	Bacias	Evento	Produção de sedimentos	Williams, J.R, 1975
ANSWERS	Físico	Peq. bacias	Evento/contínuo	Escoamento, pico máximo, erosão, sedimentos produção de sedimentos.	Beasley et. al., 1980
HSPF	Conceitual	Bacia	Contínuo	Escoamento, taxa de escoamento, carga de sedimentos	Johansen et. al., 1980, 1984
AGNPS	Conceitual	Peq. bacias	Evento/contínuo	Escoamento, pico máximo, erosão, produção de sedimentos.	Young et. al., 1986
SLEMSA	Empírico	Parcela/Encosta	Anual	Erosão	Elwell e Stocking, 1982; Stocking et al., 1988
SWRRB	Físico	Peq. bacias	Contínuo	Carga pontual de sedimentos, qualidade de água.	Williams et al 1985, Arnold et al, 1990
CREAMS	Físico	Parcela	Evento/contínuo	Erosão, deposição	Knisel, 1980; Knisel, 1995
GLEAMS	Físico	Parcela	Evento/Contínuo	Escoamento, erosão, produção de sedimentos, transporte de nutrientes e pesticidas.	Leonard et al, 1987; Knisel, 1993
KINEROS/ KINEROS2	Físico	Encosta/ Bacia	Peq. Evento	Escoamento, pico máximo, erosão, produção de sedimentos.	Woolhiser et. al., 1990; Smith et. al., 1995
EPIC	Físico	Parcela	Evento/contínuo	Erosão	Williams et al, 1984; Sharpley e Williams, 1990
MMF	Empírico/ Conceitual	Encosta/ Bacia	Peq. Anual	Escoamento, erosão	Morgan et. al., 1984; Morgan, 2001
PESERA	Físico	Encosta/ regional	Contínuo	Escoamento, erosão,	Kirkby et. al., 1987, 2000

				sedimentos.	
IHACRES-WQ	Empírico/Conceitual	Bacia	Contínuo	Escoamento, carga de sedimentos.	Jakeman et. al., 1990; Jakeman e Hornberger, 1993
THORNES	Conceitual/empírico	Encosta/Bacia	Peq. Anual	Escoamento, erosão	Thornes, 1985, 1990
TOPOG	Físico	Peq. bacias	Contínuo	Risco de erosão, escoamento, pico máximos solutos, produção de sedimentos.	CSIRO Land and Water, TOPOG Homepage
WEPP	Físico	Encosta/Bacia	Peq. Contínuo	Escoamento, produção de sedimentos, perda do solo.	Foster et. al., 1985; Lane et al, 1987; Laflen et. al., 1989; Flanagan et al, 1999
RUSLE	Empírico	Parcela/Encosta	Anual	Erosão	Renard et. al., 1991, 1994, 1997.
PERFECT	Físico	Parcela	Contínuo	Escoamento, erosão	Littleboy et. al., 1989, 1992
MEDALUS	Físico	Encosta	Contínuo	Erosão	Kirkby et al., 1994
SWEAP	Empírico	Parcela/Encosta	Anual	Erosão	Van den Berg e Temple, 1995
SWAT	Físico	Bacia	Contínuo	Escoamento, pico máximo, erosão, produção de sedimentos.	Arnold et. al., 1998
IQQM	Conceitual	Bacia	Contínuo	Escoamento, sedimentos, oxigênio dissolvido demanda biológica de oxigênio.	DLWC, 1995
EROSIÓN 3D	2D-Físico	Bacia	Evento	Escoamento, erosão, sedimentos.	Schmidt et. al., 1991, 2001
LISEM	Físico	Peq. bacias	Evento	Escoamento, sedimentos	de Roo et. al., 1994; de Roo e Offermans, 1995; de Roo et. al., 1996
RUSLE-3D	Empírico/Conceitual	Bacia	Anual	Erosão	Mitasova et. al., 1996;

					Mitas e Mitasova, 1998
USPED	Empírico/Conceitual	Bacia	Evento/anual	Erosão, deposição	Mitasova et al., 1996; Mitas e Mitasova, 1998
SHETRAN	Físico	Bacia	Evento	Escoamento, pico máximo, sedimentos, produção de sedimentos.	Abbott et al., 1986; Bathurst, 1986; Ewen et al., 1990, 2000
LASCAM	Conceitual	Bacia	Contínuo	Escoamento, sedimentos	Sivapalan, et al. 1996
GUEST	Físico	Parcela	Contínuo	Escoamento, concentração de sedimentos	Rose et al., 1997
MIKE-11	Físico	Bacia	Contínuo	Produção de sedimentos, escoamento.	DHI, 1998
EUROSEM	Físico	Peq. bacias	Evento	Escoamento, erosão, sedimentos.	Morgan et al., 1998
SWIM	Físico	Bacia/regional	Contínuo	Escoamento, nutrientes e ciclo do carbono, descarga, erosão.	Krysanova et al, 1998
SPL	Empírico/Conceitual	Bacia	Anual	Erosão fluvial, incisão em rios.	Stock e Montgomery, 1999; Whipple e Tucker, 1999
SEAGIS	Empírico/Conceitual	Bacia	Anual	Erosão, produção de sedimentos.	DHI, 1999
WATEM	Conceitual	Bacia	Anual	Erosão	Van Oost et al., 2000
SEDNET	Conceitual/empírico	Bacia	Anual/contínuo	Sedimentos em suspensão, contribuição do fluxo superficial, processos de regos e ravinas.	Prosser, et al 2001; Wilkinson et al., 2005
EMSS	Conceitual	Bacia	Contínuo	Escoamento, carga de sedimentos.	Vertessey et al., 2001; Chiew e Scanlon, 2001
STREAM	Conceitual	Bacia	Evento	Escoamento e erosão	Cerdan et al., 2001
CASC2D-SED	Físico	Peq. bacias	Evento/contínuo	Escoamento, pico máximo, erosão e sedimentação separando as	Julien e Saghafian, 1991; Rojas e Julien,

				partículas por tamanhos.	2002
AGWA	Conceitual/físico	Bacia	Contínuo	Escoamento, pico máximo, erosão, produção de sedimentos.	Burns et. al., 2004, 2007

Fontes dos dados: Adaptado de ALASTORRE e BEGUERIA (2009), MERRITT et. al., (2003).

Modelos empíricos, baseados na USLE, como a MUSLE e a RUSLE, respectivamente USLE Modificada e Revisada, que necessitam de dados monitorados *in situ*, vêm sendo aplicados a bacias hidrográficas. Estes modelos têm sido usados na Europa e Austrália para descrever o fenômeno do transporte de sedimentos em microbacias hidrográficas, demonstrando razoável poder de predição (GELER, 2000).

Além das variadas aplicações, a USLE e a RUSLE não prevê o transporte ou a deposição de sedimentos, sendo que os resultados prevêm apenas a susceptibilidade à perda de solo nas áreas onde são aplicados. No intuito de simular outros processos, torna-se necessário o uso de modelos que compreendam, de maneira direta, um maior número de processos.

A MUSLE é uma modificação da Equação Universal de Perda de Solos (USLE) que, ao contrário da última, desenvolvida para a estimativa da erosão média em vertentes (Wischmeier & Smith, 1978), é usada na estimativa do aporte de sedimento no exutório de uma determinada bacia em um dado evento (Williams, 1975). A MUSLE é um modelo empírico, que requer a estimativa adequada de suas variáveis, bem como a calibração de seus parâmetros para as condições locais.

Além disso, embora a USLE na sua concepção fosse desenhada para aplicar-se em pequenas encostas, a sua utilização em modelos de bacias (como o EPIC) prova seu valor para aplicação a escala de bacia hidrográfica. Portanto, a USLE é utilizada nos cálculos de erosão, tanto de forma isolada como integrados em outros modelos mais complexos como AGNPS ou SWAT.

Outro modelo para a previsão de perdas de solo é o chamado SLEMSA (Soil Loss Estimation Model for South África), desenvolvido em Zimbábue por Elwell e Stocking em 1982. Este método é bem mais simplificado e possibilita sua aplicação mesmo na ausência de dados locais, embora os resultados sejam menos precisos. Esta

equação tem três termos, os quais levam em conta a capacidade da chuva de provocar erosão, susceptibilidade do solo de ser erodido, um fator topográfico e outro que considera a cobertura do solo.

Em sistemas complexos como as bacias hidrográficas, combinando processos naturais como precipitação, evapotranspiração, deflúvio superficial e subterrâneo com fatores relativos às atividades humanas tais como desmatamento, produção agrícola e construção de represas, é impossível uma representação completa de cada processo associado ao ciclo hidrológico, à erosão e à produção e destino dos sedimentos.

Atualmente, se desenvolvem uniões de modelos, principalmente hidrológicos, e modelos de erosão em nível de parcela (ou sub-bacias homogêneas) e ao nível de bacia. Os modelos em nível de bacia geralmente contêm o modelo ao nível de parcela (ou sub-bacias) como sub-módulo.

Modelos/programas descritos na literatura que se relacionam com o problema da erosão em conexão com a modelagem hidrológica são:

- ANSWERS soil erosion model (BEASLEY et. al., 1980)
- AGNPS - Agricultural Nonpoint Source Pollution Model (YOUNG et al, 1986)
- CREAMS (Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems) KNISEL (1980, 1995)
- GLEAMS - Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems (LEONARD et al, 1987; KNISEL, 1993)
- EPIC - Environmental Policy Integrated Climate - antes conhecido como Erosion Productivity Impact Calculator (WILLIAMS et al, 1984; SHARPLEY e WILLIAMS, 1990)
- SWRRB - Simulator for Water Resources in Rural Basins (WILLIAMS et al 1985, ARNOLD et al, 1990)
- KINEROS (KINematic Runoff and EROsion Model), WOOLHISER et. al., 1990; SMITH et. al., 1995.
- WEPP - Water Erosion Prediction Project (FOSTER et. al., 1985; LANE et al, 1987; LAFLEN et. al., 1989; FLANAGAN et al,1999)
- MEDALUS- Família de modelos: MEDBRUSH e CSEP. (KIRKBY et al., 1994)

- LISEM - Limburg Soil Erosion Model (DE ROO et. al., 1994; DE ROO e OFFERMANS, 1995; DE ROO et. al.,1996)
- SHETRAN (ABBOTT et al., 1986; EWEN et al., 2000)
- GUEST - Griffith University Erosion System Template (ROSE et al, 1997)
- SWAT - Soil and Water assessment Tool (ARNOLD et al, 1998)
- SWIM (KRYSANOVA et al, 1998)
- EUROSEM - European Soil Erosion Model (MORGAN et al 1998)

A análise da erosão dos solos com base na ação dos processos hidrológicos constitui um tema recorrente no setor da modelagem apresentando ampla gama de modelos. Existem diversos modelos aplicáveis a bacias hidrográficas que simulam a hidrologia e os processos erosivos, tais como, ANSWERS, AGNPS, KINEROS, EUROSEM, WEPP, LISEM e SWAT.

2.6 Modelos hidrológicos e sua integração em SIG

Para a utilização dos modelos citados anteriormente, torna-se necessário o uso de ferramentas como SIG (Sistemas de Informação Geográfica) pelas funcionalidades que estas têm e que os tornam em elemento importante na modelagem de processos hidrosedimentológicos em bacias hidrográficas.

Um sistema de informação geográfica (SIG), também conhecido como sistema de informação geoespacial é qualquer sistema para gerenciamento de dados de captura, armazenamento, análise de dados e atributos associados espacialmente referenciados à Terra.

A função de um Sistema de Informação Geográfica é melhorar nossa capacidade de tomada de decisões. Um sistema de informação é a cadeia de operações que conduz desde o planejamento de observação e coleta de dados até seu armazenamento e análise, e depois a utilização das informações obtidas em qualquer processo decisório (FAOb, 1993).

Os sistemas de informação geográfica emergiram como poderosas ferramentas para manipular e analisar grandes volumes de dados, estatísticos, espaciais e temporais, que são necessárias para gerar de maneira flexível, versátil e integrada, produtos de informação, sejam mapas ou relatórios, para a tomada de decisões sobre a

gestão e o uso da terra, dentre outras aplicações.

O desenvolvimento de bancos de dados espaciais, juntamente com sistemas de informação geográfica (SIG) e os avanços na modelagem hidrológica distribuída tem sido um tremendo progresso na análise detalhada da distribuição espacial dos recursos hídricos e sistemas de água desde o início de 1990.

O rápido desenvolvimento da tecnologia da informação durante a última década criou uma oportunidade única para o desenvolvimento de tais ferramentas na forma de sistemas de informação de recurso terra, com múltiplos propósitos, que podem ser usados para geração rápida e eficiente de vários tipos de informações, de acordo com as necessidades dos diferentes usuários. Estes sistemas contêm bases de dados, modelos, sistemas, de suporte à decisão e interfaces de usuário para facilitar a sua operação (FAO, 1997).

Além disso, as ferramentas SIGs podem ser usadas para muitas finalidades, tais como a realização de análise de sensibilidade sobre os modelos, anipulando as variáveis de entrada, e o estudo de uma bacia a diferentes escalas / resoluções e seus efeitos sobre a precisão do modelo de previsão.

Neste contexto, o SIG é um elemento importante de integração, cujo valor deriva da sua capacidade para a funcionalidade dinâmica baseada nas seguintes características principais:

1. capacidade de computação física para manipular os dados, incluindo a sobreposição, integração e segregação;
2. capacidade de analisar os dados e formulação de hipóteses para testar suposições, definindo as relações potenciais e desenvolvimento de teorias;
3. capacidade de relacionar posições bidimensionais e tridimensionais da superfície da terra, atmosfera e litosfera / hidrosfera / ecosfera, bem como processos quatro-dimensionais dinâmicos (espaço/tempo), representando operações funcionais de sistemas de avaliação, planejamento, e controle dos recursos naturais.

A integração entre SIG e modelos não impede que os dois componentes sejam desenvolvidos separadamente. Assim, os vários mapas gerados pelo SIG podem ser usados para transferir aos modelos os dados básicos que eles precisam, e retornar os

resultados de volta para o SIG. Em outras palavras, os SIG criam as bases de dados para os modelos e vice-versa, e os resultados dos modelos transferidos para o SIG para sua posterior representação gráfica.

A integração do SIG com os modelos hidrológicos e a sua aplicação em estudos de bacias hidrográficas permite a realização de um grande número de operações, como o projeto, calibração, simulação e comparação entre os modelos, com uma grande vantagem que é a velocidade de processo dessas operações. O uso do SIG permite, portanto, subdividir a bacia hidrográfica em subáreas homogêneas, que através dos resultados georreferenciados contribuem com o avanço quantitativo na caracterização dos parâmetros hidrológicos e no apoio à decisão no contexto da decisão da gestão eficiente da ocupação do solo e dos recursos hídricos (MELO et al., 2008).

Os Sistemas de Informação Geográfica desempenham um papel fundamental neste contexto, não só na integração de informações, mas também na capacidade de processamento espacial, pois possibilitam a extração automatizada dos parâmetros a serem incluídos na modelagem, ao mesmo tempo em que permitem a recuperação das saídas dos modelos e representação em ambiente SIG.

O Modelo Numérico de Terreno (MNT), que é definido como uma matriz (raster) de números que representam a distribuição geográfica de elevações (MOORE et al., 1991), é um dos principais componentes de toda a integração, pois dele derivam vários produtos que são de fundamental importância para todo o processo, tais como: declividade, exposição das vertentes, direção do escoamento, fluxo acumulado, delimitação da bacia e sub-bacias e definição da rede de drenagem.

A integração SIG-modelo, pode ser realizada de diferentes formas, desde uma muito simples em que o SIG é usado para preparar a entrada do modelo e analisar seus resultados, a uma completamente desenvolvida em que o SIG incorpora o modelo em si mesmo em suas rotinas, por vezes, com uma interface de usuário, e freqüentemente incluindo *expert systems* e uma base de conhecimento.

Os SIG e os modelos podem ser totalmente integrados ou ligados através de dados e interface.

Segundo SAMANO (2011), a integração de modelos em SIG pode ter diferentes níveis de ligação:

- Mínimo, em que a única interação é para importar e exportar formatos de dados para o intercâmbio.

- Parcial, em que há um elevado grau de interoperabilidade e as possibilidades de partilha formatos de dados.

- Total, onde os modelos numéricos são incorporados à funcionalidade dos SIG ou vice-versa.

2.7 Experiência de Cuba em estudos da erosão dos solos.

Os estudos da erosão em Cuba assumiram relativa importância nos anos 70 e 80 nos trabalhos de levantamento relacionados com o mapa de solos do Instituto do Solo (1973), MINAGRI (Ministerio de Agricultura, 1982), Riverol (1985) e Soca (1987), que foram baseados em estudos de perfis típicos de cada agrupamento (Táxon superior da classificação) de solo, tomando-se como um indicador-chave a relação profundidade relativa dos horizontes genéticos A e B.

Outros especialistas como Hernandez et al. (1980), Ascânio et al. (1983), Pérez et al. (1984) investigaram sobre a erosão em solos Pardos com Carbonatos de Cuba, escolhendo como indicadores, a potencia dos horizontes A e B, o teor de matéria orgânica e a lavagem dos horizontes em perfis padrões. Shepashenko et al. (1982), Shepashenko et al. (1984), Riverol (1989), Riverol e Shepashenko (1989), utilizaram os indicadores de profundidade, composição mecânica, estrutura, teor de húmus, composição do complexo absorvente, e assim por diante, para fazer uma avaliação quantitativa que permitira determinar a resistência antierosão dos principais solos de Cuba, avaliando cada tipo de solo em uma escala de 0 - 100 pontos, apud Vega (2006).

Em geral, os métodos e índices utilizados no trabalho do Instituto de Solo (MINAGRI, 1982) para determinar o grau de erodibilidade dos solos não foram realizados de uma forma abrangente. A profundidade, por exemplo, foi superestimada como índice de diagnóstico fundamental, o que se expressou nos mapas de erosão atual e potencial, produzidos por Riverol (1989) e Riverol e Shepashenko (1989), apud Vega (2006).

Nesta abordagem, foi determinado que os maiores danos por erosão em Cuba estavam localizados na região mais ocidental na província de Pinar del Rio em solos Ferralíticos-cuarcíticos (ultisoles), na região central da área pré-montanhosa do

Escambray com solos Pardos Grisáceos (inceptisoles); e nas regiões pré-montanhas do Leste, em solos Pardos com Carbonatos e sem Carbonatos, de acordo com o mapa atual da erosão dos solos de Cuba (RIVEROL et al, 1989). Tais afirmações são consistentes com estudos relacionados à suscetibilidade dos solos cubanos ao processo de erosão.

Após uma fase inicial de trabalho no diagnóstico da erosão, o Instituto de Solos de Cuba, apoiado por sua rede de estações, conduziu estudos nessas regiões para quantificar as perdas de solo pela erosão sob diferentes usos agrícolas e determinar a eficácia das medidas e dos sistemas integrais de medidas, desenvolvidas com base na experimentação em lotes de escoamento superficial, segmentos em micro-bacias e áreas de produção (PEÑA et al 1998).

A primeira experiência em Cuba no uso de modelos de erosão foi desenvolvida em 1986 por Planas para analisar a aplicabilidade da USLE. Em seu estudo foi explicada a metodologia para o cálculo do fator R da equação (erosividade das chuvas) a partir de dados coletados nos pluviógrafos do país que foi a base para a construção de um mapa de isoerosivas na escala 1: 250 000 para toda Cuba.

Em 1999, foi realizado um estudo do comportamento da erosão em Pinos natural, associado e não associado a culturas, determinando-se alguns índices hidrológicos, juntamente com a análise estatística de cada sub-bacia e a correlação entre essas variáveis durante as seqüências de culturas diferentes e entre volume de escoamento superficial e precipitação. O resultado mostrou que o efeito positivo foi a seqüência de culturas na atenuação do escoamento superficial, agindo como uma medida de conservação (PONCE et al., 1999).

Entre os primeiros trabalhos realizados em Cuba no uso, calibração e validação dos modelos agrohídrológicos estão o SWACROP, DRAINMOD, SWAP, MACRO e o STIC. A primeira contribuição foi a utilização em condições tropicais do modelo SWACROP de Wesseling et al., (1989) para estimar o rendimento e uso da água para a batata variedade Desiree em solos lateríticos (RUIZ, 1998, 1999).

Mais tarde, o modelo SWAP (Van Dam et al, 1997) foi calibrado, validado e usado para cana-de-açúcar buscando estimar o rendimento das culturas diante às mudanças do clima, solo ou o plantio. Os resultados da união deste com um sistema de

informação geográfica foram apresentados na Universidade Agrária de Havana e aplicada em áreas de CAI Hector Molina, que também foi usado no México, Venezuela, Equador e Jamaica através de projetos internacionais (RUIZ et al., 2002; UTSET et al., 2003). Estes modelos foram concebidos para estimar o rendimento das culturas, de acordo com Ruiz et al (2006).

Alguns anos mais tarde, Vallejo e Martinez (2000), Geler (2000) e Reyes (2004) retomaram o modelo USLE e RUSLE, implementando-os em aplicações de SIG. Foi realizado o cálculo da erosão hídrica atual em uma área do município de Moa usando o modelo USLE. O cálculo foi feito de forma automatizada utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG) em formato raster por unidades discretas (pixels) 25 x 25 metros. O resultado foi um mapa de perda de solo por erosão hídrica para toda a área industrial de Moa e zonas adjacentes, incluindo quase todos os depósitos lateríticos de níquel da região, onde, segundo Vallejo e Martinez (2000), a maior perda de solo ocorre nos cânions dos rios, já que o grau de erosão hídrica nessas áreas é muito elevado ($> 200 \text{ t / ha / ano}$). A menor perda de solo na área, ou seja, grau leve e moderado (<10 e $10 - 50 \text{ t / ha ano}$, respectivamente), ocorre na zona norte, onde o terreno é suave e os valores de C e K são baixos, com exceção de R que é alto para toda a área de estudo.

Também em 2000 Geler realizou, como parte do programa de mestrado entre o ITC (*International Institute for Geo-information Science and Earth Observation*), WU (*Wageningen University*) e o IGT (*Instituto de Geografia Tropical*), uma aplicação do modelo RUSLE na bacia do rio Sabinal, região Alora, Santa Lucia, Espanha, onde se desenvolveu um modelo dinâmico piloto baseado na equação empírica (USLE) que descreve os riscos de erosão dos solos devido à mudanças na gestão do uso da terra e práticas de conservação. O modelo foi implementado em ambiente SIG, em modo raster (Arc / Info e ArcView), utilizando diferentes cenários de estudo. Os resultados da simulação sugerem que a degradação da paisagem é reduzida quando há adoção de práticas de conservação. Conseqüentemente, a implementação de um modelo dinâmico em um SIG demonstrou a capacidade e confiabilidade destes para a previsão do risco de erosão do solo, quando se muda o uso da terra. Dado esse procedimento, o mapeamento da erosão existente e/ou sua previsão no tempo e no espaço, desempenha um papel importante na determinação da variabilidade espacial dos

fenômenos, tornando-se uma ferramenta essencial para o planejamento da conservação dos solos.

Reyes (2003) desenhou uma aplicação de USLE incorporada ao SIG como uma extensão do software. O aplicativo usa a programação orientada a objeto e manipula as classes espaciais e de atributos, dados vetoriais e, quando necessário, estes são convertidos para formato raster para aproveitar desta forma, as vantagens do modelo raster para as análises espaciais. O aplicativo é apresentado com uma interface semelhante ao resto das extensões do software. Este procedimento é utilizado em estudos realizados na província de Camagüey, com resultados importantes para a compreensão da situação apresentada pelos solos da área e propostas de medidas para promover a sua recuperação.

Outra experiência em estudos de erosão foi realizada utilizando técnicas ^{137}Cs para estimar as taxas de erosão em solos agrícolas na província de Camagüey (BRIGIDO e GARANDILLA, 1999) e no oeste do país, onde os resultados foram validados e comparados com as técnicas tradicionais (GIL et al 2004). Foram usados modelos proporcionais, de balanço massa e de balanço de massa simplificado no cálculo das taxas de erosão, sendo que no último caso, os modelos foram aplicados a três segmentos em uma bacia hidrográfica. Estes modelos permitem a avaliação das taxas de erosão do solo de acordo com os níveis de ^{137}Cs presentes. Para este efeito, identificou-se uma área na província de Pinar del Río, município San Juan y Martínez, relacionada com o cultivo de tabaco. Os resultados mostraram valores da erosão e acúmulo muito semelhantes aos determinados por métodos tradicionais que permitiram identificar a região como uma área com erosão generalizada.

Mais recentemente, Ruiz et al. (2006) usou a RUSLE para quantificar as perdas de solo na bacia do rio Cuyaguaje. Este trabalho foi feito no âmbito de um projeto de cooperação entre a Universidade Agrícola de Havana, GIAF (Cuba) e da Universidade de Ghent (Bélgica), intitulado "Criar capacidades para desenvolver um programa de água e conservação do solo na bacia do rio Cuyaguaje no oeste de Cuba", cujo principal objetivo foi reduzir a degradação da terra e da água e problemas associados à agricultura e ao meio ambiente na bacia do rio Cuyaguaje na província de Pinar del Río.

Nesta bacia podem ser vistas afetações pela degradação do solo, água e paisagem. Os solos da bacia apresentam 43,7% da área física, na categoria de fortemente erodidos e 34,5% ligeiramente erodida, para um total de 78,2% entre pouco a fortemente erodidos. Através do uso das tecnologias de sensoriamento remoto (imagens de satélite Landsat 7) foi determinada a mudança de uso da terra e a influência deste no desenvolvimento do processo de erosão (ACOSTA et al., 2007). Outros fatores de RUSLE, erosividade (R), erodibilidade (K), topografia (LS), (fator C) foram determinados por Almozara et al. (2007), Alonso et al. (2007) e Leal et al. (2007). Esses fatores foram utilizados para determinar a erosão potencial da área a partir dos mapas criados para cada variável. Utilizando a relação de tolerância da erosão do solo foi estimada a perda de potencial risco de erosão, e a partir desses fatores foram criados mapas de cada variável que foram utilizados para determinar a erosão potencial da área. A partir da relação de tolerância da perda de solo com a erosão potencial, foi estimado o risco de erosão. As características topográficas da bacia foram determinadas a partir do MDE, elaborado automaticamente, em ambiente SIG. Em geral, o grau de risco de erosão laminar e em sulcos é muito alto, com valores medios de 1.364 t / ha / ano, influenciado principalmente pela alta erosividade das chuvas predominantes na bacia e típica de todos os países tropicais. Os valores do Fator R obtidos para a bacia Cuyaguaje foram de aproximadamente entre 8.200 e 18.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Os resultados do estudo desta bacia apontaram que aproximadamente 96% da área da bacia está sob o efeito de chuvas com alto potencial erosivo.

No ano de 2006, como parte de uma tese de doutorado, VEGA conduziu um estudo com base em estimativas de erosão hídrica e cársico-erosiva a partir de índices de diagnóstico para avaliar a erosão dos solos Ferralíticos Rojos na província de Havana. Isto sugere um método qualitativo que inclui um Índice de Carsificação, usando a cartografia temática de fatores em SIG.

Vega testou em seu trabalho a execução do método CORINE (1992), para avaliar qualitativamente a erosão potencial e real, exigindo modificações, e incluindo um índice de Carsificación que objetivamente considerasse a influência dos processos de cársico - erosivos. Como resultado, o novo método proposto foi o EVERC (VEGA e FEBLES, 2006). Quantificou-se pela primeira vez em Cuba, a magnitude das perdas

dos solos Ferralíticos Rojos e dos subtipos associados, pelos efeitos da erosão hídrica e cársico - erosiva, utilizando um modelo de erosão empírico: o modelo MMF (MORGAN et al, 1984. e MORGAN, 2001). Foram obtidos como resultado valores que excedem os limites admissíveis em termos de erosão, durante uma seqüência histórica entre 1986-2006, realizada no Centro de Inseminação Artificial "Rosafe Signet", com uma variação média entre 13,4 - 17,4 t / ha / ano, o que mostra o desenvolvimento progressivo dos processos cársico-erosivos. Entre os resultados estão os mapas de riscos de erosão atual e potencial em regiões cársicas da província de Havana pela aplicação do método CORINE (1992), os mapas de risco da erosão atual e potencial na bacia Mampostón, aplicando o método EVERC e a comparação dos resultados com aqueles obtidos pelo método tradicional geográfico-comparativo (FEBLES, 1988; GOUNOU e FEBLES, 1997) em VEGA (2006).

A integração de diferentes métodos, como o geográfico-comparativo, geofísica e morfo-edáficos, e a cartografia temática de fatores ambientais em ambiente SIG, complementados com métodos de erosão, permite avaliar objetivamente e em uma maior escala geográfica a erosão potencial e atual dos solos nas regiões agropecuárias de Cuba, assim como, determinar a sua influência na mudança das propriedades do solo. Este permitira identificar os processos de degradação da terra, com vistas à criação de indicadores de sustentabilidade agro-ecológica nas regiões para uso pecuário (FEBLES e VEGA, 2008).

Outra aplicação da metodologia CORINE (CORINE, 1992) foi realizada na cidade de San Andres, província de Pinar del Rio para determinar índices de erosão dos solos aplicando a análise em um SIG. Com base na distribuição espacial dos valores dos índices foram construídos mapas de índice de erosividade, erodibilidade, topografia e cobertura vegetal para calcular o risco de erosão atual e potencial (DIAZ et al 2008).

Outros trabalhos que não são dedicados diretamente à modelagem da erosão hídrica desenvolvidos por autores como GAREA, 2002, 2003; RIVERO et al., 2002, 2004; CUADRADO, 2005; MOLINA, 2010; PONCE, 2004; BALMASEDA, 2006; BALMASEDA e PONCE, 2007, 2008; VANTOUR et al., 2009) estão relacionados com estudos integrais sobre a degradação e conservação dos solos usando as geotecnologias e aos diagnósticos ambientais territoriais e caracterização dos recursos

do solo (JAIMEZ, et al., 2003, 2004). Há ainda outros trabalhos relevantes que foram destinados a estudos agro-meteorológicos sobre desastres e risco de seca perante as mudanças climáticas, tais como o desenvolvido por Roque (2006) e Solano (2006).

No período de 2001-2003, Garea desenvolveu e validou um método chamado Soma Combinação e Decomposição de Identificadores (GAREA, 2003) para a gestão de informações sobre o solo nas regiões montanhosas de Cuba por técnicas digitais. Neste trabalho foi definido e desenhado o conteúdo das bases de dados espaciais e de atributos e suas formas de integração para implementar o Sistema de Informação de Solo nas regiões montanhosas de Cuba. Foi obtido pela primeira vez a escala de 1:100.000, para o maciço Nipe-Sagua-Baracoa, a partir da síntese e integração sob uma abordagem sistêmica das informações resultantes da investigação conduzida no estudo dos solos na região, buscando o aumento da eficiência no processo decisório em seu uso e conservação.

Em 2004, concluiu-se o desenvolvimento do Sistema Integrado SIMONIT (RIVERO et al., 2004), composto por cinco módulos: informação, soluções, tomada de decisão, monitoramento e análise de impactos. O sistema responde ao problema de como enfrentar, sob um enfoque sistêmico, a degradação dos solos e de outros componentes do meio ambiente, bacias hidrográficas e unidades de produção agropecuária. Aplicou-se o conceito de SIG, combinado com um conjunto de metodologias, novos tipos de saídas e produtos para tomadores de decisão, especialistas e técnicos das unidades de produção. Este sistema no módulo de Tomada de Decisão utiliza o método chamado de Soma Combinação e Decomposição de Identificadores, desenvolvido por Garea (2002, 2003).

O SIMONIT foi validado e posteriormente generalizado para diferentes regiões de Cuba, dentre elas as bacias Guantanamo-Guaso (RIVERO et al., 2002), na planície sul da província Pinar del Rio (GÁLVEZ et. al., 2005), em um setor da bacia hidrográfica do rio Guanabo em Havana (CUADRADO, 2005) em um setor da bacia hidrográfica Almendares-Vento, em Havana (MOLINA, 2006) e mais recentemente na bacia do rio Chambas em Ciego de Ávila (LOPEZ et al., 2008). Nesta última, os resultados obtidos na bacia destacaram que nas seções do sul e centro da bacia, mais de 70% das áreas, têm categorias de erosão desde moderados a muito forte.

Em estudos sobre a degradação do solo, dada à necessidade de saber a quantidade de reservas de carbono orgânico em solos minerais de Cuba, foi projetada e aplicada uma metodologia para a estimativa das reservas de carbono orgânico (RCOs) a partir de informações de perfis de solo e generalização espacial do estoque de carbono calculado. A generalização espacial do cálculo do estoque de carbono para toda Cuba foi alcançada através de um método de interpolação classificatório, utilizando a tecnologia SIG, com base no mapa de solos e no mapa topográfico, ambos em escala 1: 250.000 (PONCE, 2004).

Outros trabalhos tem sido associados com as estratégias a seguir para a inclusão de informações edafológicas na Infraestrutura de Dados Espaciais da República da Cuba, usando mapa do solos nacional a escala 1:25.000 (BALMASEDA, 2006). Este se relaciona com a utilização das normas ISO 19.100 de informação Geográfica e Geomática, para documentar os dados pedológicos, implementando um modelo conceitual e o perfil de metadados das informações edafológicas do Mapa de Solos Nacional, escala 1:25.000. Este modelo facilitará e agilizará o uso desses dados por múltiplos usuários num ambiente em rede dentro dos princípios de interoperabilidade (BALMASEDA e PONCE, 2007, 2008).

Avaliações ambientais territoriais têm sido realizados em vários municípios de Havana. Como um trabalho relevante destaca-se o Atlas ambiental do municipio San Antonio de los Baños, onde se obtiveram diferentes mapas, tais como os de uso agrícola, genético do solo, principais processos de degradação (erosão atual e potencial), agro-produtividade dos solos, uso potencial e aptidão do solo e contaminação dos solos por diferentes causas. Em todos esses estudos o uso de SIG e sensoriamento remoto têm dominado na concepção e implementação de tecnologias avançadas (JAIMEZ et al., 2003, 2004).

Mais recentemente, têm sido realizados estudos agro-meteorológicos sobre desastres e risco de seca perante as mudanças climáticas, onde a seca foi estudada dentro dos problemas ambientais da província de Camagüey. Neste estudo a seca é considerada como um desastre, a partir da qual se obteve um conjunto de mapas utilizando ferramentas SIG, incluindo o mapa de afetações pela seca meteorologica na província, a vulnerabilidade da população diante do referido fenômeno, e o impacto

deste sobre o setor agropecuario, a natureza e a própria economia (ROQUE, 2006).

Estudos para a avaliação científica dos riscos associados com a ocorrência de seca meteorológica e agrícola em Cuba e República Dominicana, foram desenvolvidos como parte de um projeto conjunto entre o Instituto de Meteorologia da República de Cuba e do Bureau Nacional de Meteorologia da República Dominicana, intitulado "Desenvolvimento e Adaptação às Mudanças Climáticas". Neste caso, a aplicação de SIG em Cuba, gerou um grande número de mapas (mais de 1900), onde a maioria deles se encontram em seqüência, com uma extraordinária informação agroclimática digital sobre importantes índices de interesse para a agricultura, entre os quais se destacam, o diagnóstico da seca agrícola, intensificação, espalhão, extensão espacial e temporal da mesma, tanto a nível local e nacional (SOLANO et al., 2006).

Um outro trabalho utilizando tecnologia SIG em estudos dos solos, foi realizado sobre as características edafo-climáticas e zoneamento agro-ecológico das Montanhas de Guaniguanico. O resultado foi um mapa escala 1:100.000 em formato digital dos Agrupamentos e tipos de solos, em ambiente SIG, e os mapas de zoneamento agro-ecológico para a produção de café, culturas mistas, frutas e floresta, e para a quantificação de todas as áreas potenciais para as culturas na região analisada (VANTOUR et al., 2009).

Finalmente, e de grande importância para o país, foi desenvolvido o projeto LADA, que teve como objetivo validar as metodologias para avaliação da degradação da terra em nível local, nacional e global implementado em seis países-piloto em todo o mundo, Senegal, África do Sul, Tunísia, China, Argentina e Cuba.

Os métodos avaliados são baseados em abordagens participativas, multi-disciplinares e combinações de estudos de campo e sensoriamento remoto. Eles têm sido usados para identificar e mapear a degradação da terra, identificar as suas causas diretas e indiretas e as ações para a gestão sustentável dos processos de degradação da terra para deter ou reverter estes processos, através da análise das pressões, do estado, das causas e impactos em cada tipo de uso principal de terra em todo o país. Localmente, o LADA-Cuba realizou um inventário sistemático nas áreas mais representativas de Camaguey, Las Tunas, Granma e Guantánamo, sobre o estado da Terra, em todos os seus aspectos (saúde do solo, quantidade e qualidade da água,

estado da vegetação e da biodiversidade, entre outras coisas) (CITMA / LADA 2010).

Destacam-se, os esforços que o país está fazendo para desenvolver métodos de estudo da degradação das terras, com o progresso, especialmente na última década. No entanto, o uso de modelos hidro-sedimentológicos com base física, apoiada pelas tecnologias SIG e o sensoriamento remoto para avaliar a erosão do solo, é muito pouco difundido, apesar dos benefícios comprovados da utilização destes métodos.

Devido à insuficiência ou falta de estudos nesta área foi levado em conta a necessidade da utilização de modelos hidrológicos de base física para simular os processos hidro-sedimentológicos em bacias hidrográficas superficiais para diferentes cenários de cobertura e uso da terra em diferentes períodos.

2.8 Bacia hidrográfica como unidade básica de estudo

Existe um conjunto de problemas específicos relacionados aos recursos hídricos, tais como: a disponibilidade de água, gestão de bacias hidrográficas, poluição, degradação ambiental, mudanças no uso da terra e desmatamento. Todos estes problemas têm em comum a utilização dos limites das bacias hidrográficas para definir espacialmente uma região. Por exemplo, se o objetivo da gestão é melhorar uma bacia hidrográfica deteriorada para reduzir a erosão e minimizar o escoamento, os próximos passos seriam direcionados para a redução do movimento da água dentro dos canais e para fora da bacia. É importante, neste caso, que se tenha informações precisas sobre a bacia, para que seja possível definir os canais de fluxo e área de influência da mesma.

O conhecimento dos limites físicos de uma bacia de drenagem é importante para a gestão dos recursos, o estudo dos ecossistemas e das mudanças globais. As informações das bacias hidrográficas devem ser conhecidas para a realização de estudos que usam os limites físicos como forma de definir e caracterizar as regiões. Geralmente os dados de limites da bacia têm sido usados para o controle espacial em modelos dos recursos hídricos.

Bacia hidrográfica é um sistema biológico, físico, econômico e social. Este conceito surgiu com a história da humanidade. Ao longo do tempo o crescimento das cidades levou à necessidade de obras hidráulicas pela utilização da água e também gerou a necessidade de preservar e protegê-los dos problemas causados pelo

assoreamento, poluição e alteração do regime hidrológico.

Um conjunto de definições representa uma clara concepção hidrológica do termo bacia, como mostrado por aquele que afirma:

"É uma unidade do território que capta a precipitação, percorre o escoamento superficial até um ponto de saída no canal principal ou é uma área delimitada por uma divisória topográfica que drena para um canal comum" (Brooks, 1985) citado em FAOa (1993, s/p)⁴.

Ao mesmo tempo e sob abordagem semelhante, outros autores argumentam que a bacia hidrográfica "é qualquer área que gera o escoamento a montante de um ponto de referência no rio principal" (Schwartz et al. 1976), citado em FAOa (1993).

Esta visão hidrológica das bacias hidrográficas é entendida como correta, mas um pouco limitada, o que tem servido como justificativa para o desenvolvimento de diversos projetos de ordenamento e gestão. Um caso típico é o desenvolvimento hidroenergético, onde a água, o produto da bacia, é o ingrediente principal.

Ao longo dos anos e a experiência adquirida na gestão de bacias hidrográficas, chegou-se à conclusão que o conceito de bacias hidrográficas continha uma realidade mais complexa, consubstanciado no sentido que a descreve "como um volume de terreno que em sua dimensão vertical é delimitada pela área, até onde o homem tem influências com sua atividade e limitada na sua superfície pelo divisor de água que se fecha no ponto de interesse no canal" (FAOa, 1993).

De acordo com FAUSTINO et al. (2006), é chamada de bacia hidrográfica a área de terreno de drenagem natural onde todas as águas da chuva convergem para um coletor comum de descarga. Os limites de uma bacia hidrográfica são determinados pela linha de "*divortium aquarum*" ou divisor de água. Devemos notar que as fronteiras geográficas (superficial) nem sempre coincidem com os limites do aquífero (subterrâneo), podendo haver transferência de massas líquidas entre uma bacia e outra adjacente ou próxima à linha do divisor de água que começa e termina no ponto mais baixo ou de saída da bacia.

A bacia hidrográfica é também definida como um ecossistema em que interagem

⁴ Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/t0749s/t0749s00.htm#cont>

e se inter-relacionam variáveis biofísicas e sócio-econômicas que funcionam como um todo, com entradas e saídas, limites definidos e estrutura interna de subsistemas aninhados (por exemplo, no sistema biofísico: subsistemas biológicos e físicos). Neste sistema ocorrem entradas como a energia solar, hidráulica, eólica e gases como o CO₂, além disso, ingressam insumos, como sementes, alimentos, tecnologias e outros; ambos dão origem a processos tais como o fluxo de energia, ciclagem de nutrientes, ciclo hidrológico, erosão e atividades produtivas (FAUSTINO et al. 2006).

De acordo com Moreno e Renner (2007) bacia ou bacia hidrográfica significa "a área das águas superficiais ou subterrâneas, que descarregam em uma rede de drenagem natural com um ou mais canais naturais, de fluxo contínuo ou intermitente, que convergem num curso maior, que por sua vez pode levar a um rio principal, em um reservatório natural de água, em um pântano ou diretamente para o mar". Bacia é também definida como "o espaço que nos permite organizar as atividades humanas conhecendo as estruturas sistêmicas que a compõem e compreendendo as relações espaço temporais que a determinam".

Os componentes da bacia são os elementos naturais e os de geração antrópica. Os naturais estão relacionados com os componentes bióticos como o homem, a flora e a fauna, e com os componentes abióticos, como a água, o solo, o ar, os minerais, a energia e o clima".

As bacias hidrográficas são unidades morfográficas superficiais. Seus limites são estabelecidos pela principal divisão geográfica das águas da chuva, também conhecidos como "divisor de águas". Trata-se teoricamente de uma linha imaginária que une os pontos do valor máximo da altura relativa entre duas encostas adjacentes, mas de exposição oposta, a partir da parte mais alta da bacia até o ponto de emissão na zona baixa.

As bacias hidrográficas são utilizadas como unidades de planejamento territorial e são subdivididas em áreas menores chamadas sub-bacias e micro-bacias. Essas subdivisões são feitas pelas diferentes correntes que as compõem.

Todas as bacias hidrográficas têm três áreas ou zonas onde o impacto da água é diferente, embora permaneça uma estreita interação e interligação entre elas:

- A primeira é a parte superior conhecida como a cabeceira da bacia

hidrográfica. Nesta região se dá a maior captação de água da chuva. A parte superior da bacia contribui na regulação e abastecimento de água para o resto do ano e para as outras partes da bacia. Todas as ações que são feitas nesta parte da bacia, sejam boas ou más, geram impactos sobre o restante da bacia.

- A segunda é a parte média da bacia. Geralmente é nesta parte da bacia onde se dão as atividades produtivas. É a região onde se faz a maior pressão para a parte superior da bacia. Essa região é como uma zona tampão (amortecedora) entre as ações da parte superior da bacia e os seus efeitos são evidentes na parte baixa da bacia.

- A terceira parte ou parte inferior da bacia fica normalmente perto da costa. Nesta área se evidenciam os impactos positivos ou negativos das ações que são feitas na parte superior da bacia.

A bacia hidrográfica funciona como um sistema indivisível e interdependente, onde existe uma relação estreita entre as pessoas e as atividades que se desenvolvem na parte superior, com a parte meia e baixa da bacia. Por exemplo, a manutenção da cobertura florestal adequada na parte superior da bacia, ajuda a regular e controlar a quantidade e sazonalidade de água que escorre dos rios e nascentes para a parte meia e inferior da bacia, com o qual, as populações das partes mais baixas são beneficiadas pela quantidade e qualidade da água potável, bem como pela proteção que pode fornecer a cobertura florestal na ocorrência de desastres por inundações, principalmente.

Entre os critérios para a gestão dos recursos naturais é muito oportuno considerar a bacia hidrográfica como unidade básica funcional e âmbito de aplicação dos programas e planos para a gestão integrada dos recursos naturais. Este é talvez o conceito mais abrangente para o uso e gestão sustentável dos recursos ali existentes, bem como a adoção e execução das decisões políticas, econômicas, sociais e ambientais básicas para o desenvolvimento sustentável.

Para esse fim foi criado em Cuba, no dia 5 de maio de 1997, pela Resolução 3139 do Comitê Executivo do Conselho de Ministros, o "Conselho Nacional de Bacias Hidrográficas", o órgão máximo de compatibilidade e adequação das ações nestes

ecossistemas. Ele conta com um Grupo Técnico Consultor, composto por representantes técnicos dos Órgãos da Administração Central do Estado (OACE) e instituições de pesquisa e desenvolvimento. Sua finalidade é assessorar, científica e tecnicamente, o Conselho Nacional de Bacias.

Este grupo técnico fez a classificação das bacias hidrográficas de Cuba em diferentes níveis de interesse e prioridade do estudo: nacional, provincial e, levando em conta seus interesses econômicos, sociais e ambientais, sobre o grau de comprometimento de seus recursos naturais e características fisiográficas que possuem. Os diagnósticos feitos nestas bacias hidrográficas mostraram grandes afetações dos recursos naturais e, especialmente, do recurso solo.

A partir desses argumentos as bacias hidrográficas são unidades naturais adequadas para a avaliação de práticas de conservação, além de serem adequadas para a aplicação de alguns modelos de simulação de erosão, calibração e validação.

A bacia em estudo, Chambas constitui uma prioridade na província de Ciego de Ávila, onde os organismos responsáveis pela sua gestão (CITMA, MINAGRI, MINAZ, INRH, ANAP) estabeleceram um conjunto de ações para a reabilitação dos principais problemas de degradação, incluindo a erosão.

Para que os objetivos sejam alcançados é necessário considerar alguns critérios importantes técnicos e logísticos. Estes se relacionam com os objetivos do estudo, a representatividade da bacia, o seu tamanho, a homogeneidade, a importância do solo e da gravidade da erosão, além da disponibilidade de dados e facilidade de acesso e de supervisão.

2.9 Seleção do modelo para a estimativa da erosão.

Qual é modelo hidrológico mais adequado para estudar e estabelecer uma relação entre o uso e / ou cobertura da terra com a regulação hídrica e o controle de sedimentos?

Para conhecer qual seria o modelo mais adequado a ser usado para resolver esse problema, foi realizada uma revisão dos modelos hidrológicos que seriam potencialmente adaptáveis ao estudo da regulação da água e controle de sedimentos e sua relação com o uso da terra.

A fim de fazer comparações dos modelos foi necessário estabelecer alguns

critérios para se qualificá-los e classificá-los. Conforme Logreira (2009) existem várias maneiras de classificar os modelos sendo que diante dos parâmetros usados se dedicou especial interesse no (a):

- Sistema ambiental que modela,
- Seu nível de complexidade,
- Aplicabilidade ao tema,
- Acessibilidade ao modelo,
- Requisitos técnicos, humanos e de informação,
- Precisão na estimativa das saídas do modelo,
- A ajuda na calibração que ele proporciona, e
- Integração do modelo em SIG.

Entre os modelos analisados, existem alguns que trabalham modelagem hidrológica, definida como o estudo completo do ciclo hidrológico com enfoque exclusivamente na água. Há outros modelos que trabalham o movimento da água na bacia e produção de sedimentos e transporte dentro da rede de drenagem e outros que trabalham no nível de perfil de solo.

Para o estudo que está em desenvolvimento, é importante que se tenha uma ferramenta que integre ambos (regulação da água e controle de sedimentos), além de contar com ferramentas que ajudem efetivamente a conhecer suas relações com o uso da terra, como por exemplo, as mudanças da cobertura e das práticas agrícolas.

Atualmente há inúmeros modelos que permitem a quantificação da erosão. Em nosso trabalho, a escala espacial é média a semi-regional, e o propósito do mesmo é a conservação do recurso solo. Isto permite descartar aqueles modelos que trabalham na escala de parcela como GUEST (ROSE et al., 1997), CREAMS (KNISEL, 1985), GLEAMS (LEONARD et al., 1987), EPIC (WILLIAMS, 1985). A escala de tempo neste caso está intimamente ligada ao espaço. Não faria sentido usar os valores diários de predição aos efeitos do trabalho, sendo suficiente a escala anual que utilizam os modelos como USLE (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Por isso foram descartados os modelos descontínuos que trabalham exclusivamente ao nível de eventos meteorológicos específicos como LISEM (DE ROO et al., 1996) e EUROSEM

(MORGAN et al., 1998).

A questão da agregação ou desagregação dos vários parâmetros e processos a serem considerados depende principalmente das unidades espaciais tanto nos dados de entrada como nos resultados obtidos.

Os modelos USLE, RUSLE e MUSLE foram desenvolvidos com a intenção de serem aplicáveis universalmente. No entanto, a disponibilidade de dados necessários para a sua utilização é limitada fora dos EUA e às vezes, isso dificulta sua utilização em outras áreas geográficas. Isso se estende, por exemplo, a modelos que usam algumas dessas equações como SWAT, EPIC, WEPP, que requer um grande esforço para adaptar os modelos com os dados disponíveis e as diferentes situações territoriais.

Portanto, para a escolha do modelo a ser aplicado em nosso trabalho procuramos as aplicações realizadas e verificadas que fossem desenvolvidas pelo menos, em regiões tropicais e/ou intertropicais (ADRIOLO et al., 2008; BALDISSERA, 2005; BALTOKOSKY, 2005; BLAINSKI, 2011; BARRIOS e URRIBARRI, 2010; CARVALHO NETO, 2011; DOMINGOS PEREIRA, 2010; GUZMAN et al., 2004; LELIS e CALIJURI, 2010; LOPES, 2008; LOPEZ e GIRON, 2007; LUBITZ, 2009; MACHADO, 2002; MINOTI, 2006; MORENO e RENNER, 2007; MORO, 2005; OVANDO, 2010; OÑATE-VALDIVIESO, 2009; PEREIRA, 2010; PRADO, 2005; PROAÑO et al., 2006; SANTOS, 2010; SILVA, 2004, 2010; UZEIKA, 2009; XAVIER, 2009 e URIBE e QUINTERO, 2011), dentre outros, onde foi aplicado o modelo SWAT em estudos hidrosedimentológicos de bacias hidrográficas a partir de mudanças no uso da terra e mudanças climáticas. Além disso, o desenvolvimento da base de pesquisa em diversas áreas geográficas semelhantes na região da América Central e Caribe (CUELLO ESPINOSA, 2003; GONZALEZ, 2008; HERNANDEZ, 2003; TORRES-BENITES et al., 2004; SANCHEZ ORTA, 2010) e (RICHARDS e MADRAMOOTOO, 2010) permite o ajuste dos parâmetros do modelo.

Além disso, embora a USLE, em sua concepção, tenha sido desenvolvido para ser aplicado em pequenas encostas, a sua utilização em modelos de bacias hidrográficas (por exemplo, EPIC) demonstra sua validade também para análises em escala de bacias hidrográficas. Por isso, a USLE é comumente usada no cálculo de erosão, tanto isoladamente, como integrado em outros modelos mais complexos como

AGNPS ou SWAT (FOHRER et al., 2001; KRYSANOVA et al., 1999).

Com base nos modelos revistos, o que melhor se adequa às exigências do presente estudo é o modelo SWAT. Apesar de sua complexidade entende-se que este é mais adequado para a modelagem hidrosedimentológica devido a sua vasta gama de aplicações para ambas as escalas espaciais e temporais. Este modelo cobre vários processos do ciclo hidrológico, tais como a evapotranspiração, escoamento superficial, o fluxo na zona não saturada, o fluxo de águas subterrâneas, o fluxo na rede de drenagem da bacia e suas interações. Neste modelo cada um desses processos pode ser representado em diferentes níveis de distribuição espacial e de complexidade, aspecto que ajuda a melhorar a estimativa de processos hidro-sedimentológicos em uma bacia hidrográfica.

Além disso, a apresentação gráfica da ferramenta permite uma melhor construção conceitual do modelo de bacias hidrográficas, como a ajuda de ferramentas SIG. Este modelo é aplicável em diferentes escalas espaciais, variando desde perfil do solo (para avaliar as necessidades das culturas) até regiões extensas com vários rios. Também tem sido aplicado em locais diferentes, abrangendo uma variedade de climas e comportamentos hidrológicos.

Uma das vantagens deste modelo é que ele é distribuído e de base física. No entanto, requer mais informação, o que em países como Cuba pode representar um alto custo, além de ser às vezes indisponível (principal desvantagem). Este modelo é baseado em processos, ou seja, para diferentes fenômenos a bacia tem mais relevância em determinados processos, e isso permite a ferramenta simplificar sua operação (especialmente em tempo de computação), o que também pode ser visto em considerações relacionadas com a informação disponível.

Softwares como o SWAT, apesar de permitirem a simulação de séries temporais muito longas, incluem seções temporais de simulação curtas que permitem uma melhor análise da infiltração, das reservas de água do solo e, em última instância, dos efeitos e contrastes típicos de climas tropicais, onde os períodos de seca podem ser drásticos.

Como resultado da revisão de vários modelos existentes, concluiu-se que o modelo SWAT foi o mais adequado às nossas necessidades, por ter sido utilizado e avaliado por suas aplicações em diferentes regiões do mundo e, finalmente, pelas

funcionalidades que fornecem na escala de trabalho e sua integração em ambiente SIG.

2.10 Estudo de cenários como uma ferramenta na modelagem.

Cenário é um instrumento para a identificação de problemas e para auxiliar a tomada de decisão e planejamento usando critérios de especialistas.

Cenário é "uma descrição da situação atual, de um estado futuro possível ou desejável, bem como da série de eventos que poderiam levar a partir do atual estado de coisas a este estado futuro" (Schoute et al, 1995).

É importante saber que um cenário de estudo compreende geralmente mais do que um cenário. Mesmo que o resultado de um cenário de estudo seja apenas um cenário único, vários cenários foram considerados durante a fase de análise.

Isto implica na existência de diferentes interpretações de uma situação atual e na de alternativas de eventos futuros, sendo que é esta variedade de processos e resultados, que se configura como o objeto de estudo dos cenários.

A construção de cenários implica na formulação de um conjunto internamente consistente e coerente de hipóteses sobre as relações principais entre os fenômenos em estudo, os fatores determinantes e seu desenvolvimento futuro esperado. A utilização das hipóteses se dá porque a realidade nunca pode ser completamente conhecida por qualquer pessoa. Estes pressupostos são baseados, por vezes, no conhecimento científico e teoria, mas podem ser mais subjetivos e normativos.

O estudo de cenários é utilizado neste trabalho para discutir as opções da produção e transporte de sedimentos no passado, presente e futuro para uma área rural (bacia Chambas).

2.11 As técnicas de geoprocessamento e o sensoriamento remoto na geração de dados.

O geoprocessamento envolve técnicas amplamente utilizadas para coleta e geração de informação espacial digital cujos resultados constituem informação básica de entrada na modelagem.

2.11.1 Delimitação dos divisores de água da bacia e sub-bacias e delimitamento dos canais de drenagem.

A modelagem hidrológica simula os processos físicos que ocorrem em um sistema hidrológico. Estes modelos necessitam de informações fisiográficas, tais como a configuração da drenagem da bacia, a delimitação e a subdivisão da bacia em sub-bacias, inclinação e comprimentos de seções de canais, áreas, comprimentos e encostas das sub-bacias, bem como informações sobre o tipo e cobertura do solo. Estes parâmetros eram obtidos tradicionalmente a partir de mapas analógicos ou de medições de campo. Cerca de duas décadas atrás, essas informações começaram a ser extraídas de Modelos Digitais de Elevação (MDE) e imagens de satélite.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desempenham um papel fundamental nesse sentido, não só na integração de informações, mas na capacidade de extrair automaticamente os parâmetros necessários para a modelagem hidrológica, através de operações espaciais usadas em algoritmos desenvolvidos para esta finalidade. Estes algoritmos permitem extrair informações hidrológicas do MDE, vincular esta informação aos modelos ou pacotes de modelos hidrológicos e realizar o pós-processamento, ou seja, recuperar as saídas dos modelos e representá-las no mesmo ambiente SIG.

O MDE é uma estrutura de dados numéricos que representam a distribuição espacial da altitude da superfície (FELICÍSIMO, 1994). Os mais comuns são de estrutura raster, consistindo de uma malha ou matriz de células quadradas com a informação de elevação em cada célula.

O modelo digital de terreno (MDT o MDE), é a base que possibilita as análises necessárias a conclusão dos estudos de relevo em geral. A partir dele é possível determinar as inclinações, as exposições do terreno ao sol e outras análises que se fizerem necessárias. Utilizando-se as curvas hipsométricas e os pontos cotados, com a extensão 3D Analyst, e o método de interpolação TIN (Triangular *Irregular Network*), é gerado o MDE.

A partir do TIN, é gerado um arquivo Matricial ou Raster (GRID), com o atributo de elevação, através do comando *convert – Tin to Raster* referente ao divisor de águas da bacia (divisor topográfico). Após a geração do divisor de águas converte-se este

limite em um arquivo raster, com a extensão *Spatial Analyst*, através do comando *convert – features to raster*. Por fim, foi realizada a multiplicação do limite pelo grid, obtendo-se assim o arquivo raster somente da bacia hidrográfica em estudo.

Os dados topográficos têm sido amplamente requisitados nas análises ambientais aplicadas à micro bacias. A disponibilidade crescente de bases topográficas digitais, aliada ao uso dos SIG, tem impulsionado o desenvolvimento automático de extração de variáveis topográficas.

A utilização de modelos de elevação obtidos por sensores orbitais representa uma alternativa de grande interesse para suprimir a carência de mapeamentos em diferentes regiões do planeta. Avanços tecnológicos de grande impacto foram alcançados nos últimos anos. A Missão Topográfica por Radar ou *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foi um importante marco desse avanço.

A extração dos divisores de água e da rede de drenagem automática se realiza com base em um MDE (Modelo Digital de Elevação). O delineamento de canais de drenagem e divisores de água é o ponto de partida para o traçado de micro bacias e a organização funcional de seus elementos para modelagem da hidrologia fluvial. A rede de drenagem é uma das mais importantes características do terreno para a indicação de diferenças entre solos. O Padrão de drenagem, definido pelo arranjo espacial dos rios e seus afluentes, foi amplamente explorado na definição de zonas homólogas em estudos de segmentação do meio físico.

As técnicas de extração de informações da drenagem se baseiam em características qualitativas (forma ou tipologia) e quantitativas (ordem de ramificação, distribuição, densidade e frequência).

Os canais de drenagem podem ser descritos sob diferentes aspectos e formas, nas quais se apoiam as diferentes metodologias para seu levantamento a partir do relevo (ESRI, 1992, FELICÍSIMO, 1994). Entre essas, pode-se adotar como critério para sua identificação um nível mínimo de convergência (curvatura horizontal) ou de área de captação (fluxo acumulado). De forma mais simples, pode ser determinado por todos os pontos de mínimo em seções transversais dos vales, ou ainda como todos os pontos cuja vizinhança contém uma única direção indicando altitude abaixo da cota local.

Frequentemente, é necessário modificar o MDE original antes de iniciar os procedimentos para cálculo dos parâmetros a fim de forçar a formação de canais. Esta modificação é muitas vezes necessária em áreas planas, onde a preparação do MDE é muito mais complexa do que nas áreas íngremes. Este procedimento chamado Stream - Burning (gravação dos canais) consiste em impor a rede de drenagem ao MDE, de modo que ao realizar a análise de fluxo, este é forçado a seguir para o ponto de partida. A rede de drenagem é um dado vetorial usada para verificar as direções de fluxo calculado, mas neste caso e previamente convertido para raster será usado para modificar o original MDE, obtendo assim um conjunto de dados com mais precisão.

Diversas ferramentas desenvolvidas para extrair informação automática e desenhar linhas de fluxo e sub-bacias do MDE estão disponíveis na atualidade. Geralmente elas fazem parte de módulos ou subprogramas que funcionam em ambiente SIG. O software ArcGis, por exemplo, possui um módulo incorporado para a hidrologia. Na Figura 2.2 pode-se observar o fluxograma de procedimentos com os comandos para geração da hidrologia. Os passos básicos são:

1. Correção das planícies e depressões que aparecem em MDE origem (Fill Sink)

As áreas planas são as células ou grupos de células no MDE original sem orientação. Existem vários algoritmos para corrigir esta situação, basicamente, avaliar a tendência das células vizinhas. As depressões são células onde convergem todas as vizinhas ao redor e não encontram saídas. Para solução deste problema faz-se um processo de filtragem que suaviza o relevo, eliminando estas células atípicas através de um processo de preenchimento (Fill Sink - enchimento de poços). Esta confere a consistência da drenagem, eliminando possíveis áreas de sumidouros que ocasionam retenção de fluxo.

2. Determinar a direção de fluxo para onde flui cada célula (Flowdirection)

Baseia-se em determinar um padrão de movimento a partir da orientação de cada célula, calculado com base nas declividades. Realiza-se a partir de uma janela de células nxn e se avalia o comportamento da célula central com relação às vizinhas. O princípio básico do movimento é o menor potencial, ou seja, a direção de maior declive.

Existem vários algoritmos para este cálculo: modelo D8, Rho8, FD8, DINF, KRA

e DEMON. O mais comumente usado é D8 que considera oito endereços de saída para uma célula. A direção do fluxo é o caminho de menor resistência que vai percorrer uma gota de água drenando por gravidade a partir de um ponto superior para uma elevação mais baixa (WILSON et al, 2007).

3. Calcular a acumulação de fluxo. (Flowaccumulation)

Determina todas as células que drenam para uma em particular. Parte de avaliar o caminho de fluxo para cada célula a partir da grade de direções de fluxo. Desta forma as células que têm o maior acúmulo de fluxo, irão formar os canais de drenagem.

4. Identificar as linhas de rede de drenagem

Baseia-se em determinar as redes de drenagem a partir da acumulação de fluxo, considerando aquelas com um determinado valor de acumulação (umbral) a partir do qual a célula começa a escorrer. Para tal utiliza-se uma condição (CON) ou Map Algebra, geralmente Acumulação de fluxo > 1000 , dependendo da densidade de drenagem desejada.

5. Contorno da bacia a partir da identificação de um ponto de saída (outlet)

Determina a área de contribuição de um ponto de saída ou de fechamento da bacia, tendo em conta a rede de drenagem calculada no ponto anterior e do conceito de "umbral".

6. Divisão da bacia em sub-bacias (Watershed)

Baseia-se em dividir a bacia contribuinte em subunidades hidrológicas. Existem vários critérios para realizar esta subdivisão, considerando-se pontos de saída usando a rede de drenagem e usando uma área mínima denominada "umbral". O último é usado no programa SWAT atribuindo uma área mínima para a sub-bacia como uma porcentagem da área total da bacia. Este processo é a primeira tentativa até chegar à resolução e detalhe desejados.

7. Conversão da grade de sub-bacias e da rede de drenagem na forma matricial em vetorial, obtendo os limites das bacias e a rede de drenagem na forma de vetor.

Realiza-se a vetorização dos elementos até aqui determinados, tais como bacia hidrográfica, sub-bacias e redes de drenagem.

8. Cálculo de propriedades da bacia e da rede de drenagem. Extração de pontos de elevação mínima e máxima do MDE para o cálculo das declividades, áreas,

perímetro e comprimentos.

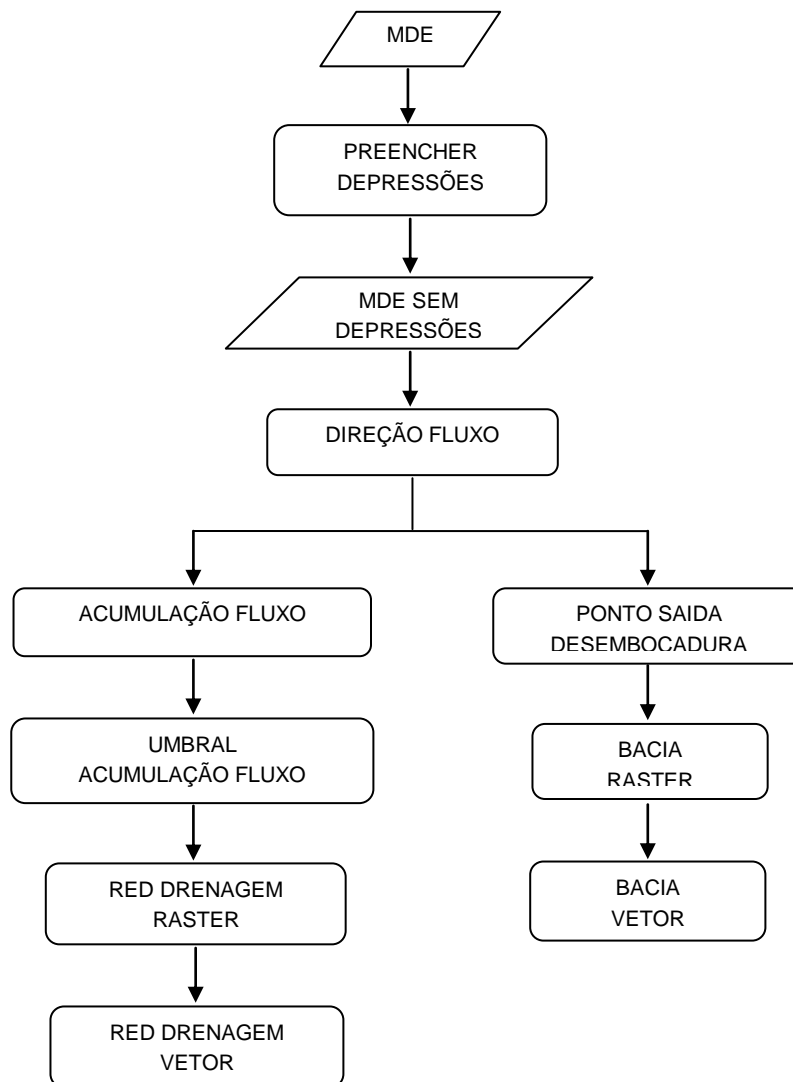


Figura 2.2 Diagrama de fluxo para geração da hidrografia a partir do Modelo Digital de Elevação em ArcGis.

2.11.2 Geração da Cobertura e Uso da terra.

2.11.2.1 Introdução

O avanço da tecnologia espacial permitiu que fossem disponibilizados produtos de satélites imageadores da terra e marcou uma nova era dos estudos de Uso da Terra; pois ao mesmo tempo em que lhe dá uma nova metodologia de pesquisa, revela a

concepção teórica que orienta a apreensão espacial e temporal do uso da terra no seu conjunto para a gestão da apropriação do espaço geográfico global ou local (IBGE, 2007).

Com o lançamento em 1972, do ERTS (Earth Resources Technology Satellite – depois renomeado como Landsat 1), primeiro satélite ambiental colocado em órbita pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), foi permitido a aquisição de dados da superfície terrestre de forma global, sinóptica e repetitiva. Os Estados Unidos da América deram o passo inicial para o desenvolvimento dos satélites de levantamentos ambientais da superfície do Planeta.

Na década de 70 foram iniciados os estudos da cobertura e uso da terra no marco do trabalho da Comissão Mista para Informação e Classificação do Uso da Terra, formada no início de 1971. Além da participação de representantes de Órgãos Federais dos Estados Unidos, como o Departamento do Interior dos EUA, a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço - NASA, e o Departamento de Agricultura dos EUA, participaram também a Associação de Geógrafos Americanos e a União Geográfica Internacional - UGI.

As imagens de satélite têm sido uma das principais fontes de informação para a produção de novos mapas, por melhor auxiliar na determinação do uso e da cobertura da terra, além de ter um custo relativamente mais baixo atualmente e periodicidade de informações.

O uso de tecnologias de sensoriamento remoto é bastante viável no que concerne aos estudos sobre uso atual da terra e cobertura vegetal, uma vez que propicia agilidade e dinâmica na obtenção de dados terrestres através de imagens de satélites.

O sensoriamento remoto é definido por Lillesand & Kiefer (2004) como “ ...a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos por instrumentos que não estão em contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno sob pesquisa”.

Para se obter esta informação, usa-se um meio que, neste caso, é a radiação eletromagnética, supondo que esta possa chegar diretamente ao sensor. Isto, no entanto, não é possível em todas as partes do espectro eletromagnético, porque a

transmissividade atmosférica é variável para os diversos comprimentos de onda.

O termo sensoriamento remoto é uma tradução em Inglês de "remote sensing", e não se refere apenas à captura de dados a partir do ar ou do espaço, mas também para o tratamento subsequente. Uma definição mais formal é descrita como a técnica de aquisição e posterior tratamento de dados da superfície terrestre a partir de sensores instalados em plataformas espaciais sob a interação eletromagnética entre a terra e o sensor, a fonte de radiação sendo tanto do sol (detecção remota passiva) como do próprio sensor (detecção remota ativa).

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento constituem-se em técnicas fundamentais para a manutenção de registros do uso da terra ao longo do tempo. As imagens de satélite, em forma digital ou papel, são muito importantes e úteis, pois permitem avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região e num dado período, registrando a cobertura vegetal em cada momento.

Várias são as técnicas, sensores e tipos de dados de sensoriamento remoto no monitoramento e discriminação de solos e uso da terra. Os tipos de dados mais comumente usados são as fotografias aéreas, imagens multiespectrais e hiperespectrais. Destes, as fotografias aéreas aparecem como a de mais antiga utilização, porém, ainda com grande utilidade, sendo a base para o entendimento das relações solo/paisagem, muito utilizado em levantamento de solos.

Com o surgimento das imagens orbitais e os estudos espectrais, ampliou-se o potencial do sensoriamento remoto. Nos dias atuais, cientistas exploram metodologias que venham a explorar os padrões de interação das propriedades dos solos e plantas com sua energia refletida, com o propósito de extrair o máximo de informações sobre as suas características biofísicas.

Os sensores dos satélites são capazes de captar constantemente as imagens da Terra sem a necessidade de programação prévia, abrangendo extensas áreas e fornecendo informações atualizadas, que são extraídas através de técnicas de análise visual e de processamento digital de imagens.

O processamento digital de imagens envolve a manipulação e interpretação de imagens digitais com o auxílio do computador. Esta forma de sensoriamento remoto, na verdade começou na década de 1960 com um número limitado de pesquisadores

analisando dados de scanners multiespectrais aéreos e fotografias aéreas digitalizadas. No entanto, foi a partir do lançamento do Landsat-1 em 1972 que os dados de imagem digital se tornaram amplamente disponível para aplicações de sensoriamento remoto da terra (LILLESAND & KIEFER, 2004).

A função mais importante do PDI de sensoriamento remoto é fornecer ferramentas que facilitem a identificação e extração de informações contidas nas imagens para interpretações posteriores, o resultado deste processo é a produção de outras imagens com informações específicas extraídas e realçadas a partir de imagens brutas (CRÓSTA, 1993).

O PDI é um importante conjunto de técnicas responsáveis para o trabalho com imagens de sensoriamento remoto, permitindo que uma imagem "bruta" de difícil interpretação, seja processada, analisada e interpretada, tal que coincida o mais próximo possível da realidade.

A extração de informação de imagens envolve o reconhecimento de objetos ou padrões. A maior parte dessa atividade requer grande capacidade de cognição por parte do intérprete, devido à complexidade dos processos envolvidos e à falta de algoritmos computacionais precisos o bastante para realizá-lo de forma automática (CRÓSTA, 1993).

O sistema visual humano possui uma notável capacidade de reconhecer padrões. Contudo, ele dificilmente é capaz de processar o enorme volume de informação presente numa imagem. Vários tipos de degradações e distorções, inerentes aos processos de aquisição, transmissão e visualização de imagens, contribuem para limitar ainda mais essa capacidade do olho humano. O objetivo principal do processamento de imagens é o de remover essas barreiras, inerentes ao sistema visual humano, facilitando a extração de informações a partir de imagens. Nesse contexto, o processamento digital deve ser encarado como um estágio preparatório, embora quase sempre obrigatório, da atividade de interpretação das imagens de sensoriamento remoto (CRÓSTA, 1993).

As formas possíveis de manipulação de imagens são teoricamente infinitas. Entretanto, segundo Lillesand & Kiefer (2004), de um modo geral, podem ser categorizadas em um ou mais procedimentos que incluem, entre outros, os seguintes

tipos abrangentes de operações computacionais:

1. Retificação e Restauração de Imagens: operações realizadas para minimizar as distorções e degradações dos dados de uma imagem, com a finalidade de criar uma representação mais fiel da cena.

2. Realce de Imagens: procedimentos aplicados aos dados de uma imagem com o objetivo de melhorar efetivamente a visualização da cena, para subsequente interpretação visual.

3. Classificação de Imagens: estas operações têm a finalidade de substituir a análise visual dos dados de uma imagem por técnicas quantitativas de análise automática, visando à identificação das feições presentes na cena.

4. Combinação de Dados (data merging) e integração em SIG: procedimentos utilizados para combinar os dados de uma imagem, referente a certa área geográfica, com outros conjuntos de dados referenciados geograficamente, para a mesma área.

Com o avanço das geotecnologias nos últimos anos, estudos sobre o uso e cobertura da terra têm se tornado cada vez mais precisos, e requerem menos tempo para sua realização. Portanto, imagens de satélite com uma resolução espectral, espacial, temporal e radiométrica cada vez melhor, revelam a situação em que se encontra a cobertura do solo, o que mostra, segundo o tipo de satélite, os diferentes tipos de usos e coberturas da terra, como resultado ou não da ação humana.

As informações obtidas através de geotecnologias são ferramentas importantes para o planejamento do uso racional dos recursos naturais. Um diagnóstico preciso e o uso confiável da cobertura e uso da terra, são essenciais para o planejamento de medidas, que independentemente da escala, sejam realizadas utilizando os recursos naturais de forma mais racional.

2.10.2.2 O sensoriamento remoto e processamento digital de imagens em estudos da cobertura e uso da terra.

Avanços na tecnologia espacial têm permitido a disponibilização de produtos a partir de imagens de satélite da Terra como parte de uma nova era dos estudos de uso da terra. Nesse sentido, ao mesmo tempo que oferecem uma nova metodologia de pesquisa, revelam uma base conceitual que orienta a compreensão espacial e temporal

do uso da terra para a gestão da propriedade do espaço geográfico global ou local.

Em várias ocasiões, o uso do sensoriamento remoto é proposto para fornecer os dados brutos para interpretação do uso da terra e tipos de cobertura do solo e seus limites. Durante os últimos 40 anos, várias pesquisas, estudos e outros projetos têm demonstrado com sucesso que dados de sensoriamento remoto são úteis para o inventário e mapeamento do uso e cobertura da terra. Estas investigações têm contribuído muito e demonstrou que os levantamentos de cobertura e uso do solo em grandes áreas é possível através da utilização de dados de sensoriamento remoto.

A demanda por dados padronizados sobre o uso e cobertura da terra só pode aumentar à medida que tentamos avaliar e administrar as áreas críticas para o controle ambiental, tais como planícies aluviais e áreas úmidas, o desenvolvimento de recursos energéticos e áreas de produção, o habitat dos animais selvagens, e áreas de lazer e outras áreas como principais locais de desenvolvimento residencial e industrial.

Esta necessidade de padronização está se tornando cada vez mais importante nos programas que visam a realização de levantamentos de solos, de mapas topográficos, de coleta de informações meteorológicas, e de um inventário dos recursos florestais. Recentes avanços em processamento de dados e tecnologia de sensoriamento remoto determinam a necessidade de se desenvolver um sistema para classificar os dados de uso e cobertura da terra utilizando técnicas de sensoriamento remoto e que sejam razoavelmente consistente com os sistemas tradicionais de classificação (ANDERSON, 1976).

A investigação neste trabalho é baseado no uso da Geotecnologia, que pode ser definida como:

“o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informação com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em hardware, software e peopleware que juntas constituem poderosas ferramentas para tomada de decisão. Dentre as geotecnologias podemos destacar: sistemas de informação geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e a topografia georeferenciada”. (Rosa, 2005, p.01).

Dentre as técnicas mais utilizadas nesta investigação estão o Sensoriamento Remoto, Processamento Digital de Imagens (PDI), entre outras.

Tendo em conta a experiência internacional, o processamento digital de imagens

tem sido tradicionalmente dividido em várias etapas, dependendo dos autores e as aplicações feitas.

Neste trabalho, o processamento das imagens, para uma melhor compreensão e organização, é dividido em três etapas: pré-processamento, processamento e pós-processamento, que são descritas na metodologia presente no capítulo 5 desta tese.

O mapeamento da cobertura / uso da terra é desenvolvido através de interpretação visual e digital de imagens captadas por sensores remotos, utilizando as funções contidas em programas específicos (ENVI, ILWIS, Ermapper, etc) ou adicionados a alguns SIG (ArcGIS, MapInfo, etc.)

A MODELAGEM HIDRO-SEDIMENTOLÓGICA UTILIZANDO O MODELO SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL (SWAT).

3.1 Introdução

Para este estudo, foi adotada como unidade territorial a bacia hidrográfica superficial, que tem as suas características intimamente relacionadas com a produção de água e sedimentos. A área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água e sedimento produzido. As formas e o relevo atuam sobre a velocidade e taxa de produção de água, assim como sobre a taxa de sedimentação.

A modelagem hidrológica dos processos de escoamento superficial e da produção de sedimentos em bacias hidrográficas tem sido cada vez mais utilizada, dada a possibilidade de caracterizar os impactos que as ações antrópicas e as mudanças climáticas exercem sobre o meio ambiente.

A modelagem de processos de erosão é relativamente complexa e depende de três fatores básicos: topografia, natureza do fluxo e características dos solos e dos sedimentos que o compõem. Além disso, a modelagem dos processos erosivos é dependente da resposta do modelo hidrológico, o que aumenta muito o grau de complexidade do processo erosivo (SANTOS, 2009).

A modelagem pode ser considerada como instrumento entre os procedimentos metodológicos da pesquisa científica, pois a construção de modelos dos sistemas ambientais representa a expressão de uma hipótese científica que necessita ser avaliada como sendo um enunciado teórico sobre o sistema ambiental focalizado (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A modelagem é concebida como o processo cognitivo necessário para se chegar à construção do modelo de uma área de problema ou contexto de objeto.

Diferentes autores têm realizado a caracterização dos procedimentos da modelagem em uma sequência de passos. O mesmo procedimento pode ser aplicado

para analisar e avaliar os modelos existentes e na sua reaplicação (CHRISTOFOLETTI, 1999). Estas etapas são:

1. Enunciado dos objetivos ou propósitos do modelo a ser construído: definição do sistema a ser modelado.
2. Construção da hipótese: enunciados geralmente verbais, mas também podem expressar relações quantitativas.
3. Formulação matemática: construção matemática das hipóteses qualitativas.
4. Verificação: testar a precisão das equações matemáticas, comumente utilizando algoritmos computacionais, conhecido como implementação computacional.
5. Calibragem: estabelecimento de parâmetros de entrada e condições internas do sistema a fim de se verificar a adequação das respostas e definição da escolha mais adequada dos parâmetros ajustados aos modelos estabelecendo limiares que representam a sua potencialidade de uso.
6. Análise e avaliação do modelo: analisar o modelo ou comparar os resultados produzidos pelo modelo com os dados do modelo teste.

Com base no estudo da literatura disponível sobre modelagem de processos hidro-sedimentológicos, tendo em conta a sequência lógica dos passos para o desenvolvimento de modelos antes mencionado e utilizando os benefícios oferecidos pelas ferramentas SIG, propõe-se em seguida, o quadro síntese da metodologia aplicada nesta pesquisa, que se relaciona com a modelagem de processos de erosão em bacias hidrográficas, como mostrado na Figura 3.1.

A descrição detalhada desta metodologia será desenvolvida nos capítulos subsequentes com um estudo de caso aplicado à bacia hidrográfica do rio Chambas.

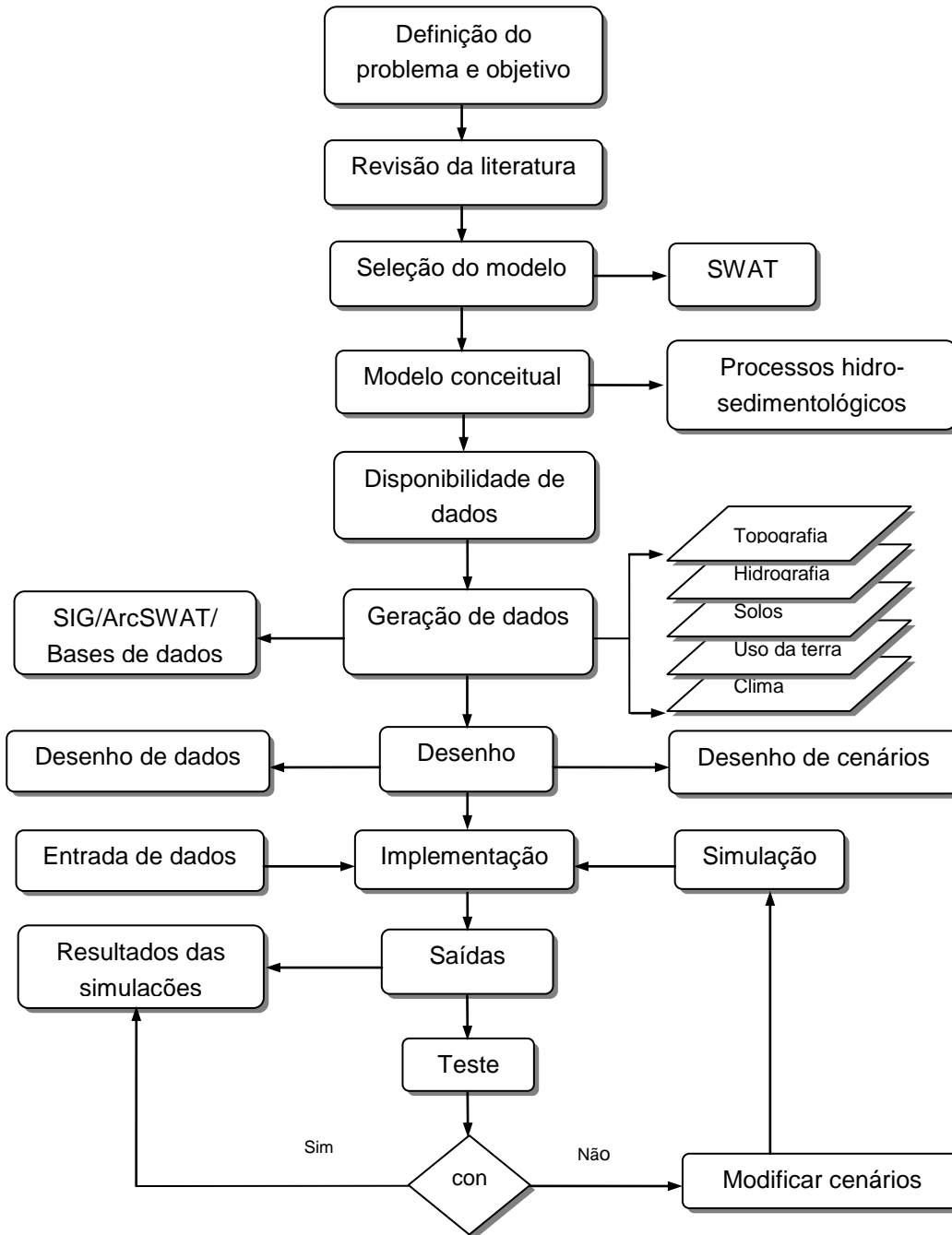


Figura 3.1 O fluxograma da metodologia de pesquisa.

Na realização desta pesquisa foram considerados os seguintes passos metodológicos:

1. Definição do problema e objetivo.
2. Desenvolvimento da hipótese.

3. Revisão da literatura sobre questões relacionadas com a modelagem dos processos de erosão do solo induzidas por mudanças no uso da terra.
4. Desenvolvimento do modelo conceitual, que incorporou uma descrição dos processos envolvidos no risco de erosão do solo e seleção do modelo.
5. Análise das necessidades e da disponibilidade de dados básicos, espaciais e tabulados, escala, resolução, etc.
6. Levantamento de informações hidrológicas, de solo, clima e topográfica.
7. Identificação da cobertura/uso da terra utilizando técnicas de sensoriamento remoto.
8. Trabalhos de campo.
9. Desenho da estrutura de bases de dados e geração dos parâmetros básicos a utilizar.
10. Implementação do modelo em SIG.
11. Aplicação e teste do funcionamento do modelo para diferentes cenários de previsões.
12. Geração de saídas do modelo, análise e representação cartográfica dos resultados.
13. Geração de gráficos de saída, mapas temáticos e relatórios.

Os passos 1-4 da metodologia foram descritos nos capítulos 1 e 2 anteriores. Neste capítulo é apresentada a seguir a descrição do modelo selecionado para estimar a erosão, o SWAT (*Soils and Water Assessment Tool*) onde se aplica a modelagem de processos de transporte e produção de sedimentos.

3.2 O modelo SWAT

3.2.1 Generalidades

O SWAT é um modelo matemático de domínio público, desenvolvido por Arnold e Allen (1996); Arnold et al., (1998) para a Agricultural Research Service, do USDA e pela Texas A&M University nos E.U.A. Ele tem por objetivo a análise dos impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água, permitindo a simulação de diferentes processos

físicos em uma bacia hidrográfica. O modelo apresenta sete componentes nas áreas de hidrologia, clima, sedimentos, crescimento vegetal, manejo agrícola, nutrientes e pesticidas, e foi desenvolvido para prever o efeito de diferentes cenários de manejo na qualidade da água, produção de sedimentos e cargas de poluentes em bacias hidrográficas agrícolas (SRINIVASAN & ARNOLD, 1994). Baseia-se, portanto, em características físicas da bacia, usa dados de entrada normalmente disponíveis. Trata-se de um modelo computacionalmente eficiente para ser utilizado em médias a grandes bacias, além de ser contínuo no tempo, o que possibilita a simulação de longos períodos, de forma a computar os efeitos das alterações no uso do solo.

O SWAT permite grande flexibilidade na configuração de bacias hidrográficas (PETERSON & HAMLETT, 1998). Estas podem ser divididas em sub-bacias de modo a refletir as diferenças de tipo de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo para o propósito de modelagem, preservando os parâmetros espacialmente distribuídos da bacia inteira e características homogêneas dentro da bacia. Cada sub-bacia pode ser parametrizada pelo SWAT usando uma série de Unidades de Resposta Hidrológica (HRU's), que são partes da sub-bacia e possuem uma única combinação de uso da terra/solo/manejo.

3.3 O desenvolvimento do SWAT

O SWAT integra características de vários modelos como uma continuação da experiência em modelagem da USDA Agricultural Research Service (ARS) que se estendeu por um período de aproximadamente 30 anos. O modelo SWAT atual é um descendente direto do modelo *Simulator for Water Resources in Rural Basins* (SWRRB) (Arnold e Williams, 1987), que foi projetado para simular impactos de gestão de água e o movimento de sedimentos para bacias rurais não calibradas em todos os EUA. Os modelos específicos que contribuíram significativamente para o desenvolvimento do SWAT foram o modelo *Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems* (CREAMS) (Knisel, 1980), o modelo *Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems* (GLEAMS) (Leonard et al., 1987), e o modelo *Environmental Impact Policy Climate* (EPIC) (Izaurralde et al., 2006), que foi originalmente chamado de *Erosion Productivity Impact Calculator* (Williams, 1990).

O desenvolvimento de SWRRB começou no início da década de 1980 com a

modificação do modelo hidrológico de precipitação diária de CREAMS. Uma grande melhoria foi a expansão do escoamento superficial e outros cálculos para até dez sub-bacias, em oposição a um único parâmetro, para prever o rendimento de água das bacias. Outras melhorias incluíam um melhor método da taxa do escoamento máximo, o cálculo das perdas de transmissão, e a adição de vários novos componentes: fluxo das águas subterrâneas de retorno (ARNOLD E ALLEN, 1993), de armazenamento do reservatório, o submodelo de crescimento de culturas EPIC, e um gerador de clima e transporte de sedimentos. Outras modificações do SWRRB no final de 1980 incluíram a incorporação da componente de destino de pesticidas GLEAMS, tecnologia opcional de USDA-SCS para estimar as taxas máximas de escoamento, e novas equações de produção de sedimentos. Essas modificações ampliaram a capacidade do modelo para lidar com uma grande variedade de problemas de gestão da qualidade da água das bacias hidrográficas (GASSMAN et al 2007).

Arnold et al. (1995) desenvolveram o modelo *Routing Outputs to Outlet* (ROTO) no início de 1990, a fim de apoiar uma avaliação do impacto rio abaixo da gestão da água dentro de terras da reserva indígena no Arizona e Novo México, que cobria milhares de quilômetros quadrados, conforme solicitado pelo Bureau de Assuntos Indígenas dos EUA. A análise foi realizada vinculando as múltiplas saídas de rodadas do SWRRB com a propagação dos fluxos provenientes de canais e reservatórios no ROTO a partir de uma abordagem de propagação no canal. Esta metodologia superou a restrição do SWRRB de ser limitado a apenas dez sub-bacias. No entanto, a entrada e saída de múltiplos arquivos do SWRRB eram incômodas e exigia um considerável armazenamento de informação no computador. Para superar essas limitações SWRRB e ROTO foram incorporados em um único modelo denominado SWAT (figura 3.2).

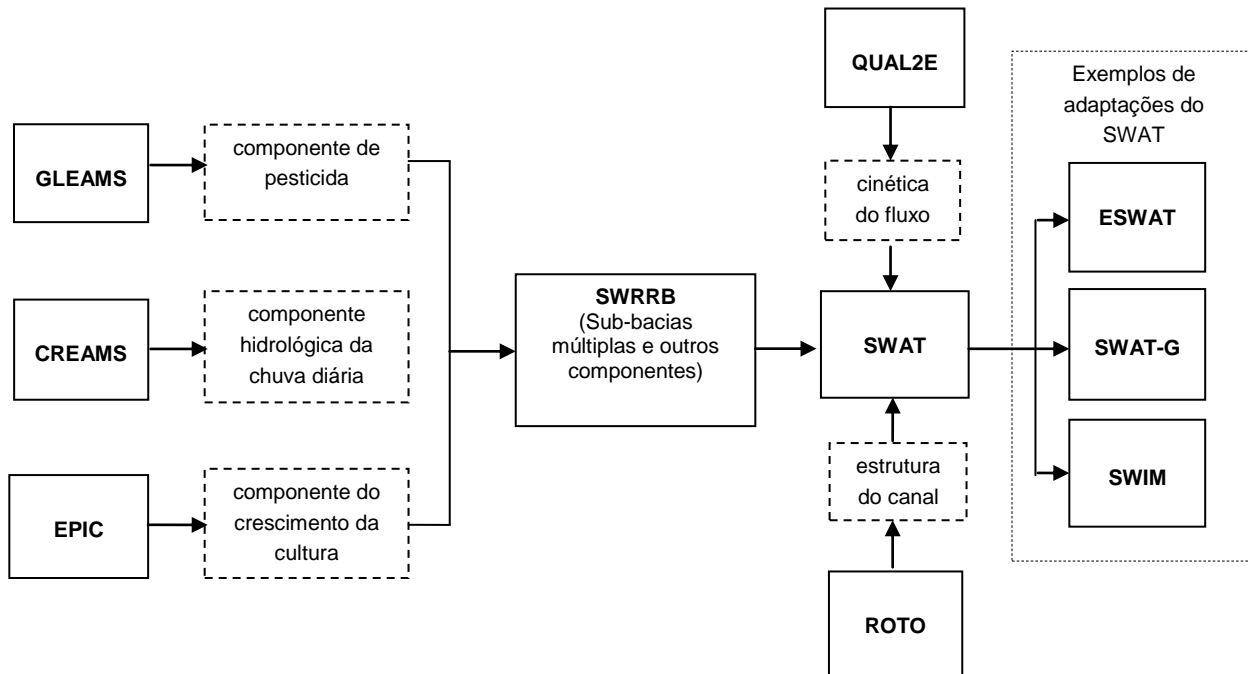


Figura 3.2 Esquema da história do desenvolvimento do SWAT, incluindo uma seleção de adaptações do SWAT. Adaptado de Gassman et al. (2007)

O SWAT conservou todas as características que fizeram do SWRRB um modelo de simulação de grande valor, permitindo simulações de áreas muito extensas. Este modelo foi submetido à revisão contínua e expansão das suas capacidades desde que foi criado no início de 1990. As principais melhorias para versões anteriores do modelo (SWAT 94,2, 96,2, 98,1, 99,2, e 2000) são descritas por Arnold e Fohrer (2005) e incluem a adição de rotas de transporte de bactérias, bem como um gerador de precipitação sub-diária (SWAT 2005) (NEITSCH et al. 2005a), incluindo rotinas da cinética do fluxo do modelo QUAL2E (BROWN e BARNWELL, 1987) apud (GASSMAN et al 2007), como mostrado na figura 3.2.

Recentemente a equipe de desenvolvimento da SWAT da Texas A & M University desenvolveu uma extensão ArcGIS (ESRI, Redlands, CA) para o modelo SWAT2005, conhecido como ArcSWAT (SWAT 2009). Essa extensão agiliza a entrada de dados, a criação de arquivos de entrada necessários e edição de parâmetros ao mesmo tempo em que permite que os parâmetros espaciais sejam facilmente observados no ambiente ArcGIS.

3.4 Adaptações de SWAT

Uma das principais tendências do desenvolvimento do SWAT é o surgimento de modelos modificados deste. Tais modelos foram adaptados para fornecer uma melhoria à simulação de processos específicos, concentrando-se, em alguns casos, em regiões específicas. Exemplos notáveis (figura 3.2) incluem SWAT-G, SWAT estendido (ESWAT), e o modelo *Soil and Water Integrated Model* (SWIM).

A primeira modificação foi o SWAT-G, alterando o SWAT 99.2, utilizado no estudo da percolação, condutividade hidráulica e funções para fornecer previsões de fluxo, típicas para as condições em baixas cordilheiras na Alemanha (LENHART et al., 2002). Outras adaptações do SWAT-G incluem métodos acessórios para uma melhor estimativa de perda por erosão (LENHART et al., 2005) e um estudo mais aprofundado sobre a quantidade de CO₂ e dos efeitos sobre o índice de área foliar e condutância estomática (ECKHARDT; ULBRICH, 2003) apud GASSMAN et al. (2007).

O modelo ESWAT (VAN GRIENSVEN; e BAUWENS, 2005) apresenta diversas modificações do modelo SWAT original, incluindo: (1) periodicidade, insumos de precipitação e infiltração, escoamento superficial, e erosão e perda a partir de estimativas baseadas em definições do usuário de fração de hora; (2) um módulo de roteamento do rio que é atualizado a cada hora e tem interface com um componente de qualidade da água que caracteriza a cinética de fluxo baseado parcialmente em funções usadas em QUAL2E, bem como outras melhorias; e (3) calibração multiobjetivo e módulos de autocalibração (semelhantes componentes estão agora incorporados em SWAT2005) apud (GASSMAN et al 2007).

O modelo SWIM baseia-se principalmente em componentes hidrológicos do SWAT e componentes no ciclo de nutrientes do modelo MATSALU (KRYSANOVA et al., 2005), o qual foi concebido para simular bacias hidrográficas em uma “escala intermediária” (100 a 100000 km²). As recentes melhorias no SWIM incluem a incorporação de um sub-modelo da dinâmica da água subterrânea (HATTERMAN et al., 2004), o reforço da capacidade de simular sistemas de florestas (WATTENBACH et al., 2005), e desenvolvimento de rotinas mais realistas para simular zonas úmidas e ribeirinhas (HATTERMAN et al., 2006) apud GASSMAN et al. (2007).

3.5 Aplicações do SWAT

O modelo SWAT foi originalmente desenvolvido nos EUA. No entanto, ele tem sido amplamente aplicado na Europa (FOHRER et al., 2001; FRANCOS et al., 2001; GRIZZETTI et al., 2003; HUISMAN et al., 2004), ainda que os dados de entrada necessários para a sua utilização sejam particularmente numerosos e requeiram informação detalhada de difícil acesso fora dos EUA (BREUER et al., 2003). No entanto, as várias aplicações em outros países confirmam a possibilidade de adaptação do modelo mantendo bons resultados.

Na última década as aplicações da SWAT têm se expandido em todo o mundo. Muitas das aplicações foram impulsionadas pelas necessidades de várias agências governamentais, particularmente nos EUA e na União Europeia. Essas agências exigem avaliações diretas de origem antropogênica, das mudanças climáticas, e de outras influências sobre uma ampla gama de recursos hídricos ou das avaliações exploratórias das capacidades do modelo para potenciais aplicações futuras.

Uma das primeiras aplicações de relevância realizadas com SWAT foi dentro da Unidade de Modelo Hidrológico do sistema de modelagem de EUA (HÚMUS) (ARNOLD et al., 1999), que foi implementado para apoiar as análises do USDA.

O SWAT foi desenvolvido para verificar os efeitos resultantes das modificações no uso da terra sobre o escoamento superficial e subterrâneo, bem como na produção de sedimentos, tendo sido estudado e difundido amplamente pelos trabalhos de Arnold et al. (1990, 1994 e 1998), Srinivasan e Arnold (1994), Srinivasan et al. (1998, 2010), Krysanova et al. (1999), Santhi et al. (2001, 2005), Gassman et al. (2007), Neitsch et al. (2005), Van Griensven (2005, 2006), Linard et al. (2009), Olivera et al. (2006), Winchell et al. (2007) e Zhang et al. (2008, 2009).

Destaca-se também a aplicação do modelo com resultados satisfatórios em outras regiões do mundo, tais como, na Europa (GALVAN, 2007, 2010; GOMEZ et al., 2007; FOHRER et al., 2001; POHLERT et al., 2005; VERNIER et al., 2010), na Ásia (YANG et al., 2008), na África (NDOMBA et al., 2010; SETEGN et al., 2009; BETRIE et al., 2011), na América Central e Caribe (CUELLO ESPINOSA, 2003; GONZALEZ, 2008; HERNANDEZ, 2003; TORRES-BENITES et al., 2004; SANCHEZ ORTA, 2010; RICHARDS e MADRAMOOTOO, 2010). Na América do Sul os trabalhos em sua

maioria são aplicados a estudos hidrológicos e de produção de sedimentos (ADRIOLO et al., 2008; BALDISSERA, 2005; BALTOKOSKY, 2005; BLAINSKI, 2011; BARRIOS e URRIBARRI, 2010; CARVALHO NETO, 2011; DOMINGOS PEREIRA, 2010; GUZMAN et al., 2004; LELIS e CALIJURI, 2010; LOPES, 2008; LOPEZ e GIRON, 2007; LUBITZ, 2009; MACHADO, 2002; MINOTI, 2006; MORENO e RENNER, 2007; MORO, 2005; OVANDO, 2010; OÑATE-VALDIVIESO, 2009; PEREIRA, 2010; PRADO, 2005; PROAÑO et al., 2006; SANTOS, 2010; SILVA, 2004, 2010; UZEIKA, 2009; XAVIER, 2009 e URIBE e QUINTERO, 2011).

3.6 Descrição do modelo SWAT.

O modelo SWAT foi desenvolvido para prever o impacto do manejo do solo na qualidade da água, sedimentos e produtos químicos em bacias de grandes dimensões com diferentes solos, diferentes usos da terra e diferentes condições de gestão durante longos períodos de tempo. É um modelo de base física e requer informações sobre as propriedades do clima, solo, topografia, vegetação e práticas de gestão de terras que são realizadas na bacia. O modelo é responsável por processar fisicamente o movimento da água, os sedimentos, o crescimento das culturas, a ciclagem de nutrientes, etc. Por ser um modelo de tempo contínuo ele não é projetado para simular eventos. Para fins de modelagem, a bacia é dividida em sub-bacias hidrográficas, de acordo com as características do solo, hidrologia, etc., que são chamados de unidades de resposta hidrológica (HRU).

Para a produção de sedimentos o SWAT utiliza a equação MUSLE (Kinnell, 1998). Desta forma podem-se modelar bacias sem dados de aforo (captação) analisando o impacto relativo das alterações em qualquer dos dados do início.

O modelo SWAT usa o balanço hídrico como a força motriz por trás de tudo o que acontece na bacia hidrográfica. Este modelo divide a modelagem em duas partes: a primeira é a fase terrestre, onde se controla a quantidade de água, sedimentos, nutrientes e pesticidas, que é entregue ao fluxo para cada sub-bacia; a segunda parte é focada ao roteamento, ou movimento do fluxo de água sedimentos, etc., na rede de drenagem.

3.6.1 Fase Terrestre

A fase terrestre do ciclo hidrológico é modelada pelo SWAT com base na equação do balanço hídrico (Figura 3.3)

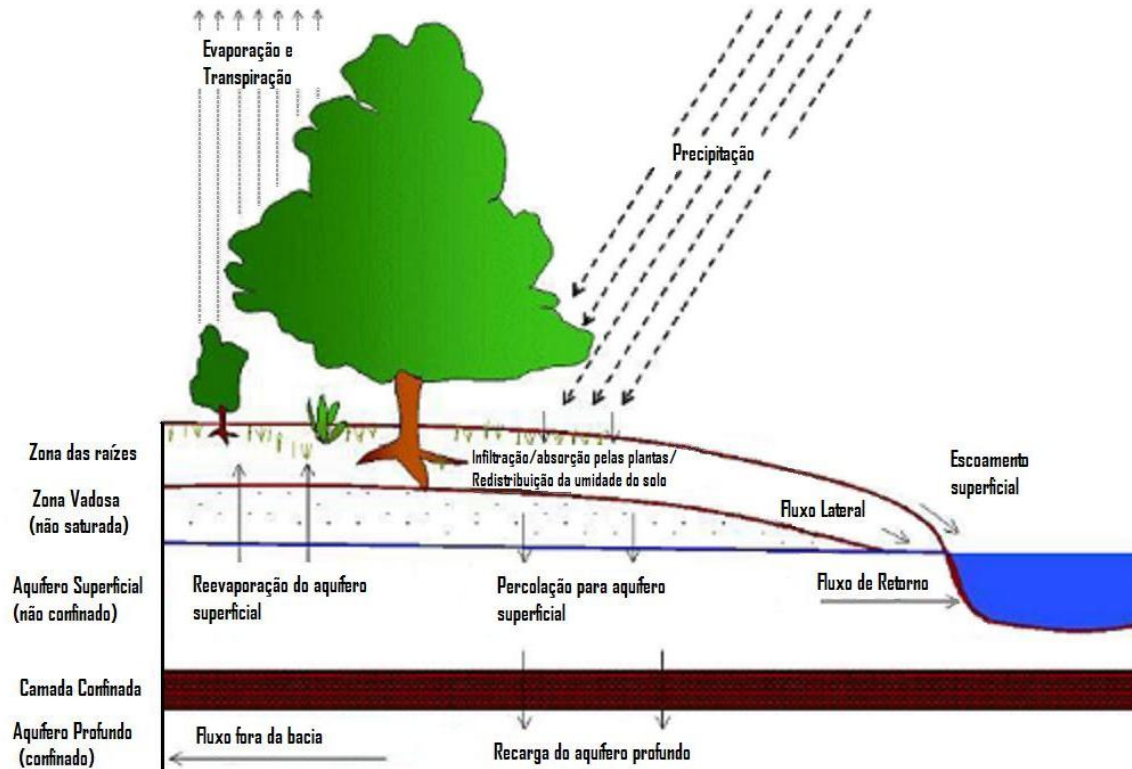


Figura 3.3 Representação esquemática do ciclo hidrológico (adaptado do manual de SWAT, NEITSCH et al, 2005).

3.6.1.1 Balanço Hídrico

O modelo hidrológico é baseado na visão de que a água entra, sai e é armazenada como descrito pela equação:

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

Onde:

SW_t : quantidade de água no solo no fim do dia (mm)

SW_0 : quantidade de água no início do dia i (mm)

t : intervalo de tempo em dia

R_{day} : a precipitação no dia i (mm)

Q_{surf} : escoamento superficial no dia i (mm);

Ea : quantidade de água que evapotranspirou no dia i (mm);

W_{seep} : quantidade de água que entrou na zona vadosa no dia i (mm)

Q_{gw} : quantidade de fluxo de retorno no dia i (mm).

O balanço hídrico é efetuado para cada Unidade de Resposta Hidrológica identificada, fornecendo melhor precisão e resultando em uma melhor descrição física dos processos.

Inicialmente o SWAT requer informações topográficas, podendo ser introduzidas informações de modelos de elevação digital (MDE). Em seguida podem ser incorporadas informações sobre os solos (conhecendo as suas características físicas, tais como condutividade). O modelo também necessita de informações sobre precipitação diária, temperatura máxima e mínima, e de outras variáveis meteorológicas, tais como umidade relativa do ar e radiação solar, que podem ter uma base mensal. Também é necessário conhecer a geologia da área a ser estudada (profundidade de aquíferos).

3.6.1.2 Análise climatológica

O clima de uma bacia hidrográfica fornece as entradas de umidade e energia que controlam o balanço hídrico e determinam a importância relativa dos diferentes componentes do ciclo hidrológico.

A água é interceptada pelas superfícies com vegetação, onde é mantida e está disponível para a evaporação. Quando é utilizado o método da curva número SCS para calcular escoamento da superfície, o armazenamento do dossel é levado em conta. Pelo contrário, se é utilizado o método de Green & Ampt, o armazenamento do dossel é modelado separadamente. O SWAT permite que o usuário ingresse a quantidade máxima de água que pode ser armazenada como dossel no índice máximo de área foliar para a cobertura /uso da terra.

O modelo possui uma ferramenta chamada "Gerador de Clima" onde os valores diários de tempo são gerados a partir dos valores médios mensais; sendo que o modelo gera um conjunto de dados meteorológicos para cada sub-bacia independentemente e

não há correlação espacial dos valores gerados entre as diferentes sub-bacias.

3.6.1.3 Fluxo superficial

Este tipo de fluxo é calculado usando valores diários de precipitação. O SWAT simula volumes da superfície de escoamento e picos para cada HRU. O volume de escoamento superficial é estimado usando uma modificação do método do número da curva SCS (1972) ou pelo método de infiltração de Green & Ampt (1911) (NEITSCH et al., 2005).

No método da curva número (CN), o número de curva varia de forma não linear em relação à umidade do solo. Desse modo o número de curva cai quando o solo está perto do ponto de secura e aumenta para cerca de 100 quando o solo está se aproximando da saturação.

A equação da curva de número SCS é:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)}$$

Onde:

Q_{surf} : escoamento superficial (mm)

R_{day} : precipitação do dia (mm)

S: capacidade máxima de armazenamento; dado pela seguinte equação:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

O fator CN é determinado diariamente, no modelo SWAT, podendo variar numericamente de 1 a 100. O limite inferior é representativo de um solo totalmente permeável e o limite superior de um solo que converterá toda a precipitação em escoamento (totalmente impermeável) (NEITSCH et al., 2005).

O método de Green & Ampt requer informações de precipitação sub-diários e calcula infiltração em função do potencial matricial úmido frontal (*wetting front matrix potential*) e da condutividade hidráulica efetiva. A parcela de água que não se infiltra torna-se o escoamento superficial. Para picos de escoamento, as estimativas são feitas

através de uma modificação do método racional.

O modelo de Green & Ampt é aplicado usando a lei de Darcy, onde se assume que a água infiltra no solo como um fluxo em um pistão, o que claramente separa a área úmida da zona não úmida. Esse método emprega a seguinte equação:

$$f_{inf,t} = K_e \cdot \left(1 + \frac{\Psi_{wf} \cdot \Delta\theta_v}{F_{inf,t}} \right)$$

Onde:

$f_{inf,t}$: Taxa de infiltração no tempo t (mm/hr)

K_e : Condutividade hidráulica efetiva (mm/hr)

Ψ_{wf} : potencial matricial da frente úmida (mm)

$\Delta\theta_v$: Alteração do conteúdo de umidade volumétrica através da frente úmida (mm/mm)

F_{inf} : Infiltração acumulada no tempo (mm)

Para o fluxo nos canais ou rios, o SWAT usa a equação de Manning para definir a taxa de vazão; a água flui através da rede de drenagem utilizando o método de armazenamento variável desenvolvido por Williams (1969) e o método de Muskingum; ambas as variações do modelo de ondas cinemáticas.

3.6.1.4 Fluxo subsuperficial

A infiltração refere-se à entrada de água no solo. Na medida em que a água entra no solo, este vai se umedecendo e fazendo com que a taxa de infiltração se reduza. A taxa inicial de infiltração depende do teor de água inicial e a taxa final da condutividade hidráulica saturada do solo.

A redistribuição é o movimento contínuo de água através do solo após a entrada de água (chuva ou irrigação) quando atravessa a superfície do solo. A redistribuição é causada por diferenças no conteúdo de água no solo e, quando o teor de água torna-se mais uniforme, a redistribuição cessa. Este componente em SWAT utiliza uma técnica de rota de armazenamento para prever o fluxo através de cada camada de solo na zona das raízes. A percolação ocorre quando a capacidade de campo é ultrapassada, a

zona inferior não está saturada e a taxa de fluxo é determinada pela condutividade hidráulica do solo. Se a temperatura for igual ou inferior à zero, não ocorre redistribuição nessa camada.

A percolação é calculada para cada camada de solo no perfil. A água infiltra somente se o conteúdo de água excede a capacidade de campo para essa camada e se a camada imediatamente abaixo não está saturada.

O volume de água disponível para infiltração na camada de solo é calculado como:

$$\begin{aligned} SW_{ly,excess} &= SW_{ly} - FC_{ly} && \text{if } SW_{ly} > FC_{ly} \\ SW_{ly,excess} &= 0 && \text{if } SW_{ly} \leq FC_{ly} \end{aligned}$$

Onde:

$SW_{ly,excess}$: volume de água drenável na camada de solo de um determinado dia (mm).

SW_{ly} : teor de água na camada de solo para um determinado dia.

FC_{ly} : teor de água da camada de solo na capacidade de campo.

A quantidade de água que se move de uma camada para outra é calculada pelo método de armazenamento, utilizando a equação:

$$w_{perc,ly} = SW_{ly,excess} \cdot \left(1 - \exp \left[\frac{-\Delta t}{TT_{perc}} \right] \right)$$

Onde:

$w_{perc,ly}$: Quantidade de água percolada para a camada inferior do solo em um determinado dia (mm)

Δt : intervalo de tempo (horas)

TT_{perc} : O tempo de viagem de percolação (horas)

O fluxo lateral subsuperficial é a contribuição para a corrente proveniente do fluxo subsuperficial no perfil do solo (0-2m). Este fluxo é calculado simultaneamente com a redistribuição. Um modelo de armazenamento cinemático é utilizado para prever

o fluxo lateral em cada camada de solo. Este modelo representa a variação da condutividade, inclinação e teor de água do solo.

3.6.1.5 Fluxo subterrâneo

O fluxo de base é a quantidade da corrente fornecida pelo fluxo das águas subterrâneas. O SWAT divide a água subterrânea em dois sistemas de aquíferos: os superficiais do tipo não confinado, que contribuem para o fluxo de retorno aos rios dentro da bacia, e o aquífero profundo tipo confinado, que contribui ao fluxo de retorno das correntes fora da bacia.

Para os aquíferos rasos o balanço hídrico é dado por:

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + w_{rchrg,sh} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{pump,sh}$$

Onde:

$aq_{sh,i}$: quantidade de água armazenada no aquífero superficial, no dia i (mm)

$aq_{sh,i-1}$: quantidade de água armazenada no aquífero superficial para o dia i-1 (mm)

$w_{rchrg,sh}$: quantidade de recarga que entra ao aquífero superficial no dia i (mm)

Q_{gw} : fluxo de águas subterrâneas ou fluxo de base no rio principal para o dia i (mm)

w_{revap} : quantidade de água que se move no solo em resposta às diferenças de água no dia i (mm)

$w_{pump,sh}$: quantidade de água retirada por bombeamento do aquífero no dia i (mm)

A recarga para qualquer aquífero é dada por:

$$w_{rchrg,i} = \left(1 - \exp\left[-1/\delta_{gw}\right]\right) \cdot w_{seep} + \exp\left[-1/\delta_{gw}\right] \cdot w_{rchrg,i-1}$$

Onde:

$w_{rchrg,i}$: quantidade de recarga que entra no aquífero no dia i (mm)

δ_{gw} : tempo de drenagem das formações superiores.

w_{seep} : total de água que sai do fundo do perfil do solo para o dia i (mm)

$w_{rchrg,i-1}$: quantidade de recarga que entrar no aquífero no dia i-1 (mm)

O total de água que sai do fundo do perfil do solo no dia i é dado por:

$$W_{seep} = W_{perc,ly=n} + W_{crk,btm}$$

Onde:

$W_{perc,ly=n}$: total de água percolada saindo da camada inferior para o dia i (mm)

$W_{crk,btm}$: quantidade de fluxo de água que passa através do limite inferior do solo devido ao fluxo de by-pass do circuito no dia i (mm)

A fração diária total de recarga pode ser direcionada para o aquífero profundo, e é afetada pelo coeficiente de percolação do aquífero.

O aquífero raso contribui ao fluxo de base no canal em cada sub-bacia e é dado por:

$$Q_{gw,i} = Q_{gw,i-1} \cdot \exp[-\alpha_{gw} \cdot \Delta t] + W_{rchrg,sh} \cdot (1 - \exp[-\alpha_{gw} \cdot \Delta t])$$

si $a_{qsh} > a_{qshthr,q}$

$$Q_{gw,i} = 0$$

si $a_{qsh} \leq a_{qshthr,q}$

Onde:

$Q_{gw,i}$: fluxo das águas subterrâneas no canal principal no dia i (mm)

$Q_{gw,i-1}$: fluxo das águas subterrâneas no canal principal no dia $i-1$ (mm)

α_{gw} : constante recessão do fluxo básico. Varia entre 0,1-0,3 em terrenos de baixa resposta de recarga e 0,9-1,0 em áreas com resposta rápida.

Δt : intervalo de tempo

$W_{rchrg,sh}$: quantidade de recarga que entra no aquífero raso no dia i (mm)

a_{qsh} : quantidade de água armazenada no aquífero raso ao início do dia i (mm)

$a_{qshthr,q}$: nível do umbral freático no aquífero raso para que passe água subterrânea ao rio principal (mm)

Para aquíferos profundos, o balanço hídrico é dado por:

$$aq_{dp,i} = aq_{dp,i-1} + W_{deep} - W_{pump,dp}$$

Onde:

$aq_{dp,i}$: quantidade de água armazenada no aquífero profundo para o dia i (mm)

$aq_{dp,i-1}$: quantidade de água armazenada no aquífero profundo para o dia i-1 (mm)

W_{deep} : quantidade de água percolada do aquífero superficial para o aquífero profundo (mm)

$W_{pump,dp}$: quantidade de água extraída do aquífero profundo por bombeamento (mm)

Se o aquífero é especificado como uma fonte de água de irrigação ou para abastecimento de água fora da bacia, o modelo permite a retirada deste montante para o dia determinado. Caso contrário, a água de entrada para o aquífero não é calculada para as contas do balanço hídrico e é considerada como perda do sistema.

3.6.1.6 Sedimentos

O modelo SWAT utiliza a equação modificada de perda de solo (MUSLE). Esta equação, ao contrário da equação de perda de solo (USLE), substitui o fator de energia de chuva por um fator de escoamento, o que melhora a previsão de saída sedimentos.

A equação modificada de perda de solo (MUSLE), é dada por:

$$sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG$$

Onde:

sed : produção de sedimentos para o dia i (ton)

Q_{surf} : volume de escoamento superficial (mm/ha)

q_{peak} : vazão pico (m³/s)

$area_{hru}$: área da HRU (ha)

K_{USLE} : fator de erodibilidade (0,013 toneladas métricas m² h / (m³-ton métricas cm))

C_{USLE} : fator de cobertura e manejo

P_{USLE} : fator de prática

LS_{USLE} : fator de topografia

$CFRG$: fator de fragmentos secundários

Para o transporte de sedimentos, o SWAT leva em conta os processos de degradação e deposição, dependendo da velocidade da corrente.

O modelo SWAT é muito versátil e integra vários processos ambientais. Embora seja adequado para prever volumes de água em uma bacia em uma escala anual de tempo, ele perde confiabilidade quando se consideram as escalas mensais e diárias devido a eventos de precipitação.

Sua modelagem do tipo contínuo o torna muito confiável para fenômenos de longo prazo, tais como a mudança da cobertura vegetal e das atividades agrícolas, além de reproduzir corretamente estes efeitos sobre os sistemas ambientais de regulação hídrica e qualidade da água.

3.6.2 Fase de roteamento do ciclo hidrológico

Uma vez que o SWAT define a carga de sedimentos e volume de água das vertentes que atingem o canal principal das sub-bacias, a propagação de sedimentos e a vazão é estimada para cada sub-bacia utilizando comando estruturado de modelagem hidrológica similar ao HYMO (*Problem-oriented computer language for building hydrologic models*) (WILLIAMS e HANN, 1972) e ROTO (ARNOLD et al., 1995), que é uma variação do modelo da onda cinemática (NEITSCH et al., 2005).

3.6.2.1 Propagação no Canal Principal

A propagação no canal principal pode ser dividida em quatro componentes: água, sedimentos, nutrientes e produtos químicos orgânicos.

Como a água flui a jusante, há alguma perda devido à evaporação e transmissão através do leito do canal. Outra perda potencial é a remoção da água do canal para o uso agrícola ou humano. O fluxo é direcionado através do canal usando o método do coeficiente de armazenamento variável desenvolvido por Williams (1969), ou o método de roteamento de Muskingum.

Para simulação do volume e da velocidade da água no canal, o SWAT utiliza a equação de Manning. O tempo de propagação é computado pela divisão do comprimento do canal pela velocidade (NEITSCH et al., 2005). Para tanto, são necessários o comprimento, a profundidade, largura e o número de canais, declividade lateral dos canais, declividade e número de planície de inundação e o número total de canais.

O transporte de sedimentos nos canais é função da deposição e degradação, que atuam simultaneamente. A deposição das partículas nos canais e nas áreas de planície de inundação de cada sub-bacia é baseada na queda de sua velocidade (segundo Lei de Stokes) e no tempo de deslocamento da mesma ao longo do canal. A produção de sedimentos é estimada como função da velocidade da vazão pico em cada canal.

3.6.2.2 Propagação nos depósitos

O balanço hídrico dos reservatórios inclui o fluxo de entrada, de saída, a precipitação na superfície, evaporação, infiltração a partir do fundo do reservatório e desvios.

Os reservatórios desempenham um papel importante no abastecimento de água e controle de inundações. O SWAT modela quatro tipos de corpos d'água: lagos, pântanos, depressões / buracos e reservatórios. Lagoas, banhados e depressões / buracos estão localizados dentro de uma sub-bacia fora do canal principal. A água que flui para essas massas de água deve ser originária da sub-bacia em que jaz o corpo de água. Os reservatórios estão localizados na rede de canais principais. Todos eles recebem água de bacias hidrográficas a montante do corpo de água.

3.7 Interface ArcSWAT

O programa SWAT pode ser usado como uma ferramenta adicional (*plug in*) no ArcView 3.2, no *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS) e no Arcgis 9.3. Possui um módulo para entrada de dados, gestão, guia do processo de cálculo e visualização dos resultados. Ele é especialmente adequado para a obtenção de dados em formato cartográfico, permitindo a superposição dos resultados com outros mapas. Desse modo, o modelo incorpora as vantagens da utilização dos programas SIG acima

citados.

A interface com o GRASS foi desenvolvida originalmente por EUA-CERL (U. S. Army Construction Engineering Research Laboratories), 1982-1995 e com o ArcView, e posteriormente com o ArcGIS pela ESRI (Environmental Systems Research Institute) , 1970-1980, Redlands, na Califórnia.

A interface ArcSWAT foi desenvolvida para a plataforma ArcGIS. O modelo de dados de ArcSWAT armazena os dados geográficos, numérico e texto de entrada e os resultados de SWAT.

Mitasova e Mitas (1998) realizaram uma caracterização dos tipos de ligações entre os SIG e modelos, onde a integração do modelo SWAT com os SIG está na categoria de integração sob uma interface comum com acoplamento forte, que é determinada pelas seguintes características:

- O modelo é desenvolvido fora do SIG e tem suas próprias estruturas de dados com a troca de dados entre o modelo e SIG ocultos dos usuários, embora em alguns casos, os arquivos de dados possam ser compartilhados.
- O SIG e o modelo estão ligados por meio de uma interface comum.
- A interface muitas vezes apoia a integração dos SIG e diferentes modelos para a simulação de sistemas complexos com processos inter-relacionados.
- A portabilidade é limitada.

O modelo de dados de ArcSWAT, mostrado no diagrama de funcionamento da interface ArcSWAT, conforme figura 3.4, é baseado na estrutura de dados de uma base geo-referenciada (*geodatabase*). Geodatabases são bancos de dados relacionais que também podem armazenar características geográficas (MacDonald, 1999). Ou seja, uma geodatabase é uma coleção de tabelas cujos campos podem armazenar uma forma geográfica (ie, um ponto, uma linha ou um polígono), uma string, ou um número e que estão relacionadas entre si através de campos-chave. Independentemente do número de tabelas e relacionamentos em um geodatabase, ele é armazenado em um único arquivo e seu conteúdo pode ser explorado através de sistemas de gestão de dados (DBMS) por exemplo Microsoft Access (OLIVERA et al., 2006).

A interface ArcSWAT proporciona a conversão dos dados de entrada em

informações para execução do modelo. A interface também é responsável pelo processo de delimitação da bacia e estabelecimento das Unidades de Respostas Hidrológicas (URH). As URH são áreas que apresentam igual combinação de cobertura e tipo de solo obedecendo ainda um intervalo de classe de declividade imposta pelo usuário, na qual o modelo SWAT promove a simulação.

O modelo de dados de ArcSWAT consiste em um banco de dados geográficos dinâmicos que armazena informações da área de estudo e uma base de dados geográfica estática que armazena informações específicas que não são do projeto, tais como tabelas de pesquisa e bancos de dados de valores de parâmetros padrão.

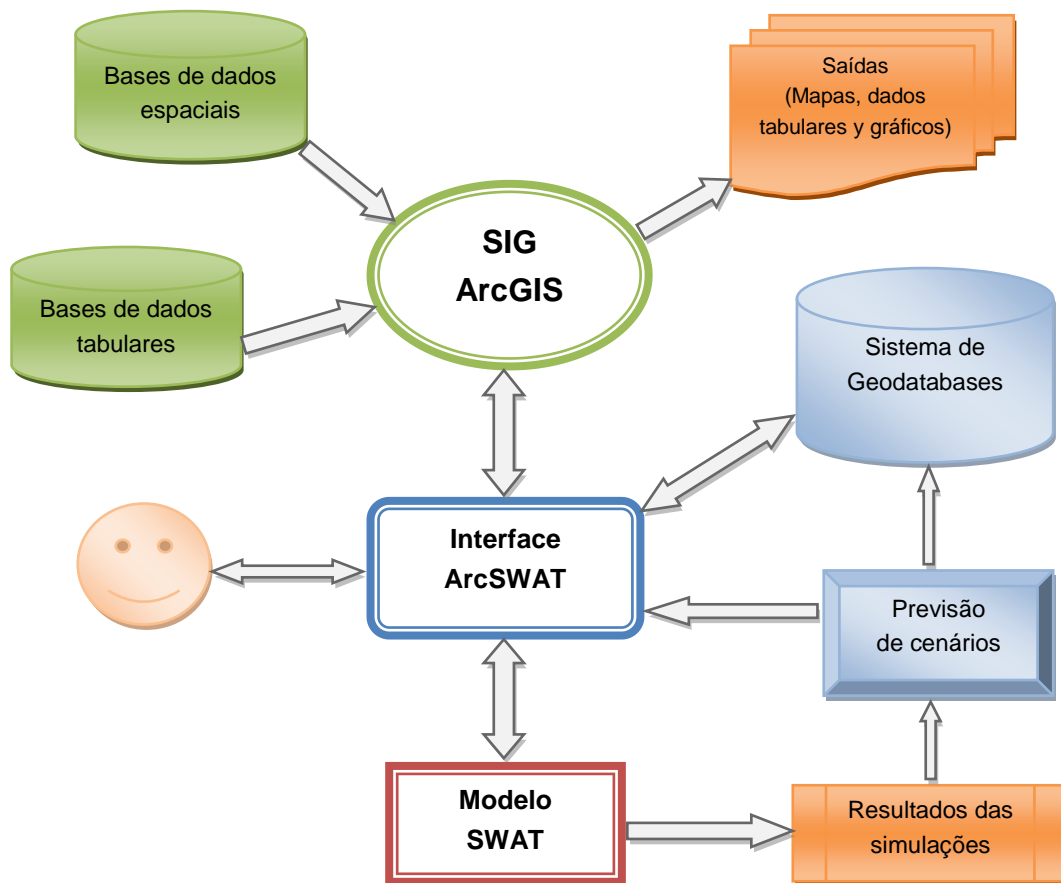


Figura 3.4 Diagrama do funcionamento da interface ArcSWAT em ArcGIS.

A interface ArcSWAT inclui módulos para a delimitação de bacias hidrográficas, definição das URH, geração de clima sintético, a exportação de dados do banco de

dados geográfico para preparar os arquivos de entrada em SWAT, a importação dos resultados de SWAT a partir dos arquivos de saída para o banco de dados geográfico dinâmico, análise de propagação de incerteza, visualização de dados e análise estatística e integração do modelo. Os três primeiros módulos incluem análise espacial utilizando os dados topográficos, uso da terra, tipo de solo, e meteorológicos. Os outros módulos conectam o modelo de dados do SWAT com a ferramenta de modelagem SWAT e suporta a análise hidrológica e integração do modelo (OLIVERA et al., 2006).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Generalidades e localização geográfica.

A bacia do rio Chambas localiza-se na vertente norte de Cuba, no extremo noroeste da província de Ciego de Ávila, e faz parte do Ecossistema Sabana-Camagüey (Figura 4.1). Ela é delimitada ao norte pela Baía de Buenavista, ao leste pela bacia do rio Calvário, ao oeste Bacia do Rio Jatibonico do Norte e ao sul com o divisor de água central da República de Cuba.

Esta bacia está localizada no limite entre as províncias de Sancti Spiritus e Ciego de Ávila, com uma extensão territorial de 385,26 Km² e está contida em polígono de coordenadas 700.160 e 722.305 m E, e 247.346 e 287.445 m N.

4.2. Caracterização do meio físico

4.2.1 Clima

O clima é típico de regiões tropicais com dois períodos bem definidos: a estação seca de Novembro a Abril, que concentra 20% da precipitação anual, e uma úmida de Maio a Outubro, com os restantes 80%.

As precipitações são monitoradas por 11 pluviômetros distribuídos em toda a área, que retornam um valor médio hiperanual de 1.500 mm. A precipitação anual é ligeiramente superior a 1.800 mm, de modo que a bacia é área mais chuvosa da província. No território são frequentes chuvas de curta duração e alta intensidade, principalmente devido ao seu terreno montanhoso. A evaporação anual é de 2.017 mm.

O regime térmico da bacia é caracterizado pela oscilação anual baixa da temperatura do ar. A temperatura média é de 25,5 ° C. Os valores nos meses de verão oscilam entre 26 e 27°C, com predominância de dias quentes e muito quentes. Nos meses de inverno as temperaturas variam entre 21 e 22°C, com predominância de dias agradáveis e frescos.



Mapa de Localização da Área de Estudo, Bacia Chambas

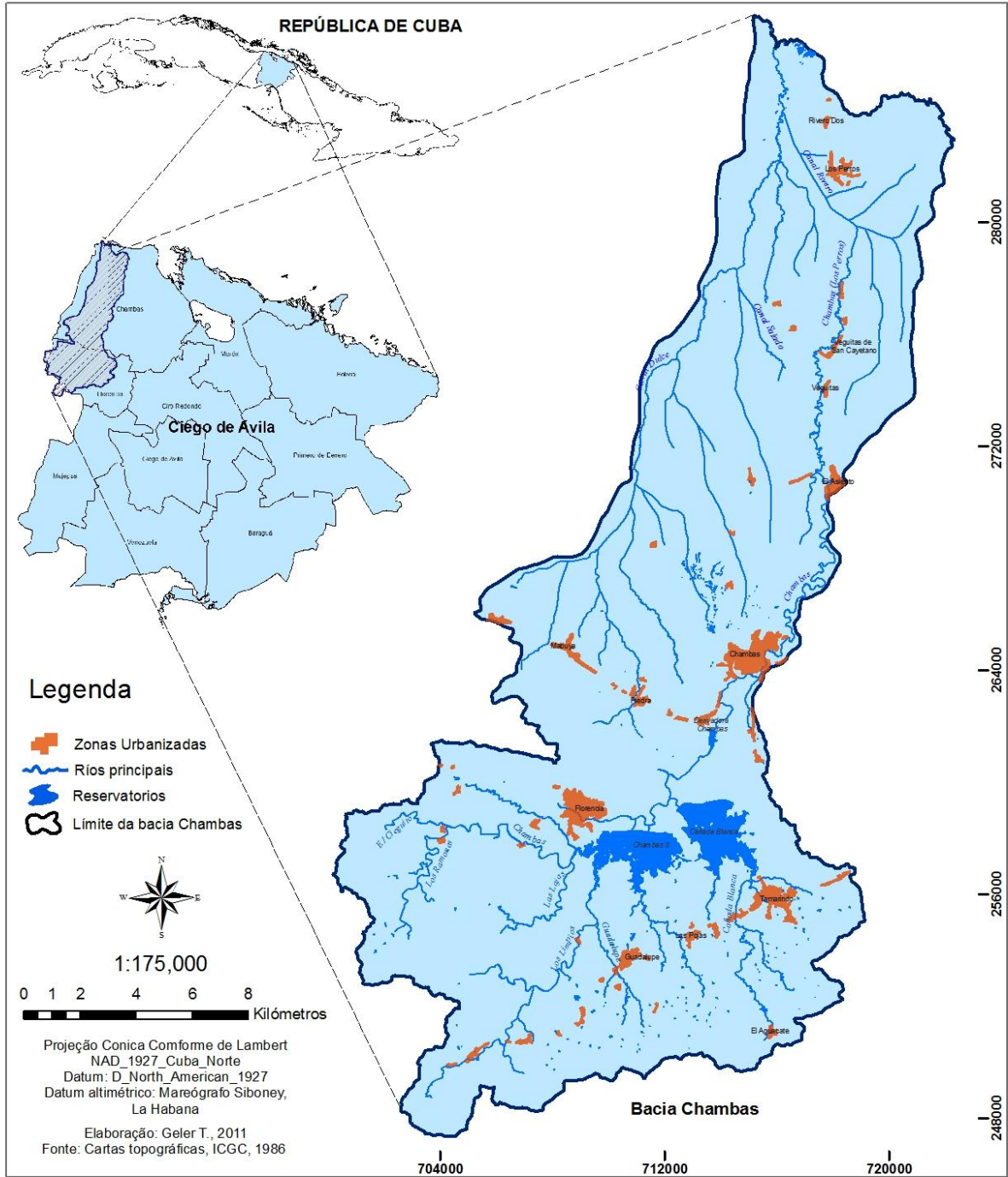


Figura 4.1 Mapa de localização da área de estudo, bacia do rio Chambas.

As direções predominantes do vento são do Leste e do Leste-Nordeste, que estão associadas com a influência dos ventos alísios. Estes ventos têm um componente de direção norte durante os meses de inverno que estão relacionados com a invasão de ar polar após a passagem de frentes frias. A umidade relativa do ar apresenta valores elevados ao longo do ano com valores mais baixos nos meses de março a maio e mais alto nos meses de setembro a novembro.

Há evidências de que o microclima de diferentes partes da área da bacia tem experimentado mudanças no comportamento das variáveis, após a construção do hidroconjunto “Liberção de Florência”, cujo impacto deve ser investigado.

4.2.2 Geologia

A bacia hidrográfica Chambas tem uma estrutura geológica complexa, apresentando uma variedade de formações, segundo o mapa geológico digital na escala 1: 100000, do Instituto de Geologia e Paleontologia (IGP) (GARCIA et al., 2001). Essas formações são descritas abaixo e mostradas na figura 4.2.

Depósitos palustres (p) - são formados por resíduos orgânicos, lamas carbonatadas, argilas salinizadas arenosas com restos carbonizados de troncos e raízes do mangue. Espessura inferior a 1 metro. Idade Holoceno (Q₄).

Estes depósitos são formados em dois ambientes fundamentalmente diferentes e, por essa razão há duas fases, pântanos de manguezais e de água doce do litoral. Nesta região estão associadas os manguezais.

Os pântanos de manguezais se originam no mar e seu desenvolvimento representa um crescimento de terra à custa do mar na beira do mangue, que é a linha da costa (a fronteira entre o mar e a terra).

Os pântanos de manguezais são formados a partir de restos de plantas e lama carbonatada, já que a energia dos processos da onda em águas costeiras rasas ocupadas por mangues é pequena e raramente surgem condições favoráveis para a entrada de material terroso. Mas entre esses depósitos de manguezais também há fases carbonatado-argilosas e argilosas.

Mapa Geológico, Bacia Chambas

Legenda

Formação Geológica

- Depósitos Palustres (p)
- Depósitos eluvio-clovio-proluviales (ec)
- Camacho (cmc)
- Güines (gn)
- Chambas (chm)
- Tamarindo (td)
- Marroquí (mrq)
- Vega (vga)
- Olistostroma Taguasco (tg)
- La Rana (lr)
- Provincial (pv)
- Mata (mt)
- Palenque (pq)
- Cabaiguán (cg)
- Paraiso (pr)
- Trocha (tr)
- Punta Alegre (pa)
- Associação Ofiolítica-Basaltos (sgc)
- Associação Ofiolítica-Diabasas (zr)
- Associação Ofiolítica-Gabros (ns)
- Corpos de serpentinito (s)
- Intrusivos-Cuarzodioritas (dQ)
- Intrusivos-Granodioritas (gd)

- Falhas
- Zonas Urbanizadas
- Rios principais
- Reservatorios
- Limite da bacia Chambas

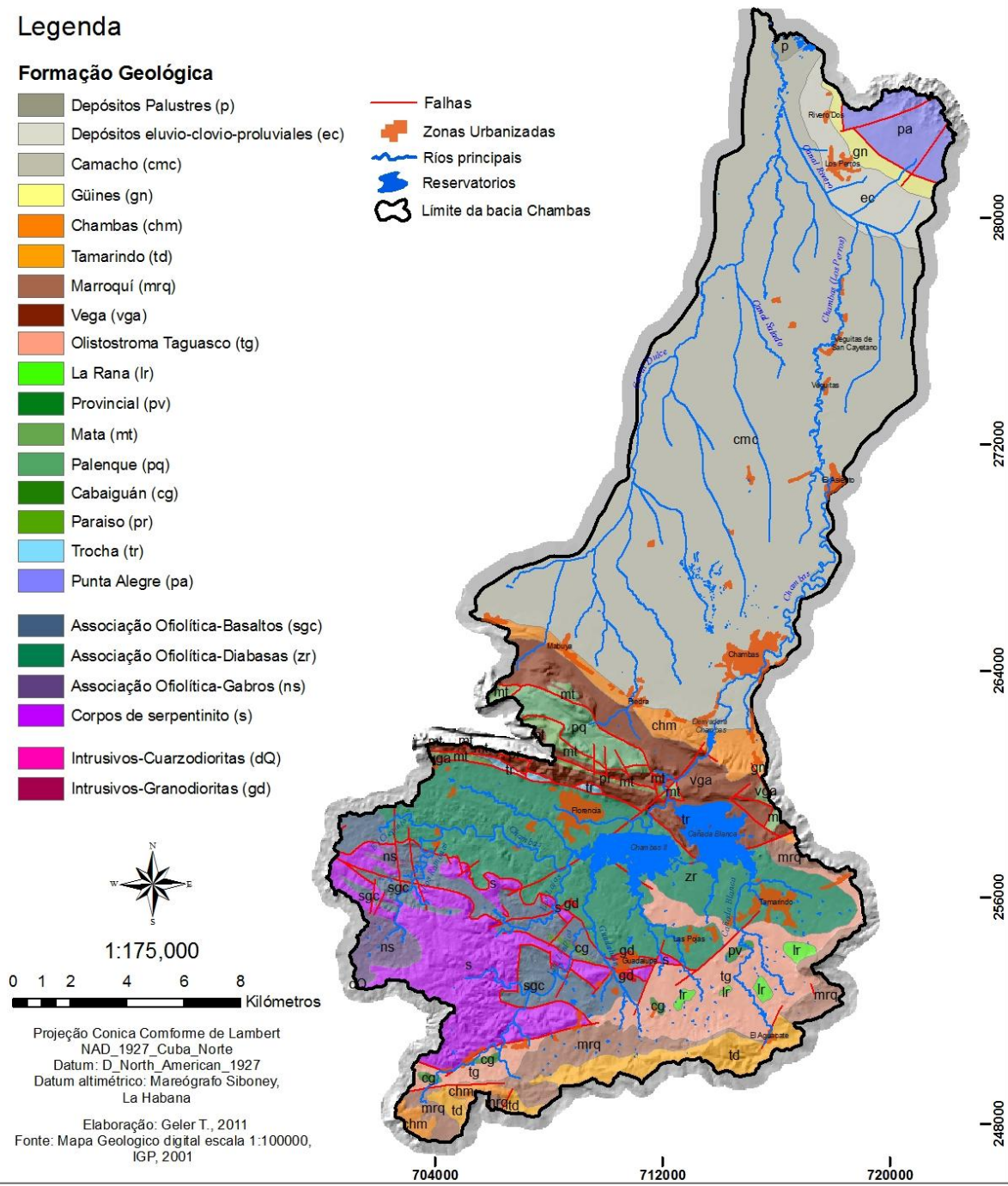


Figura 4.2 Mapa Geológico da bacia Chambas.

Depósitos eluvio-coluvio-proluviales (ec) - Eles consistem de argilas, argilas arenosas e areias. Os depósitos eluvio-colúvio-proluviales de idade do início do Pleistoceno-Holoceno (Q_{1-4}) variam de acordo com a composição litológica das quatro variedades de rochas em que se desenvolvem as crostas de intemperismo (granitóides, serpentinitos, xistos e rochas vulcânicas). Estes depósitos sobrepõem indefinidamente às rochas em que eles se desenvolvem e ocupam a superfície de modo que eles não são cobertos por outros sedimentos. Eles não têm fósseis, depositando-se em um ambiente tipicamente continental, sob condições subaéreas com características de clima úmido o suficiente para causar o intemperismo das rochas. Sua espessura é variável, variando de 5 -10 m.

Fm Camacho (cmc) – Formada por siltes areno-argilosos e argilas siltosas com intercalações de cascalho finas, concreções de carbonato e cristais de gesso.

Jaz discordantemente sobre as formações Arroyo Blanco, Caibarién, Chambas, Grande, Guines, Mata, Tamarindo, Vega, o grupo Remédios e os sedimentos aluviais velhos. Seu limite superior é erosivo. Idade do Pleistoceno superior (Q_3) e espessura de até 3 m.

Fm Güines (gn) - Está composta de calcários fossilíferos, biohémicas, dolomítico, micriticas, dolomitas, lentes ocasionais de margas calcárias, calcarenitos.

A coloração variável é branco, branco acinzentado, branco amarelado, branco rosado, marrom-amarelada, creme, cinza claro frequentemente com manchas vermelhas de hidróxido de ferro e muitas vezes estão cobertas por solos vermelhos.

Jaz concordantemente sobre as formações Arroyo Blanco, Caibarién, Cantabria, Carmita, Margarita, Mataguá, Perla, Saladito, Santa Teresa, Trocha, Vega, Vía Blanca, o Complexo Mabujina e os granitoides. Está coberta concordantemente pela formação Arabos e discordantemente pelas formações Camacho, Guevara, Vedado e Villarroja. Transição lateral com a formação Paso Real.

Idade Mioceno Inferior na parte alta-Mioceno superior Basal (N_1^{2-3}) e uma espessura entre 50 e 1.670 m.

Fm Chambas (chm) – está formada por Calcários microgranulares, poroso, calcários argilosos muito macio com transição para margas, calcários biogênicos branco amarelados.

Representada ao S e SE da cidade de mesmo nome, jaz discordantemente sobre o Fm. Arroyo Blanco e Marroquí. É coberta discordantemente pela Fm. Paso Real e depósitos de quaternário, com transição lateral a Fm. Tamarindo.

A sua espessura está entre 100 e 1.500 m, e sua idade é semelhante à da Fm. Tamarindo Oligoceno (P_3^2).

Fm Tamarindo (td) - Formado por Alternância de calcário, calcarenito, marga e argila, de cor branco-amarelada, verde-amarelado. Os calcários são de vários tipos, foraminíferos, biodetríticas, microgranulares, biohémicas, recristalizado, dolomitizado.

Encontra-se discordantemente sobre as formações Arroyo Blanco, Marroquí, Vertientes e o olistostróma Taguasco. Ele é coberto transgressivamente pela Fm. Paso Real. Transição lateral para Fms. Chambas e Jatibonico.

É geralmente representado a NE e SW da cidade de Tamarindo, ao norte de Ciego de Ávila. Idade Oligoceno (P_3^3) e a espessura desta unidade varia de 500 a 650 m.

Fm Marroquí (mrq)- Constituída por conglomerados brechosos, arenito, gravelitas, calcárenito, calcário e margas.

Os conglomerados contêm fragmentos com dimensões de grãos e pequenos seixos, seixos raramente médios e grandes de rochas carbonáticas (75-80%) e de diabásas andesítica, serpentinitos e silicitas (Jaspe). A matriz é de calcários clásticos com misturas de fragmentos vulcânicos. Os arenitos mostram estratificação horizontal, raramente oblíquo são polimíticos para biocalcarenitas. As misturas terrígenas são de quartzo, feldspato potássio, plagioclase e fragmentos de rocha vulcânica.

Encontra-se discordantemente sobre o Fm. Vertientes. Está coberta discordantemente pelas formações Chambas, Paso Real y Tamarindo, a transição lateral com a Fm. Arroyo Blanco.

Esta formação é representada no povoado Marroquí cerca de 9 km ao sul do povoado Tamarindo de idade Eoceno Superior (P_2^{2-3}) e espessura de 300 m.

Fm Vega (vga)-formada por brechas calcarias composta de fragmentos de calcário, dolomita, e uma menor quantidade sílex (pedernales) e raramente gabros e serpentinitos. Transições ou se intercalam com calcários fragmentários, brechas e arenitos polimíticos, conglomerados, siltitos, margas, argilas.

O tipo litológico predominante são as brechas, os fragmentos incluídos nas brechas polimíticas são de calcário, silicitas, arenito, pedras vulcânicas, gabroides, serpentinitos, anfibolitos e granodioritos.

Representada na parte oriental da Serra de Jatibonico jaz discordantemente sobre o Fm. Grande e o Grupo Remédios. É coberta discordantemente pela Fms. Arroyo Blanco, Camacho, Guevara e Guines. Idade Paleoceno - Eoceno Médio ($P_1 - P_2^2$) e a sua espessura não foi determinada.

Olistostroma Taguasco (tg)- Representa uma sequencia caótica polimíticas, constituída em sua base por conglomerados e conglobrechas polimíticos. A parte superior é constituída por uma alternância de arenitos flyschoides, margas e calcários com intercalações de conglomerados detritos rochas do Cretáceo.

Esta sequencia caótica policomponente contém blocos e olistolitos de rochas sedimentares, vulcano-sedimentarias e vulcanogênas. Têm sido relatados blocos e olistolitos de gabros, diabásios, serpentinitos, ultrabasitas serpentinizadas, calcário, andesito, tobas, tufitas, granitóides, sílex (pedernales), quartzo e outros. A matriz deste olistostroma é terrígena e geralmente estratificada, flyschoides, de finas camadas de arenitos de grãos diferentes, margas, siltitos e argilas, conglomerados polimíticos ocasionalmente. Os olistolitos dentro do olistostroma podem atingir proporções até cerca de 1 km.

Esta formação aflora a partir do limite da província de Ciego de Ávila, estende se ao leste ao longo de uma faixa até a estrada de Marroqui para Tamarindo, a W-SW de Tamarindo também existem alguns afloramentos não muito grandes.

Encontra-se discordantemente sobre as Fms. Cabaiguán, Caobilla, Dagamal, La Rana, Provincial e Zurrupandilla, e está coberta discordantemente pelas Fms. Arroyo Blanco, Majagua e Zaza.

Idade Paleoceno superior - Eoceno Inferior. ($P_1 - P_2^1$) e sua espessura varia entre 300 e 400m.

Fm La Rana (lr)- está composta principalmente por andesitas e andesito-basaltos, lavobrechas, conglomerados tobáceos, arenitos, siltitos e tufitas.

A formação se originou devido a uma intensa atividade vulcânica, especialmente em um ambiente submarino de pouca profundidade. Jaz transgressiva e

discordantemente sobre as formações de Cabaiguán e Provincial. Ele é coberto discordantemente pelas formações Taguasco, Elizabeth, e Zaza, é coberto com relações pouco claras pela Fm. Dagamal.

Idade Cretáceo Superior (Coniaciano-Santoniano) (K_2^{cn-st}). Tem uma espessura de aproximadamente 800m.

Fm Provincial (pv)- composto de calcário de diferentes tipos, margas, conglomerados, arenitos e tufos e tufitas subordinadamente.

Os calcários podem ser detríticas, micríticas, biogênicos e biodetríticas, entre outros. Seu limite inferior é de transição para as fms. Cabaiguán e Matagua, embora em alguns locais se indiquem discordância. Coberta concordantemente pela Fm. Seibabo.

Espessura entre 400 e 800m. Idade Cretáceo Inferior (Albiano) parte superior a Cretáceo Superior (Cenomaniano) ($K_1^{al}-K_2^{cm}$).

Fm Mata (mt)- a constituem calcários microgranulares, argilas aporcelanadas em camadas finas a meias. Silicítas primárias, sílex (pedernal) fragmentário assim como intercalações de conglomerados brechosos calcários e raramente argila.

Seus afloramentos se limitam também a faixas alongadas, embora em outros setores permaneça intimamente associado e discordante com a formação Paraíso e os olistolitos no olistostroma em Vega Alta. É uma formação predominantemente de carbonato e em menor proporção silício e terrígenos. Os calcários são cinza a branco. Os sílices (pedernal) são marrons ao preto e formam lentes ou nódulos na pedra calcária.

Encontra-se discordantemente sobre a Formação Paraíso, da mesma forma que é coberto pelas formações Arabos, Caibarién, Camacho, Grande, Lutgarda e Paso Real. A idade é Cretáceo Inferior (Albiano), do Cretáceo Superior (Cenomaniano) ($K_1^{al}-K_2^{cm}$) e espessura entre 50 - 110 m.

Fm Palenque (pq)- Nesta predominam os calcários dolomitizados e biocalcarenites de cores claros brancos, creme, cinza e rosa.

Encontra-se concordante sobre a Fm. Perros. Ela está coberta por concordantemente pela Fm. Vilató e discordantemente pelas Fms. El Embarcadero, Grande y Purio. Sua idade é Cretáceo Inferior (Albiano), Cretáceo Superior (Cenomaniano) ($K_1^{al}-K_2^{cm}$). Sua espessura pode ser superior a 1000 m.

Fm Cabaiguán (cg)- está formada por tufas cristalinas e vítreas de composição média e moderadamente ácida, tufitas, arenitos, siltitos, andesitos e dacites.

Sua idade é Cretáceo Inferior (K_1^{al}) e espessura entre 1.000 e 3.500m.

Fm Paraiso (pr)- Esta composta de calcários de diferente coloração, microgranulares, ligeiramente argilosos, às vezes maciços ou laminados predominam as maciças. Os calcários da unidade contêm sílex (pedernal) preto e em menor quantidade de outras variedades cinza, marrom cinza e cinza escuro.

Encontra-se concordantemente sobre a Formação Margarita. Ela esta coberta discordantemente pelas formações Arabos, Lutgarda, Mata e Vega.

A idade da unidade é Cretáceo Inferior (Hauterivian Superior-Barremiano) (K_1^{h-b}) Sua espessura varia de 600 - 200 m.

Fm Trocha (tr)- é composto por calcário principalmente são encontrados calcário argiloso, dolomitas e calcários oolíticos. Os calcários são escuro, cinza escuro, cinza acastanhado, cinza creme, creme e mesclado.

Esta formação aparece em faixas alongadas em direção noroeste-sudeste ou como blocos dentro do olistostroma Vega. É característica para esta unidade a presença de manchas de betume. É muito frequentemente a presença de silicita em forma de lentes, folhas ou concreções irregulares, a cor varia do cinza ao marrom cinzento. Os calcários dessa formação apresentam muitas vezes fenômenos cársticos.

Seu subjacente não é observado. É coberta concordantemente pela formação Margarita e transgressivamente pela formação Arabos e Guevara.

Idade Jurássico Superior (Tithoniano) (J_3^t). Sua espessura varia de 150 - 170 m, pode chegar a até 400 m.

Fm Punta Alegre (pa)- é composto por brecha de gesso com fragmentos de calcário, siltito, arenito e tufitas.

A idade é Jurassic Inferior - Médio (J_1 - J_2) e sua espessura é de aproximadamente 2.000 m.

Na bacia Chambas existem dois tipos de *rochas intrusivas*:

- Granitoides do arco vulcânico Cretáceo (gd) - granodiorito, quartzodioritas, tonalitos e dioritos raramente da Fm. Granodiorito-granítica de idade (K_2^{cm-cp}).

- Granitóides da associação ofiolítica (dQ) - Quartzodioritas, tonalitos, plagiogranitos e raramente dioritos da associação ofiolítica. Eles consistem de corpos pequenos e médios e / ou diques de granitóides que afloram dentro dos ofiolitos, idade (J₂₋₃).

Associação Ofiolítica

Nesta região os representantes dos ofiolitos da faixa norte se moveram para o norte e aparecem em uma mélangé (mistura de rochas) intensamente deformada. Estão interligados com rochas da margem continental de Bahamas do arco vulcânico Cretáceo e sedimentario do Campaniano Superior ao Eoceno que no seu conjunto jaz sobre a margem continental.

Nas zonas mais deformadas os ofiolitos se manifestam em blocos contidos em uma massa serpentinitica triturada ou foliada.

Os ofiolitos aqui estão compostos pelos complexos ultramáficas metamorfisados ou tectonitos, ultramáfica-cumulativos e gabroide, diabásios Zurrapandilla e efusivo-sedimentar Sagua La Chica.

- Corpos de serpentinito (s) - ultramafitas serpentinizadas até serpentinito altamente foliadas, às vezes com blocos embutidos de várias partes da associação ofiolítica e de outros complexos de rochas, de idade J₂₋₃.
- Gabros Olivínicos, troctolitos, gabros anfíbolizados às vezes em faixas quartzo-dioritos, tonalitos, plagiogranitos e raramente dioritos (ns), de idade J₂₋₃.
- Diabásas massivas e diques de diabásas (zr), de idade J₂₋₃.
- Basaltos afíricos amigdalares e porfíricos, silicitas radioláricas e argilitos (sgc), de idade J₃^t.

4.2.3 Geomorfologia

A topografia da bacia é variada, sendo que em sua parte superior e central a topografia é mais complexa, com as cristas das elevações que limitam a bacia ao nordeste, leste e sudeste de altitude média entre 200 - 300 m. Na parte interna do vale de Florencia, a topografia é ondulada e colinosa no sudoeste e oeste com elevações de 120 - 150 m.

Depois de deixar a zona colinosa acima, aparece uma planície de forma muito plana pouco declivosa até o litoral norte. O vale e as serras que fazem fronteira com essa parte da bacia são significativamente afetados e alterados pela ação humana (atividades na construção de estradas, obras hidrotécnicas, habitação e exploração inadequada dos recursos da terra e da floresta). Também as partes média e baixa têm sido notavelmente antropizadas por culturas, extração de areia e agregados para construção, entre outros.

O relevo se caracteriza por duas formas predominantes, de acordo com Valero e Gonzales (2001): os terrenos montanhosos distribuídos principalmente ao sul e centro da bacia, associados à extremidade do leste da Serra de Jatibonico e o terreno de planícies em suas diferentes formas que ocupam a maior parte do território entre os povoados de Chambas e Punta Alegre.

As planícies podem ser divididas em dois grupos, de acordo com o seu relevo:

- Abrasivas e abrasivo-acumulativas; baixas, planas, parcialmente alagadas, formadas possivelmente durante a transgressão do Holoceno final com alturas de 2 - 7 m (SNM) e são altamente erosivas; estão localizadas perto da cidade de Punta Alegre e ao longo da costa.
- Fluviais (planícies e terraços): erosivas e com terraços, suavemente colinosas, muito seccionadas, de possível idade Pleistoceno médio tardio; este tipo de relevo é fundamentalmente associado com as bacias dos rios Jatibonico do Norte, Chambas e Calvário.

O relevo tipo, serras e montanhas pequenas estão representados pelo seguinte:

- Serras de cadeias tectônicas erosivas, intensamente seccionadas, colinosas, com predominância de processos de encostas. Este tipo de relevo é representado principalmente pela cadeia de alturas que limitam e rodeiam as fronteiras da Bacia do Rio Chambas.
- Serras de cadeias estruturo-litológicas de blocos aplanados com predomínio de processos cársticos representados nas alturas de Punta Alegre.

O relevo na parte centro-sul da bacia Chambas, é muito ondulado, fazendo parte da Serra de Jatibonico do Norte, com altitudes que variam entre 120 e 445 metros

(SNM). A partir do povoado Chambas até a foz do rio do mesmo nome, a topografia é plana, com algumas ondulações no sopé da cidade de Punta Alegre.

4.2.4 Pedologia

Em geral os solos na bacia são divididos em três secções principais de acordo com suas características e topografia. Na seção sul, dominada por solos Pardos, Ócrico e Fersialítico Pardo Rojizo Ócrico. Na seção do meio, predominam os subtipos Lithosol Eútrico e Pardo Mullido ou Vértico. Na parte norte, predominam os solos do tipo Vertisol Crómico Gléyico em profundidade, (LÓPEZ, 2011).

A seguir é apresentada uma caracterização dos tipos e subtipos de solos encontrados na bacia, de acordo com a Nova Versão da Classificação Genética de Solos em Cuba (HERNÁNDEZ et al., 1999). Sua distribuição areal pode ser visto na Tabela 7.3 do capítulo 7 desta tese e a sua correlação com diferentes classificações internacionais no nível dos táxons superiores, incluída a classificação de solos do Brasil, pode ser visto na Tabela 5.8 do capítulo 5.

O subtipo **Ferralítico Amarillento Lixiviado Típico**, (IIIBE40) se caracteriza por intensa alteração dos minerais, com lixiviação da maioria das bases alcalinas e alcalino térreas e parte da sílica, formação de minerais argilosos 1:1 e acúmulo de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Apresenta horizonte B ferralítico, cor marrom avermelhado com grandes manchas de amarelo-marrom; os horizontes inferiores são de cor amarelado com alguns nódulos ferruginosos. Verificou-se em seus resultados analíticos de laboratório e na descrição do perfil, que nos horizontes inferiores há uma mudança textural por acumulação de argila, e uma capacidade de troca catiônica (CTC) no horizonte "B" de 15,37 cmol (+) kg⁻¹ de argila, aumentando com a profundidade até 19,73 cmol (+) kg⁻¹. A textura é areia franca (aF), que é caracterizada por drenagem excessiva nos horizontes superiores e moderada a lenta em profundidade. É avaliado de moderadamente humificado, com profundidade efetiva moderada⁵, relevo suave ondulado, e está localizado ao sul da bacia e ocupa uma área de 19,03 ha.

O subtipo **Fersialítico Pardo Rojizo Mullido** (VF27) se caracteriza pela presença de minerais argilosos do tipo 2:1 e 1:1, com predominância do primeiro, com conteúdo de Fe₂O₃ livre na fração fina superior a 3%, perfil ABC cor vermelho ou em

⁵ Classes de profundidade efetiva são mostradas na Tabela 5.10

alguns dos horizontes (horizonte fersialítico) e capacidade de troca catiônica em argila maior de 20cmol/kg. As características gerais do subtipo são dadas por uma estrutura bem desenvolvida, geralmente nuciforme⁶, granular, leves e soltos em seco cor escura, tonalidade e intensidade menor 3,5 em estado úmido e menor de 5,5 em seco, saturação por bases igual ou superior a 50%, deve ser de pelo menos 18 cm de espessura, se não há contato lítico, no último caso deve ser igual ou superior 10cm. Na bacia ocupam uma área de 1.052,69 ha com alto teor de matéria orgânica, textura Franco-argilosa e profundidade efetiva pouco profunda com a presença em ocasiões de cascalho e rochas. A drenagem geral é excelente, o relevo extremamente colinoso, com declividade maior de 60%. O seu uso agrícola é limitado quando a declividade é maior do que 8,0%, dedicando-se a culturas permanentes (pastagens, floresta ou sistemas de silviculturas) ou temporárias em rotação. Recomenda-se aplicar medidas de conservação simples e complexas e de melhoramento do solo.

O subtipo **Fersialítico Pardo Rojizo Ócrico** (VF30) apresenta características similares ao subtipo anterior com as características específicas deste subtipo. Aparecem na cor com tonalidade e intensidade > 3.5 ou têm um teor baixo de matéria orgânica, ou moderadamente profundo, e também pode ser duro e maciço, especialmente quando está seco. Na bacia a textura é Franca, com 73.1% de cascalho e 79.8% de rochas, e o relevo suavemente ondulado a fortemente ondulado com drenagem geralmente excessiva. Ocupam uma área de 6.313,97 ha. Uso agrícola limitado, principalmente recomendado para culturas permanentes ou temporárias em rotação, por onde é aconselhável a aplicação de medidas de conservação e melhoramento do solo.

Os subtipos de solos antes mencionados possuem um horizonte principal diagnóstico fersialítico e estão localizados principalmente na parte sul e central da bacia e na parte norte estão localizados quatro pequenos polígonos.

Os solos Pardos ocupam uma área de 10.823,14 ha. São os mais extensos e mais importantes para o desenvolvimento da agricultura na parte central e sul da bacia

⁶ A estrutura *nuciforme*: as faces são planas e os limites formam arestas e ângulos aguçados. O tamanho dos agregados do solo são entre 5 e 10mm (PANEQUE et al., 1977). Esta é semelhante à estrutura em blocos angulares, utilizada pelo IBGE (2007).

principalmente, na parte norte da bacia onde se localizam em pequenas áreas. As características do tipo são dadas por um horizonte B sialítico, a intensidade do intemperismo próprio do processo de bissialitização, predominância de minerais do tipo 2:1 na fração argila, com relação Si_2/Al_2O_3 maior que 2,0, a capacidade de troca catiônica $>30 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ de argila, cor (marrom, marrom-amarelado, às vezes marrom avermelhado) e estrutura de agregados grandes, geralmente estáveis. Eles também têm perfil A(B)C, formados a partir de diferentes rochas, exceto granitóides.

O subtipo **Pardo Cálcico** (VIG6) apresenta um horizonte cálcico que possui 15 centímetros de espessura e teor de $CaCO_3$ maior do que 10% com relação ao horizonte subjacente. A drenagem geralmente é boa, a declividade é levemente ondulada, e a profundidade efetiva varia de muito pouco profundo a moderadamente profundo. Ocupam uma área de 128,86 ha. O Uso agrícola é principalmente de culturas tolerantes ao carbonato (culturas, pastagens, floresta ou sistemas silviculturais) ou temporárias em rotação. Recomenda-se a aplicação de medidas de conservação e melhoria do solo.

O subtipo **Pardo Mullido** (VIG27) se caracteriza por uma estrutura bem desenvolvida, geralmente nuciforme, granular, friável e soltos em seco, cor escura, saturado, deve ter pelo menos 18 cm de espessura se não há contato lítico e neste último caso deve ser igual ou superior a 10 cm. Eles manifestam-se na bacia, com uma profundidade efetiva moderadamente profunda, tem um elevado conteúdo de matéria orgânica, com textura Franca, de drenagem geral moderada e a declividade fortemente colinosa. Estes são os solos mais produtivos na bacia quando apresentam um relevo estável, com profundidade efetiva mediana e são humificados.

O subtipo **Pardo Ócrico** (VIG30) se caracteriza por uma cor com tonalidade e intensidade > 3.5 ou têm um teor médio ou baixo de matéria orgânica, ou muito pouco ou moderadamente profundo, também pode ser duro e maciço, especialmente no estado seco. Na bacia a textura é Franco argilo arenosa e Argilo arenosa, a declividade varia de muito plana a extremamente colinosa e a drenagem geralmente é moderada. Ocupam uma área de 5.023,05 ha. Uso agrícola limitado, pelo conteúdo de cascalho e rochas. São recomendados para as culturas temporárias em rotação e pastagem, quando a declividade é mais do que 8,0% se recomenda para culturas permanentes e

forestais principalmente. Recomenda-se a aplicação de medidas de conservação e melhoramento do solo.

O subtipo **Pardo Vértico** (VIG42) se caracteriza por serem solos argilosos que em algum momento, ou na maioria do ano, apresentam uma ou mais das seguintes características: rachaduras, slickensides (faces de deslizamento), agregados estruturais prismáticos não bem definidos que pode ser qualificado como um Vertissolo. Na bacia se manifesta uma textura argilosa pesada, com profundidade efetiva desde profundo a muito pouco profundo, matéria orgânica variável de muito humificado a pouco humificado. A drenagem é geralmente lenta e a declividade levemente ondulada. Ocupam uma área de 4.049,19 ha. Uso agrícola limitado, quando a inclinação é mais do que 8,0% são recomendados para as culturas permanentes. Principalmente, nas áreas de relevo mais estável podem ser plantadas culturas temporárias em rotação. Recomenda-se a aplicação de medidas de conservação e de melhoramento do solo.

O tipo **Rendzina** forma-se a partir da rocha calcária, dura e semi-dura sempre que apresenta o horizonte principal humificado com perfis de tipo AC, ACD ou raramente A(B)C e nunca tem um horizonte B definido. Geralmente tem horizonte superficial com restos orgânicos pouco decompostos e o húmus é muito cálcico. Os subtipos são identificados pela cor do horizonte humificado. Ocupa uma área total de 1.358,64 ha. Em ambos o uso agrícola é limitado, quando a declividade é mais de 8,0% são recomendados principalmente para culturas permanentes e a aplicação de medidas de conservação e melhoria do solo.

O subtipo **Rendzina Roja** (VIIJ28) se caracteriza pela cor vermelha. Na bacia se manifesta com a textura franco argilosa, profundidade efetiva muito pouco profunda, alto teor de matéria orgânica que varia de humificado a muito humificado e a declividade é extremamente colinosa, com mais de 60,0% de declive, e em geral a drenagem é rápida. Ocupam uma área de 147,62 ha.

O subtipo **Rendzina Negra** (VIIJ34) se caracteriza pela cor preta, cinza ou marrom escuro. Na bacia se manifesta pela textura franco argilosa, com profundidade efetiva muito pouco profunda, alto teor de matéria orgânica que varia de humificado a muito humificado e a declividade é extremamente colinosa, com mais de 60,0% de declive, a drenagem em geral é rápida. Ocupam uma área de 1.211,001 ha.

A formação do Agrupamento **Vertissolo** está relacionada com sedimentos fluviais, fluvio-deluviais, fluvio-marinhos com forte conteúdo de argila no perfil, num meio hidromórfico antigo ou semihidromórfico. Acima desta camada grossa de argila, devido à alternância de períodos de seca e de umidade, ocorrem os processos de expansão e contração, levando à formação de um horizonte vértico principal, comum a estes solos. Este horizonte ocorre em qualquer parte do perfil e tem as seguintes características: a espessura de pelo menos 60 centímetros em uma camada de 150cm medidos a partir da superfície pode haver uma manifestação de microrrelevo "gilgai" ou ser coberta por uma camada mullida⁷, a textura argilosa em toda a sua espessura, com conteúdo superior a 40% de argila, estrutura prismática (média ou grande) para maciços, com faces brilhantes bem evidentes cobrindo os agregados, em estado úmido é plástico e quando seca é duro e rachado. A capacidade de troca de bases é alta, prevalecendo às vezes o magnésio sobre o cálcio no complexo de troca, a predominância de minerais de argila do tipo esmectita.

O tipo **Vertisol Crômico**, quando úmido tem cor com tonalidade e intensidade igual ou superior a 2 e os subtipos estão representados por: Gléyico em profundidade, Mullido e Típico. O subtipo **Vertisol Crômico, Gléyico em profundidade**, (VIII L16) é identificado quando os minerais do solo adquirem propriedades gleyicas devido a que estão totalmente saturados pela água subterrânea, seja permanente ou temporária, resultando em propriedades óxido-redutoras em qualquer lugar do perfil. O diagnóstico para a classificação deste subtipo é identificada quando existem as propriedades gleyicas entre 80 e 150 centímetros de profundidade da superfície. Na bacia se manifesta pela textura argilosa pesada e ocasionalmente franco argilosa, com profundidade efetiva muito pouco profunda a profunda, com conteúdo de matéria orgânica descrita como moderadamente humificada a muito humificado e o declive é

⁷ Horizonte mullido: é definido pela sua morfologia, é um horizonte superficial (A) com estrutura geralmente bem desenvolvida nuciforme, granular e é atribuído a solos de composição sialítica e fersialítica. Cor escura, com tonalidade e intensidade inferior a 3,5 quando úmida e menos de 5,5, no estado seco. Saturação por bases igual ou superior do que 50%. Não deve ser maciço e duro quando seco. A espessura deve ser de 10cm ou mais se é seguido de contato lítico. (HERNÁNDEZ et al.,1999). Este é semelhante ao horizonte A Chernozêmico utilizado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

muito plano, dando ao solo uma drenagem geral muito lenta. Ocupam uma área de 9.398,42 ha. A drenagem interna limita o uso agrícola, a culturas resistentes à umidade, como arroz, cana de açúcar, pastagem. Recomenda-se manter em bom estado os sistemas de drenagem, realizando práticas de preparação dos solos que reduzem a compactação do solo e melhorar a drenagem, exceto para o cultivo de arroz.

O subtipo **Vertisol Crômico Mullido** (VIII L27) se caracteriza pela presença de uma estrutura bem desenvolvida, geralmente nuciforme, granular, leves e soltos em seco, cor escuro, saturados, devem ter pelo menos 18 centímetros de espessura, e se não há contato lítico, neste último caso devem ser igual ou superior a 10 cm. Estes se manifestam na bacia, com uma profundidade efetiva, que varia de profundo para pouco profundo, teor de matéria orgânica varia de muito humificado a humificado. A textura é argila pesada e a inclinação é muito plana. Os mesmos são os solos mais produtivos do agrupamento Vertissolo, a drenagem em geral, muito lenta. Seu uso é recomendado para o cultivo de cana-de-açúcar, arroz ou pastagem e para manter em bom estado os sistemas de drenagem, fazendo práticas de preparação que reduzam a compactação do solo e melhorem a drenagem, exceto para o cultivo de arroz.

O subtipo **Vertisol Crômico Típico** (VIII L40) se caracteriza pela presença de horizonte vértico a partir da superfície. Manifestam-se na bacia com uma profundidade efetiva que varia de profundo para pouco profundo, tem um teor de matéria orgânica que varia de muito humificado a moderadamente humificado, textura argilosa pesada e a inclinação é muito plana. São solos produtivos, a drenagem é geralmente lenta. Seu uso é recomendado para o cultivo de cana-de-açúcar, arroz ou pastagem e para manter em bom estado os sistemas de drenagem, fazendo práticas de preparação que reduzam a compactação do solo e melhorem a drenagem, exceto para o cultivo de arroz.

O tipo **Gley Vértico** são solos que se desenvolvem em regiões de planícies marinhas e fluvio-marinhas ou depressionais, a partir de sedimentos ricos em minerais de argila do grupo esmectita, dominado por condições hidromórficas pela presença de um lençol freático próximo à superfície (1 a 3 m profundidade), às vezes, tem uma camada relativamente impermeável perto da superfície. Identificam-se por ter propriedades gléyicas a menos de 50 cm de profundidade, juntamente com

características vérticas, rachaduras, slickensides, agregados estruturais prismáticos não bem definidos.

O subtipo **Gley Vértico Típico** (IXM40) é um solo com perfil $A_{gv}G$ ou $A_{gv}(B)_{gv}G$. Manifestam-se na bacia, com uma profundidade efetiva variando de pouco a muito pouco profunda, tem um teor de matéria orgânica que varia de humificado a moderadamente humificado, textura argila pesada e o declive é muito plano. São solos pouco produtivos, e geralmente drenados imperfeitamente. Seu uso é recomendado para o cultivo de florestas e pastagens, e manter os sistemas de drenagem em boas condições, realizando práticas de preparação que reduzam a compactação do solo e melhorem a drenagem.

O tipo Salino é um solo de horizonte sálico em qualquer lugar do perfil, definido como tendo estrutura laminar na superfície, muitas vezes com carbonato secundário, teor de argila dispersa que dá uma estrutura massiva no horizonte B, geralmente há crostas de sal espalhadas na área de distribuição desses solos.

O subtipo **Salino Típico** (XO40) se caracteriza pela presença de horizonte sálico dentro de 50 cm de profundidade. Manifestam-se na bacia, com uma profundidade efetiva pouco profunda, textura argilosa pesada e a declividade é muito plana. São solos pouco produtivos, a drenagem é geralmente imperfeitamente drenado. Recomenda-se o uso florestal e manter em bom estado os sistemas de drenagem.

O tipo Sódico é um solo com horizonte sódico em qualquer parte do perfil, que é caracterizado principalmente por uma estrutura colunar no horizonte B e acumulação de carbonatos secundários (horizonte cálcico) no horizonte C. Os conteúdos de sódio trocável variam entre 6 e 14% no complexo de troca.

O subtipo **Sódico Gléyico** (XP14) os materiais do solo adquirem propriedades gleyicas quando estão totalmente saturados pelo lençol freático permanente ou temporalmente, resultando em propriedades redutoras em qualquer lugar do perfil.

O subtipo **Sódico Mullido** (XP27) se caracteriza pela presença de uma estrutura bem desenvolvida, geralmente nuciforme, granular, leves e soltos em seco, cor escuro, saturado, devem ter pelo menos 18 centímetros de espessura, se não há contato lítico, neste último caso devem ser igual ou superior a 10cm. Ambos os subtipos Gleyico e Mullido se manifestam na bacia, com uma profundidade efetiva pouco profunda, a

textura franco argilosa e a inclinação é muito plana. São solos pouco produtivos, a drenagem geralmente é imperfeitamente drenado. Seu uso é recomendado para pastagens tolerantes a sal ou floresta, manter bons sistemas de drenagem, fazendo práticas de preparação de solos que reduzam a compactação e melhorem a drenagem.

O tipo Fluvisol se caracteriza por não apresentar um processo definido de formação. É um solo aluvial não apenas de vale de rio alagadiço, mas também aqueles sem inundações por algum tempo, mas mesmo assim não têm características no perfil de novos processos de formação. É um solo sem horizonte B siálico ou fersiálico e com ausência de um horizonte nátrico, sálico, redúctico ou redóxico (este último abaixo de 50 cm de profundidade).

O subtipo **Fluvisol Cálcico** (XIQ6) se caracteriza pela presença de horizonte cálcico em qualquer lugar do perfil. Manifestam-se na bacia com uma profundidade efetiva pouco profunda, tem pouco teor de matéria orgânica, a textura é franca e a inclinação varia de ligeiramente ondulado a ondulado. São solos produtivos, a drenagem é geralmente moderada. São recomendados para o cultivo de cana de açúcar ou diferentes culturas e se recomenda manter em bom estado os sistemas de drenagem, e fazer práticas de preparação dos solos que favoreçam a estrutura e a drenagem.

O subtipo **Fluvisol Gléyico** (XIQ14) se caracteriza pelas propriedades gleyicas entre 50 e 80 centímetros de profundidade. Manifestam-se na bacia com uma profundidade efetiva muito pouco profunda, apresentam um teor de matéria orgânica humificada, a textura franco arenosa e a inclinação é muito plana. São solos moderadamente produtivos e a drenagem é geralmente muito lenta. Recomendam-se para o cultivo de cana de açúcar, arroz ou pastagem e para manter em bom estado os sistemas de drenagem, realizar práticas de preparação de solos que favoreçam a drenagem, exceto para o cultivo de arroz.

O subtipo **Fluvisol Típico** (XIQ40) se caracteriza pela distribuição irregular de matéria orgânica no perfil. Manifestam-se na bacia com uma profundidade efetiva, que varia de profundo a pouco profundo, tem um teor de matéria orgânica que varia de humificado a pouco humificado. A textura é de argila franca ou franco argilo arenosa e a inclinação é muito plana. São solos produtivos, a drenagem é geralmente moderada.

São recomendados para o cultivo de cana de açúcar, culturas diversas, arroz ou pastagem e manter em bom estado os sistemas de drenagem, manter a faixa de reflorestamento de 15 metros nos dois lados do rio.

O subtipo ***Fluvisol Vértico*** (XIQ42) se caracteriza pelas propriedades verticas. Manifestam-se na bacia com uma profundidade efetiva que varia de profundo a pouco profundo, tem um teor de matéria orgânica que varia de humificado a moderadamente humificado. A textura é argilosa pesada e a declividade muito plana. São solos produtivos, e a drenagem é geralmente lenta. São solos recomendados para o cultivo de cana de açúcar, arroz ou pastagem e manter em bom estado os sistemas de drenagem, manter a faixa de reflorestamento de 15 metros nos dois lados do rio.

Os solos do agrupamento Histosoles se encontram numa grande parte do ano com o lençol freático próximo à superfície. Ocupam algumas bacias interiores ou regiões costeiras baixas, recebem ou receberam no passado influência direta do mar, sendo frequente encontrar conteúdos variáveis de sais. São formados no âmbito do processo de acumulação de turfa caracterizado pela presença de um horizonte hístico principal, e está representado pelos tipos méxico, fibrício e sáprico.

O subtipo ***Histosol México Salinizado*** (XIIS35) engloba solos com um horizonte hístico méxico, que é um nível evolutivo intermediário entre histosol fibrício e o histosol sáprico, e se caracteriza por ter entre 1/3 e 2/3 de fibras vegetais. A decomposição do material é de médio a forte. Estes possuem conteúdo importante de SST e uma condutividade elétrica superior a 4 dS/m. Manifestam-se na bacia com muito pouca profundidade efetiva, tem um teor de matéria orgânica muito elevado, textura franca e a inclinação é muito plana. São solos pouco produtivos, e a drenagem é geralmente imperfeita. Recomenda-se manter seu uso com espécies florestais naturais.

O tipo Lithosol (Esquelético) pertence ao agrupamento de solos Pouco Evolucionados, com pouco desenvolvimento na alteração química e mineralógica e biológica. Esta limitada alteração dos minerais se deve à remoção de partículas finas pela erosão ou aporte de material arenoso ou por rochas muito duras de relativa juventude. Este tipo apresenta perfil ACD ou AD, pouco profundo (menos de 20 centímetros de solum) com alto teor de cascalho e pedra de fragmentos de rocha na superfície, onde há muito pouca alteração dos minerais primários. São afetados por

processos de denudação, em relevos instáveis em rochas duras e compactas.

O subtipo ***Lithosol Dístrico*** (XIIIV11) se caracteriza pelo grau de saturação por bases que é inferior a 50%. Manifestam-se na bacia com uma profundidade efetiva desde muito pouco profundo a extremamente pouco profundo, tem um teor de matéria orgânica que varia de humificado a pouco humificado, textura argilosa franca e a declividade varia de suavemente ondulado a colinoso.

O subtipo ***Lithosol Eútrico*** (XIIIV12) se caracteriza pelo grau de saturação por bases que é superior a 50%. Manifestam-se na bacia com uma profundidade efetiva desde muito pouco profundo a extremamente pouco profundo, tem um teor de matéria orgânica que varia de muito humificado a moderadamente humificado, textura argilosa franca e o declive varia de ligeiramente ondulado a extremamente colinosa. Ambos os subtipos são pouco produtivos, a drenagem é geralmente muito rápida. Recomenda-se seu uso para espécies florestais naturais, realizar práticas de manejo que favoreçam a conservação do solo.

4.2.4.1 Fatores limitantes dos solos para seu uso

Na bacia do rio Chambas, um dos fatores limitantes do solo relaciona-se a pouca profundidade efetiva devido à grande erosão superficial a que são submetidos, além da grande quantidade de fragmentos rochosos presentes. Os processos de erosão, registrados de médios a fortes em grande parte da área, estão provocando o assoreamento acelerado dos reservatórios com uma taxa de 85%. A sua perda pode se tornar irreversível, indicando a necessidade urgente de conservação dos solos.

A parte norte da bacia apresenta drenagem pobre, causando sérios inconvenientes para os moradores da zona pelo alagamento e proliferação de vetores. Além disso, a salinização dos solos atua como um fator limitante em parte da área ocorrendo em diferentes graus de salinização.

A erosão é considerada um dos fatores limitantes que afetam o solo de um dado território, tendo suas origens no estabelecimento de inadequados sistemas agrotécnicos e de má gestão da terra sob irrigação, no preparo de solo intensivo, e no plantio na direção mais íngreme das encostas, entre outras práticas agrícolas incorretas.

Lopez et al. (2008) destacam o fato de que, nas seções do sul e centro da bacia,

mais de 70% das áreas têm categorias de erosão de médio a muito forte, porcentagem esta que tende a aumentar se não forem tomadas as medidas necessárias para seu controle.

Em algumas áreas da bacia os processos de erosão se manifestam intensamente, tais como áreas de cultivo de tabaco na área de Florença e na parte superior do Chamba. Geralmente, essas áreas estão em solos Fersialíticos Pardo Rojizo e Pardos dedicados a culturas de tabaco, pecuária, silvicultura e culturas mistas. As chuvas fortes, as variações climáticas e suscetibilidade desses solos à erosão, juntamente com problemas de gestão, tornam essas regiões áreas críticas em relação à degradação do solo.

4.2.5 Hidrografia

A bacia Chambas é uma das mais importantes da província de Ciego de Ávila. Ela nasce no sul das elevações da Serra de Jatibonico, entre as alturas de 180 e 200 m acima do NMM, com uma rede de drenagem bem definida, composta por vários afluentes importantes que se incorporam ao rio principal em seu curso superior, como o Cañadá Blanca, Las Pojas, Los Limpios, Arroyo Cieguito e Guaranal.

O rio principal tem um comprimento de 68,9 km, descendo por um relevo muito ondulado, que se vai tornando suave na medida em que se aproxima o seu curso inferior. A declividade média do rio é 2,02 ‰, e o comprimento total dos afluentes é de 175 km. Corre principalmente em duas direções na parte superior de leste a oeste até a confluência com o Arroyo Los Limpios a 1,5 km ao sudoeste da cidade de Florença e em seguida, toma a direção norte-noroeste até chegar ao mar (VALERO e GONZALES, 2001).

Esta bacia teve uma forma alongada e estreita, mas as mudanças antropogênicas tem alterado sua forma e aumentado a sua área de superfície notavelmente. A altitude média da bacia é de 96 m, com um coeficiente de densidade de drenagem de 0,8 km/km² (VALERO e GONZALES, 2001).

Na área existem condições naturais para um processo de captura fluvial, um fato que existe neste momento através de uma adutora que fornece cerca de 26 milhões de metros cúbicos anuais.

No vale de Florencia foi construído o complexo hidráulico Liberación de Florencia

aproveitando o mesmo leito do rio Chambas quando o rio atravessa as elevações da Serra de Jatibonico através de um sistema de fraturas tectônicas de direção SW-NE. A partir deste ponto o rio continua seu curso para as planícies do norte, passando pelas proximidades do povoado de Chambas, onde formam-se vários terraços, desembocando na Bahia de Buenavista no oeste da cidade de Punta Alegre.

O curso médio e inferior desta bacia também se têm mudado dramaticamente para desenvolver sistemas de irrigação para a agricultura da cana e do arroz.

Na metade superior da bacia, devido a seu desenvolvimento hidrográfico e características topográficas, há um grande número de barragens e micro-barragens; o Hidroconjunto Liberación de Florencia, formada por três adutoras e duas barragens, de acordo com Valero e Gonzales, (2001)

O reservatório Cañada Blanca está localizado a cerca de 3 km a leste da cidade de Florencia no principal afluente do rio Chambas. O volume total é de 46,5 milhões de m³ de água com uma área do reservatório para o nível normal de água de 5,6 km², no nível máximo de água atingindo de 7,3 km², com uma profundidade média de 4 m.

O reservatório Chamba II está localizado a 1 km da cidade de Florencia, no rio principal com um volume total de 33,3 milhões de m³ e uma área do reservatório para o nível normal de água de 6,06 km², com uma profundidade média de 4 m.

Ambos os reservatórios são de regulação hiperanual e seu principal objetivo é regular as águas das bacias dos rios Chambas e Cañada Blanca, localizadas a montante de seus respectivos barragens, bem como desviar as águas trasvasadas desde a adutora Jatibonico do Norte.

A adutora Jatibonico do Norte está localizada no rio do mesmo nome e a montante do Campismo de Boqueron. Seu principal objetivo é a derivação de 50 Hm³ por ano para os reservatórios Chambas II e Cañada Blanca, através de um canal de transferência contra a declividade que liga a adutora com o Arroyo Cieguito, que é um afluente do Rio Chambas.

Além destas duas obras hidrotécnicas, o conjunto hidráulico tem outras obras hidráulicas, como a barragem Chambas e a barragem El Salado.

A adutora Chambas está localizada a jusante dos reservatórios Chambas II e Cañada Blanca e seu objetivo é derivar a água proveniente dessas barragens e

fornecê-la para a irrigação da cana-de-açúcar cultivada pela empresa “Maximo Gomez” através do canal mestre Chambas, que tem um comprimento de 4 km, cobertos com lajes de concreto e entrega o volume necessário para o consumo da empresa de arroz com cerca de 1.340 ha.

A adutora El Salado está localizada no Rio Chambas no curso inferior deste rio, perto do povoado de Veguitas. Seu principal objetivo é derivar as águas do Chambas para a empresa de arroz através do canal principal, como os volumes destinados ao abastecimento de Punta Alegre. Também dentro de suas funções está derivar em períodos úmidos as grandes enxurradas e, assim, proteger as povoações de Veguitas e Los Perros, que estão a jusante da mesma.

Na bacia Chambas, do ponto de vista hidrogeológico, as água do subsolo não são abundantes e sua qualidade é afetada por diferentes razões. Na metade superior, coincidindo com os territórios de montanha, a água subterrânea está associada a falhas e fraturas nas diferentes formações geológicas. Isto significa que os custos obtidos em poços construídos para abastecer a agricultura, pecuária e as pessoas geralmente não ultrapassam 1 litro/seg, o que limita grandemente o uso das águas subterrâneas (VALERO e GONZALES, 2001).

Nas áreas ao sul incluindo a vila Chambas até a foz do rio do mesmo nome, a água subterrânea está associada com lentes de areia e areia argilosa, que jazem alternadamente. Os rendimentos dos poços nesta área são baixos, variando entre 0,5-5 l/s. Sua qualidade física e química é variável, sendo entre 600 e 2.000 mg/l de sais. As principais causas da alta mineralização dessas águas estão pela altitude em que se encontram os aquíferos e a composição geológica dos mesmos (área de Veguitas-Los Perros-Punta Alegre) (VALERO e GONZALES, 2001).

4.2.6 Flora e Fauna

A bacia do rio Chambas contém parte dos ecossistemas naturais de interesse na sua preservação e gestão, incluindo os programas atuais de estudo das espécies de aves: Grulla, Catey e Cotorra (papagaio), relatadas como ameaçadas por declínios em suas populações. Além disso, há espécies endêmicas de considerável importância que devem ser preservadas da caça como uma subespécie de jutía (roedor) reportada apenas para a província. Da mesma forma, há relatos de plantas de alto valor

encontradas apenas nas florestas semidecíduas das alturas que fazem parte da divisa da bacia, como por exemplo a palmeira *Gausia*.

Outra das atividades realizadas não compatíveis com o desenvolvimento na área da bacia do Chambas é a destruição de florestas para produção de carvão vegetal e extração de postes para o gado, que tem contribuído para a redução do número de indivíduos de espécies florestais. Pelo valor elevado de espécies que compõem a biodiversidade dessa área, foram tomadas medidas pelos especialistas que incluem ações de conservação, gestão e monitoramento ambiental, bem como o reflorestamento da parte superior da bacia pelo MINAGRI.

4.2.6.1 Patrimônio florestal

O patrimônio florestal pertence a vários proprietários, o que torna complexas as atividades de gestão e preservação das áreas florestais degradadas da bacia. Não existem ou são mínimas as faixas de proteção de micro-açudes, reservatórios de grandes dimensões (0,8 ha de eucalipto no reservatório Chambas II) e do resto do sistema fluvial. Como área florestal Florencia tem 12,4% e Chambas 6,58%.

Em algumas áreas às margens dos reservatórios e rios com projetos de reflorestamento a executar têm sido praticada a atividade pecuária, que afeta a implementação técnica desses projetos, uma vez que a criação de gado na estação seca elimina a possibilidade de estabelecer plantações florestais.

Ligados a esses valores ambientais, tais como fauna selvagem, florestas e a paisagem, existem áreas que por definição, são dedicados à proteção e manutenção da diversidade biológica (áreas protegidas). Estas estão localizados na área de Boqueron e Monte Chicola, nos limites entre a bacia Chambas e a bacia Jatibonico del Norte. Essas áreas são classificadas como monumentos naturais e refúgio de vida selvagem, e são protegidas pelo Corpo de Guarda Florestal e do Serviço Estatal Florestal de Cuba.

4.2.7 Características da paisagem

A área de serras cársticas das Alturas de Florencia pode ser considerada de alto valor paisagístico e natural pela presença de antigos leitos de rios e outros fenômenos cársticos de interesse, que representam um elevado potencial turístico para a

observação da fauna, flora, e como um mirante natural de diferentes paisagens e lugares de valor histórico. Em diversas áreas a paisagem natural perdeu as suas qualidades, produto de um forte impacto humano, que pode ser irreversível se não forem tomadas imediatamente medidas de mitigação ambiental.

4.3 Desenvolvimento Econômico Social

Historicamente esta bacia tem tido um desenvolvimento econômico essencialmente agrícola, sendo suas principais atividades: cana de açúcar, arroz, tabaco, pecuária e culturas diversas.

Os dados socio econômicos e demográficos que caracterizam a bacia Chambas em geral foram fornecidos pela delegação provincial do CITMA em Ciego de Avila (CITMA-UMA).

4.3.1 Atividade econômica

A atividade agrícola tem uma ampla representação em ambos os municípios atravessados pelo rio Chambas. Existem nesta bacia os três tipos de cooperativas existentes em Cuba e que constituem a base sobre a qual se ergue o sistema econômico empresarial agrícola; as Cooperativas de Crédito e de Serviços (CCS), as Cooperativas de Produção Agropecuária (CPA) e as Unidades Básicas de Produção Cooperativa (UBPC) (JIMÉNEZ, 2008).

Em Florencia se desenvolvem atividades agrícolas de produção de hortaliças, grãos, tubérculos, raízes e tabaco (neste último é o principal produtor da província), além de criação de gado.

No entanto, em Chambas, a produção de cana de açúcar desempenha um papel importante, estando incluída na bacia uma parte considerável das áreas de cultivo dos dois CAI (Complexo Agroindustrial Açucareiro) (Maximo Gomez e Enrique Varona). Também são desenvolvidas as culturas várias e pecuárias. Recebe um grande impulso para a preparação de um programa para plantação de arroz de 5.368,08 ha.

O estabelecimento do sistema de reservatórios tem possibilitado o desenvolvimento da pesca de água doce para o autoabastecimento das comunidades no território. Esta representa uma nova atividade econômica, que antes existia apenas com base comercial no estabelecimento de pesca no Norte da bacia (Punta Alegre).

A região da bacia é essencialmente agrícola, com as seguintes principais entidades produtivas:

Município Florencia

- Empresa Pecuaria Florencia
- Empresa de Coleta e Benefício do Tabaco
- Empresa Florestal Integral
- UBPC de Culturas Diversas
- O restante da área agrícola pertence a 15 CCS e CPA.
- Fábrica de Conservas
- Fábrica de Tijolos

Município Chambas

- Empresa Chambas Pecuária
- 2 CAI: Maximo Gomez e Enrique Varona. As áreas agrícolas de ambos se beneficiam com as águas do complexo hidráulico, embora nenhum deles descarte os seus resíduos na bacia, sendo o primeiro localizado na costa e o outro é a parte industrial em outra bacia.
- Empresa de mineração de sal
- Indústria de extração e processamento de gesso.
- Lavadeiro de areia “Van Troi”
- Moinhos de Pedra
- Estabelecimento de Pesca
- CPA e CCS

As principais atividades na bacia Chambas são de cana de açúcar, materiais de construção e produtos agrícolas diversos. Ambos os municípios desempenham um papel importante na produção de alimentos na província, por exemplo, dos 20 centros de coleção provincial, 6 estão em Florencia e 5 em Chambas.

A produção das CPA e CCS é superior marcadamente à produção estatal (71%).

4.3.2 População e Assentamentos

Na área estão localizados um total de 26 assentamentos pertencentes aos municípios Chambas e Florencia.

A população concentrada na área é de 28.156 habitantes para uma média de 84 habitantes por km², enquanto a população dispersa é de 280 habitantes.

Estão localizados 4 núcleos urbanos; Chambas, Punta Alegre, Florencia e Tamarindo. Com uma população de 19.820 habitantes, apenas dois destes contam com uma estrutura política e administrativa própria (Chambas e Florencia). Os 22 restantes são considerados assentamentos rurais, dos quais 9 são maiores do que 200 moradores e menores de 132.

A parte urbana tem um parque habitacional de 5.528 casas das quais 66,9% estão em boas condições e 12,9% em condições regulares.

Nas áreas rurais do fundo de habitação estão concentradas em 1.783, com 26,6% em boas condições, 23,8 regulares e 49,6 más condições.

Na zona rural dispersa existe mais de 900 casas, sendo que a maioria delas encontram-se em condições precárias de construção.

4.3.3 Infraestrutura e Serviços

Os dois núcleos urbanos têm quase todos os serviços para a sua classe, mas as instalações requerem atividades de manutenção e renovação uma vez que suas condições construtivas geralmente não são boas e em alguns há superlotação.

Nas áreas rurais nem todos os assentamentos têm os serviços básicos ou primários necessários; em alguns casos, não têm nenhum desses serviços, ou os existentes estão em estado precário.

4.3.3.1 Qualidade da Água

No município de Florencia há controle bacteriológico da água que é fornecida por aquedutos nas localidades de Florencia e Tamarindo, mas a maior porcentagem dessa população utiliza poços individuais onde não é possível ter um sistema de vigilância sanitária e muito menos instalar um sistema de cloração. Atualmente estão em execução os aquedutos de Tamarindo, na fase de projeto o de Florencia e no nível de desenho o de Guadalupe.

A falta de sistema de esgoto faz com que o lençol freático na área seja afetado e a água consumida pela população não seja de boa qualidade.

Na parte superior da bacia (Florenzia), apenas 12,0% da população recebe serviços de água de aqueduto e 6,1% para esgoto. A água potável em Florenzia é de 70% e 72% em Tamarindo.

No município Chambas, grande parte da área urbanizada e as localidades El Asiento, Máximo Gómez e Punta Alegre são fornecidos com uma fonte superficial (rio Chambas) que sofre contaminação ao longo de seu curso. A estação de tratamento de água do povoado El Asiento não funciona. Os locais mais afetados são os povoados Máximo Gómez e Punta Alegre. Isto se deve a existência de um canal de água com risco de contaminação provinda de indústrias que, embora tenha passado por um sistema de purificação das águas, ainda chega a esses locais sem qualidade sanitária. Atualmente, está em construção uma condutora a partir de uma fonte subterrânea localizada em áreas adjacentes a Enrique Varona que será a solução definitiva do abastecimento de água desses locais. O aqueduto da cidade de Chambas ainda está na fase de desenho.

A água potável em Chambas é de 35%, e em El Asiento, Máximo Gómez e Punta Alegre é 0%.

Na bacia Chambas são controlados 10 pontos na rede de qualidade da água (7 águas superficiais e 3 subterrâneas).

A água da superfície do Sistema hidráulico não excede 300 mg/l do total de sais solúveis. Do ponto de vista bacteriológico os teores da contaminação não são elevados nos reservatórios. No entanto, a jusante do povoado Chambas se observa no período seco valores de coliformes totais e fecais acima de 1.500 NMP, diminuindo para valores cerca de 360 NMP no período úmido devido à diluição.

A qualidade das águas subterrâneas na bacia é altamente variável, associada às formações geológicas onde eles estão. Os valores de salinidade variam de 750 mg/l na área a montante do conjunto hidráulico Liberación de Florenzia para 19.000 mg/l no norte da bacia.

Tanto em Florenzia como em Chambas as questões ambientais de qualidade da água são agravadas pelos atuais sistemas de aquedutos independentes de pequenas

dimensões, que dificultam as ações de controle.

Em Chambas (município), existem 14 sistemas, incluindo 4 administrados pelo organismo de aquedutos e esgoto e 10 restantes por outras agências. Em Florença existem 20 sistemas, 12 pertencentes a aquedutos e 8 a outras agências.

4.3.4 As principais fontes de contaminação

Dentro da bacia existem 13 principais fontes poluidoras, que estão listados abaixo:

1. Povoado Florencia
2. Povoado Chambas
3. Fábrica de Conservas Florencia
4. Povoado Tamarindo
5. Povoado Guadalupe
6. Povoado El Asiento
7. Povoado Veguitas
8. Povoado Los Perros.
9. Empresa Suína “Máximo Gómez”
10. CAI “Máximo Gómez”
11. CAI “Enrique José Varona”
12. Arenera “Van Troi”, para a construção.
13. Armazém de fertilizantes da Empresa de Culturas Diversas

As referidas fontes de contaminantes são aquelas que estão incluídas no inventário nacional, de acordo com o Conselho Territorial de Bacias de Ciego de Ávila (2009), segundo Valero e Gonzales (2001) e IPF (1997).

4.3.5 Principais Impactos Ambientais

O conjunto de obras hidrotécnicas realizadas nesta bacia ocorreu antes de todo o processo de avaliações de impacto ambiental. Por isso os impactos deles decorrentes não são conhecidos em detalhe e profundidade científica requerida. Faz-se necessário, portanto, estudos urgentes que permitam minimizar algumas das consequências que geram ou estão gerando as mudanças nas condições naturais e socioeconômicas produzidos na área.

Entre os impactos mais evidentes produzido na bacia encontram-se:

- Alterações no regime de escoamento normal da bacia.
 - Variações na velocidade atual do fluxo.
 - Aumento repentino do nível das águas.
 - Inundações de grandes áreas de terra permanentemente.
 - Inundações periódicas de zonas a partir das oscilações do nível dos reservatórios.
- Perda de grandes extensões de terras altamente produtivas e árvores ao serem cobertas pela água.
 - Aceleração dos processos de erosão e sedimentação de acordo com o local específico da bacia em que são verificados.
 - Introdução e remoção de espécies vegetais e animais.
 - Alterações no lençol freático na área.
 - Mudanças no uso da terra.
 - Alterações nos assentamentos humanos, bem como nos costumes e ofícios tradicionais.
 - Alterações nas características hidroclimáticas da área.

O território do curso superior e médio da bacia é uma área de interesse prioritário para a defesa, por acharem-se na mesma as principais serras e manifestações cársticas (cavernas) mais desenvolvidas da província.

GERAÇÃO DA INFORMAÇÃO DE BASE E DOS PARÂMETROS DE ENTRADA NO MODELO SWAT.

5.1 Introdução

A modelagem hidrológica utilizando modelos de base física requer uma quantidade relativamente grande de informações sobre a bacia para a adequada representação dos processos envolvidos. Esta atividade requer tempo e recursos para cobrir toda a bacia. Para minimizar este problema, costuma-se coletar algumas informações essenciais para a utilização do modelo e estimar os demais parâmetros a partir de informações disponíveis na literatura.

A criação da informação de base e dos parâmetros de entrada no modelo SWAT é de fundamental importância para o sucesso dos resultados finais das simulações. A qualidade dos dados de entrada determinará, portanto, a capacidade do modelo para descrever as características da bacia em questão.

A interface ArcSWAT, que permite a integração do modelo SWAT com o SIG ArcGis 9.3, é a ferramenta de pré e pós processamento dos dados para a execução do modelo hidrológico SWAT.

Os conjuntos de dados básicos necessários para gerar as entradas do modelo SWAT incluem: dados sobre a topografia, solo, uso da terra e do clima.

5.2 Materiais e software utilizados

5.2.1 Materiais originais

- Base cartográfica (escala 1: 25.000)
- Mapa de solos (escala 1: 25.000).
- Imagens ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) resolução 10m, coleta pelo satélite em 15/06/2009.

- Bases de dados meteorológicas para as estações Falla e Ciego de Avila.

5.2.2 Base cartográfica utilizada escala 1:25.000, da área de estudo.

1. Florencia 4482-III-a
2. Marroqui 4482-III-c
3. Veguitas 4482-IV-a
4. Dos hermanas 4482-IV-b
5. Chambas 4482-IV-c
6. Los Perros 4483-III-c
7. Punta Alegre 4483-III-d
8. Perea 4382-II-b
9. Arroyo Blanco 4382-II-d
10. Mayajigua 4382-I-d

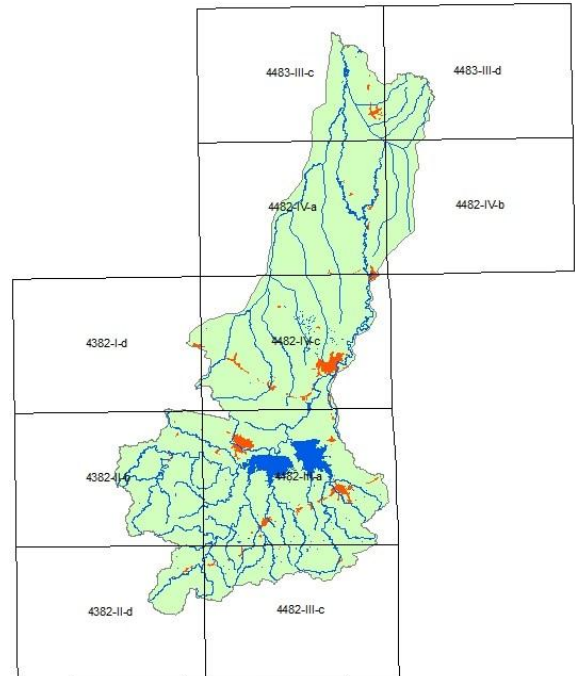


Figura 5.1: Cartograma da bacia Chambas escala 1:25.000

5.2.3 Software

- ArcGIS 9.3, desenvolvido por ESRI (Environmental Systems Research Institute). Site <http://www.esri.com/about-esri/index.html>.
- ArcSWAT versão 2009.93.5. de 19/08/2010, desenvolvido por Stone Environmental, Inc., em colaboração com Texas A&M University, Spatial Sciences Laboratory and Blackland Research and Extension Center. Disponível em: www.brc.tamus.edu/swat/arcsWat.html
- Mapinfo versão 10.0 de 2009, desenvolvido por Pitney Bowes Software Inc. Sitio web: <http://www.mapinfo.com>
- Envi versões 4.2, 4.5 y 4.6. de 2004-2010, desenvolvido por ITT Visual Information Solutions. Site: www.ittvis.com.
- SPAW-SWC versão 6.02.75. desenvolvido por Dr. Keith Saxton, USDA-ARS (retired). Disponível em: <http://hydrolab.arsusda.gov/SPAW/Index.htm>

- Microsoft Excel e Access 2007.

5.3 Criação das bases de dados espaciais e alfanuméricos.

A criação de parâmetros de entrada da SWAT foi realizada em ambiente SIG, em formato raster e vetorial, de acordo com exigências do modelo.

No caso da bacia Chambas, a falta de dados adequados às exigências do modelo e o nível de detalhe do trabalho, implicou em um tempo considerável na criação dos dados de entrada. Foram utilizados diferentes métodos combinados para o cálculo de algumas variáveis, procedimento explicado nas seções seguintes.

5.3.1 Geração do Modelo de Elevação Digital (MDE)

O modelo de elevação digital (MDE) da bacia foi obtido a partir de dados topográficos extraídos do mapa cartográfico a escala 1:25.000, do ano 1986, dos levantamentos realizados pelo Instituto Cubano de Geodésia e Cartografia (ICGC), atual grupo empresarial GEOCUBA.

Uma das estruturas de dados mais importantes em que se baseiam os procedimentos para o cálculo dos parâmetros de entrada em modelos hidrológicos são os MDE.

O modelo digital de elevação (MDE) foi gerado em ambiente SIG com as ferramentas do *software* ArcGis 9.3, aplicando-se o algoritmo de interpolação TIN (*triangular irregular network*) sobre curvas de nível espaçadas em 5 metros, obtidos a partir das cartas topográficas na escala 1:25.000.

A malha triangular foi transformada em uma imagem *raster* com resolução espacial de 10 m. Esta resolução, por imposição do modelo, foi utilizada também nas demais imagens, e é a mesma da imagem ALOS AVNIR-2 usada na classificação de uso do solo. Portanto, é a mínima resolução aplicável a este estudo, considerada adequada para bacias de pequena e média escala.

5.3.2 Hidrografia da bacia do rio Chambas

O procedimento para a obtenção de variáveis hidrológicas foi feito pela combinação da variante automatizada a partir do MDE e pela interpretação visual dos mapas cartográficos na escala 1:25.000, resultando em uma alternativa mais

confiável para a criação das variáveis espaciais da rede de drenagem, das sub-bacias e reservatórios da bacia Chambas. Isto é em parte devido à deficiência da modelagem hidrológica automatizada para representar adequadamente os canais fluviais e os limites das bacias em regiões muito planas.

O proceso de discretização em subbacias, drenagem, reservatórios e pontos de deságue se explica no capítulo 6 de implementação.

5.3.3 Cobertura e uso da terra na bacia Chambas.

O estudo de cobertura e uso da terra na área proposta nesta pesquisa, utilizando geotecnologias, permitiu a realização do mapeamento da cobertura e uso da terra na bacia do rio Chambas, utilizando imagens de satélites multiespectrais.

O mapeamento da cobertura/uso da terra da bacia hidrográfica Chambas, foi feito utilizando imagens do satélite ALOS adquiridas pelo sensor AVNIR-2 com uma resolução de 10m, em 15 de junho de 2009. As duas imagens utilizadas são da mesma data e hora e os códigos de identificação são ALAV2A180673150 e ALAV2A180673160. Foi utilizado também o mapa de base à escala 1:25.000 do ICGC, 1986. O software usado para o PDI e cartografia da cobertura e uso da terra foram ENVI 4.6 e ArcGIS 9.3.

5.3.3.1 Os conceitos sobre uso e cobertura da terra e sua classificação.

Conhecimento do uso e cobertura da terra tornou-se cada vez mais um importante fator na sociedade moderna devido à necessidade de garantir a sua sustentabilidade frente a questões ambientais, sociais e econômicas relacionadas com ele e que são motivo de debate sobre desenvolvimento sustentável.

Assim, o seu conhecimento permite a criação de planos em diferentes níveis, a fim de superar os problemas que surgem com o desenvolvimento descontrolado, a deterioração da qualidade ambiental, a perda de terras agrícolas, a destruição de zonas húmidas importantes, e perda de espécies e habitat dos animais selvagens. Por esta razão, o conhecimento dos dados de cobertura e uso da terra são necessários para o análise dos processos e os problemas ambientais,

a fim de tomar decisões.

Ambas, a teoria e a prática nos mostram que, a cobertura da terra (LC) e uso da terra (LU) estão intimamente relacionados, por tanto muitas classificações propostas de uso da terra são, na verdade, uma mistura da cobertura vegetal e o uso da terra, onde a vegetação natural e semi-natural é descrita em termos de cobertura do solo e as áreas agrícolas e urbanas em termos de uso do solo. A definição de florestas, em especial é uma combinação de cobertura vegetal e uso da terra. (XIAONING, 2009).

LC é definida como a cobertura (bio)-física observada na superfície da Terra (DI GREGORIO e JANSEN, 1998). Essa observação pode ser feita pelo olho humano, por fotografias aéreas, por sensores dos satélites, ou apenas com base nos mapas existentes. A definição abrange a vegetação e as características de origem humana, incluindo a rocha nua, solo exposto e corpos d'água.

LU pode ser visto como atividades humanas realizadas em um determinado tipo de cobertura da terra para produzir, alterá-la ou mantê-la. Estabelece uma relação direta entre cobertura da terra e as ações humanas em seu meio ambiente (DI GREGORIO e JANSEN, 1998).

Dois aspectos-chave de LU são os produtos e benefícios do uso da terra e operações aplicadas na terra para produzir esses produtos e benefícios. LU é difícil de se "observar", sendo necessários trabalhos de campo e dados do terreno, bem como levantamentos e questionários.

Entende-se por levantamento o conjunto de operações necessárias à elaboração de uma pesquisa temática que pode ser sintetizado através de mapas. O Levantamento do Uso e da Cobertura da Terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Ele envolve pesquisas de escritório e de campo voltadas para a interpretação, análise e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando a sua classificação e espacialização através de cartas. (IBGE, 2006)

Espera-se que os Levantamentos da Cobertura e do Uso da Terra forneçam informações do território ao maior número possível de usuários, em escalas

regional, estadual e local, de tal forma que possam ser comparadas entre si e periodicamente atualizadas. Para atender a tais requisitos, o *Corine Land Cover Technical Guide* (BOSSARD et al., 2000) recomenda, a observância de quatro princípios básicos:

- a escala de mapeamento;
- a natureza da informação básica;
- a unidade de mapeamento e a definição da menor área a ser mapeada;
- a nomenclatura.

Em geral, existem diversas fontes de informação sobre o uso e cobertura da terra e sobre as mudanças que estão acontecendo, e quase todos carecem de coerência, tanto no plano local quanto regional e nacional.

Os principais problemas estão na aplicação e interpretação de dados existentes. Estes incluem alterações nas definições das categorias e métodos de coleta de dados por órgãos de origem, a cobertura de dados incompletos, os dados de diferentes anos, e o uso dos sistemas de classificação incompatíveis. Além disso, é quase impossível a agregação dos dados disponíveis, devido aos diferentes sistemas de classificação utilizados.

Não existe uma classificação internacional, de comum acordo, para o uso e cobertura da terra. O Corine Land Cover como classificação e classificações da FAO, parecem ser as mais utilizadas.

O caso de Cuba e, especificamente, a bacia do Rio Chambas não é uma exceção. Existem alguns trabalhos isolados sobre o uso e cobertura das terras em diferentes partes do país, mas que não se materializaram em uma classificação do uso da terra rigorosa, coerente e orgânica, muito menos desenvolvida para detectar e mapear essas categorias de ocupação utilizando sensoriamento remoto aeroespacial (PONVERT DELISLE, 2002).

Dada a experiência nacional e internacional, concluímos que os sistemas de classificação mais relevantes do ponto de vista metodológico, e que mais foram consultados e aplicados em diferentes regiões do mundo são os da Circular 671 do Serviço Geológico de E.U.A de Jansen Anderson (1976), o Corine Land Cover - CLC Comissão Europeia em 2000, o sistema de classificação do LCCS FAO

(*Land Cover Classification System*), proposto por Di Gregorio et al (1998), o Manual Técnico do IBGE de Uso da Terra do Brasil de 2006, e a Classificação das Formações Vegetais de Cuba segundo Capote Rene e Berazaín (1984).

Depois de analisar todos os trabalhos acima mencionados, a fim de selecionar um sistema de classificação que atendesse as condições em Cuba e, especificamente, na bacia do rio Chambas, foi tomado como referência o projeto *CORINE Land Cover*, com algumas adaptações próprias para a área de estudo.

A nomenclatura do sistema de classificação CORINE é de árvore hierárquica. Ele é altamente flexível, permitindo a adaptação a outras regiões do mundo. No primeiro e segundo níveis de classificação, mais gerais, adotou-se a mesma nomenclatura que CORINE LC e no terceiro nível de classificação mais detalhada algumas categorias correspondem ao CORINE e outros à classificação dos tipos de formações Vegetais em Cuba . Na Tabela 5.1, apresentamos o sistema de classificação adotado para a área da bacia Chambas.

Tabela 5.1: Classificação adotada para a cobertura e uso da terra na bacia Chambas.

Nível I	Nível II	Nível III
1. Coberturas artificializadas	1.1 Zonas urbanizadas	1.1.1 Cidades
		1.1.2 Povoados
	1.2 Zonas industriais ou comerciais e redes de comunicação	1.2.1 Redes viárias, ferroviárias
		1.2.2 Aeroportos
		1.2.3 Obras hidráulicas
	1.3 Zonas de extração mineral e escombreras	1.3.1 Zona de extração mineral
		1.3.2 Zona de empréstimo
	1.4 Zonas verdes artificializadas não agrícolas	1.4.1 Zonas verdes urbanas
2. Coberturas agrícolas	2.1 Culturas anuais ou transitórias	2.1.1 Tomate
		2.1.2 Tabaco
		2.1.3 Arroz
	2.2 Culturas permanentes	2.2.1 Cana de açúcar
		2.2.2 Plátano
		2.2.3 Plantações de frutas

	2.3 Pastos	2.3.1 Pastos limpos
		2.3.2 Pastos misturados
	2.4 Áreas agrícolas heterogêneas	2.4.1 Mosaicos de culturas
		2.4.2 Mosaicos de pastos e culturas
	2.5 Áreas agroflorestais	2.5.1 Eucaliptos
		2.5.2 Pinos
3. Coberturas de bosques e áreas semi-naturais	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque natural semidecíduo
		3.1.2 Bosque ciliar
		3.1.3 Bosque de mangue
		3.1.4 Bosque de reflorestamento
	3.2 Áreas com vegetação herbácea e arbustiva	3.2.1 Pastos naturais e savanas
		3.2.2 Vegetação arbustiva semi-natural
		3.2.3 Vegetação esclerofila e espinhosa (Cuabal)
		3.2.4 Vegetação secundária (Marabú)
		3.2.5 Vegetação xeromorfa costeira e subcosteira.
	3.3 Áreas abertas sem ou com pouca vegetação	3.3.1 Praias, areias, apicum
		3.3.2 Afloramentos rochosos
		3.3.3 Solos expostos ou degradados
4. Coberturas de áreas úmidas	4.1 Áreas úmidas continentais	4.1.1 Turfeiras
	4.2 Áreas úmidas costeiras	4.2.1 Zona intermareal e marismas
5. Superfícies de água	5.1 Águas continentais	5.1.1 Rios
		5.1.2 Canais
		5.1.3 Reservatórios e corpos de água
	5.2 Águas marítimas	5.2.1 Lagoas costeiras
5.2.2 Mar		

5.3.3.2 Processamento Digital das Imagens

Para o levantamento da cobertura e uso da terra foram executadas várias etapas (Figura 5.2), incluindo a revisão bibliográfica, seleção e aquisição de dados, processamento digital das imagens, até o trabalho de campo e saída cartográfica do mapa de cobertura e uso da terra final. Para uma melhor compreensão e organização as atividades de processamento realizadas foram divididas em três etapas: pré-processamento, processamento e pós-

processamento.

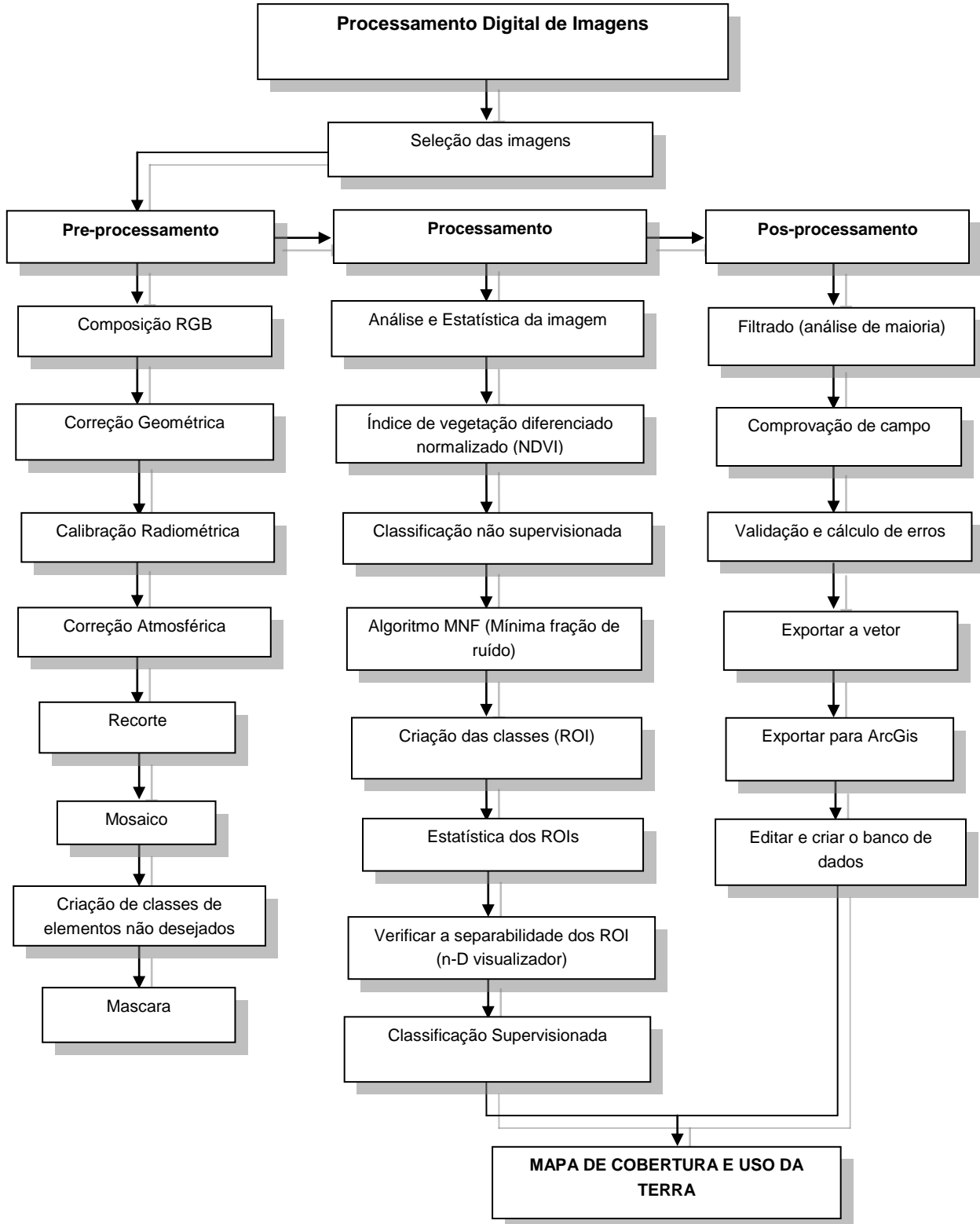


Figura 5.2: Fluxograma metodológico de PDI aplicado na área de estudo.

5.3.3.2.1 Seleção e aquisição das imagens ALOS.

O satélite ALOS é usado para cartografia, observação regional, monitoramento de desastres e levantamento de recursos (JAXA, 2008).

As imagens multiespectrais utilizadas no trabalho são as geradas pelo sensor *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2* (AVNIR-2), sensor criado para observação da Terra e zonas costeiras. É um radiômetro multiespectral que possui 4 bandas com resolução espacial de 10m, abrangendo a região do visível e infra-vermelho próximo (Tabela 5.2). Sua resolução radiométrica é de 8 bits. Fornece imagens de cobertura e uso da Terra para monitoramento ambiental regional. (JAXA, 2008).

Tabela 5.2: Bandas espectrais do satélite ALOS sensor AVNIR-2 e suas respectivas resoluções espaciais

Bandas	Resolução espectral (μm)	Resolução espacial (m)
Banda 1	0,42 - 0,50	
Banda 2	0,52 - 0,60	10
Banda 3	0,61 - 0,69	
Banda 4	0,76 - 0,89	

Fonte: Adaptado de JAXA (2008)

Os produtos são apresentados em quatro níveis de processamento: Nível 1A, nível1B1, nível1B2-R e nível1B2-G.

O último nível (1B2-G) tem um maior número de correções efetuadas, com os pixels da imagem alinhados com a rede de projeção UTM, com os coeficientes de calibração radiométrica e correção geométrica aplicados.

As imagens ALOS são adquiridas em formato CEOS (*Committee on Earth Observation Satellites*) – BSQ, banda seqüencial.

As imagens ALOS adquiridas têm um nível de processamento correspondente ao 1B2-G, importante para garantir a qualidade das informações originais e consumir menos tempo para as correções a serem feitas.

No Brasil, as imagens ALOS podem ser adquiridas através do site do IBGE

(Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) www.ibge.gov.br/alos. Esta instituição fez uma parceria com a empresa ASF (*Alaska Satellite Facility*), que é o braço operacional responsável pelas imagens ALOS nas Américas.

Para a bacia Chambas, as imagens foram pesquisadas por meio do site CROSS <https://cross.restec.or.jp/cross/jsp/indexEn.html>, que tem um sistema de visualização e de pesquisa, que proporciona cobertura para todo o mundo. Por meio dele foram localizadas imagens de Junho de 2009 com menos de 10% de nuvens. Depois de selecionar as imagens de melhores qualidades, a compra foi feita através do site do IBGE/Brasil.

5.3.3.2.2 Pre-Processamento

Nesta fase, foi aplicado um conjunto de técnicas para a preparação de imagens de satélite, entre os quais: as estatísticas da imagem, correção geométrica, calibração radiométrica, correção atmosférica, recorte ou redução da dimensionalidade da área, criação de mosaicos, a criação semi-automática das classes de mar, nuvens e sombras de nuvens, criação da máscara desses objetos indesejados, e aplicação da máscara para o mosaico da área.

5.3.3.2.2.1 Correção geométrica

As imagens ALOS utilizadas chegaram previamente corrigidas geometricamente de acordo com o nível de processamento solicitado por ocasião da aquisição 1B2-G com os pixels da imagem alinhados com a rede de projeção UTM, com os coeficientes de calibração radiométrica e correção geométrica aplicados. Para aumentar a precisão, elas passaram por um processo de refinamento do georreferenciamento. A imagem ALOS multiespectral (10m) foi georreferenciada a partir de coordenadas de pontos conhecidos no mapa cartográfico da região de estudo.

A técnica utilizada foi “image to map” utilizando 20 pontos de controle em cada uma das cenas. A equação de transformação utilizada foi o “polinômio do 1º grau” e o método de reamostragem foi o interpolador “vizinho mais próximo”.

O RMS (erro médio quadrático) obtido no georreferenciamento das imagens ALOS multiespectral foi de 0,77 - 0,8 pixels, ou seja, 7,7 – 8 metros. Segundo

Crosta (1992), a margem de erro recomendável é de ± 1 pixel, estando o resultado de acordo com o esperado.

5.3.3.2.2 Calibração radiométrica

Os números digitais (DN) em cada banda da ALOS/AVNIR-2 foram convertidos para medidas físicas de radiância do sensor (L). A conversão de DN para valores de radiância absoluta é um procedimento necessário para posteriores processamentos.

Segundo Lillesand et al (2004), a *radiância* (L) é o fluxo radiante por unidade de ângulo sólido proveniente de uma superfície em uma direção dada por unidade de superfície projetada na direção considerada, expressada em watts por metro quadrado por esterradiano ($W m^{-2} sr^{-1}$)

Para este efeito se aplicam algoritmos que implicitamente incluem a transformação do sinal analógico recebido no sensor para DN armazenados nos pixels da imagem resultante.

Em sensores imageadores, Rahman As-syakur, A. et al. (2010), Chander, G. et al. (2009), Teillet et al. (2001) assumem que a calibração absoluta pode ser descrita por uma equação de ajuste para cada banda, do tipo:

$$L = DN * \alpha + \beta$$

Sendo L a radiância ($W m^{-2} \mu m^{-1} sr^{-1}$) e DN o número digital que é fornecido aos usuários através da imagem. Os coeficientes de calibração radiométrica α (*gain*) e β (*offset*) que permitem a conversão de um número digital DN em valores de radiância.

As imagens ALOS obtidas em DN foram convertidas para valores de radiância absoluta, utilizando os dados de ganhos e offset para a calibração radiométrica das imagens segundo Bouvet, et. al (2007) ver tabela 5.3.

Tabela 5.3: Valores dos ganhos utilizados na conversão dos valores de DN da imagem para radiância, adaptado de Bouvet et al (2007).

Bandas	Gain	Offset
1	0,941	0
2	0,914	0
3	0,804	0
4	0,835	0

5.3.3.2.2.3 Correção atmosférica

Existem vários métodos de correção atmosférica disponíveis; um deles que é de simples aplicação e que tem sido bem-sucedido é a técnica de subtração de objeto escuro (por sua sigla em Inglês Dark Object Subtração) (ENVI User's Guide: Spectral Tools)

Subtração de pixel escuro

O modelo baseado na subtração do pixel escuro foi proposto por Chaves (1988, 1996) e tem sido usado em muitas aplicações, provavelmente porque ele é de aplicação simplificada. O ponto de partida do método é assumir que as áreas cobertas com materiais de alta absorvidade (água, áreas de sombra) deveriam mostrar radiância espectral próxima a zero. Na prática, o histograma do DN da imagem sempre tem um mínimo acima desse valor, que é atribuído ao efeito de dispersão atmosférica. Também mostra que o mínimo é superior nas faixas mais curtas, diminuindo para o NIR e SWIR (pelas siglas em ingles).

O método consiste em subtrair os valores representativos destas diferenças, em cada banda e em cada pixel da cena. O método é muito simples e é válido para estimar a espessura de aerossóis atmosféricos. Esta técnica é válida em dados multiespectrais, mas não deve ser usado para dados hiperespectrais.

Correção Atmosférica Baseada no Algoritmo FLAASH

O FLAASH-ENVI (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) é um módulo para correção atmosférica de diversos sensores

utilizando o código de transferência radiativa MODTRAN (*Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model*) (Adler-Golden, 1999; Berk et al., 2002).

Esta técnica foi utilizada na correção atmosférica do mosaico conformado pelas cenas ALOS do sensor AVNIR-2 obtidas em números digitais (ND) e convertidas a valores de radiância para sua entrada em FLAASH. Foram utilizados os parâmetros encontrados na página do programa ALOS http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/about_index.htm e o manual do usuário de ALOS (Jaxa, 2008).

A correção atmosférica do sensor AVNIR-2 baseada no algoritmo FLAASH mostrou-se mais eficiente do que os outros métodos.

A imagem resultante da correção atmosférica de saída está em refletância e foi transformada para escala entre 0 e 1.

5.3.3.2.2.4 Recorte das imagens

Considerando a extensão da área de estudos e do tamanho das cenas captadas pelo sensor AVNIR-2 do satélite ALOS, foi necessário o recorte da imagem para facilitar o processamento digital da mesma. Para este recorte foi utilizado um limite externo ao divisor de água principal da bacia Chambas.

Antes da criação do mosaico foi necessário realizar o recorte das duas cenas que o compõem. Este recorte foi feito com a finalidade de excluir da área de estudo a maior quantidade do mar, e das nuvens localizadas ao sul da cena na região sul, o que reduz a influência de valores espectrais não desejados na imagem e que podem alterar as classes espectrais no momento da classificação. O recorte de cada uma das cenas foi feito mantendo uma área de sobreposição de aproximadamente 30% das imagens. Após a geração do mosaico se fez outro recorte para dar homogeneidade a área de estudo.

5.3.3.2.2.5 Equalização e mosaico das imagens

O termo mosaico é um sinônimo de junção de mapas, ou seja, imagens separadas, porém adjacentes que são automaticamente agrupadas em uma única. O produto final do mosaico é uma imagem ou um mapa topologicamente

consistente, com continuidade física.

O mosaico de várias cenas que compõem a área de trabalho dá bons resultados quando as cenas mosaicadas são de mesma data e órbita. Caso contrário variações nas condições climáticas podem gerar imagens com características espectrais diversas e mosaicos heterogêneos, com alteração dos dados espectrais originais. Neste caso, para melhores resultados na interpretação, o processamento de cada cena deve ser feito independentemente.

Um tipo de problema que normalmente pode ocorrer na elaboração do mosaico de uma área geográfica coberta por diversas imagens, é que nem sempre as duas imagens subseqüentes apresentam as mesmas variações de intensidades. Isto é devido a não continuidade radiométrica dos pixels entre as imagens. Este problema é passível de correção, desde que as diferenças radiométricas não sejam muito grandes.

Na tentativa de minimizar esse efeito, foi utilizada a opção de mosaico com *feathering*. O *feathering* permite a fusão de limites de imagens por dissolução de bordas ou de linhas de corte. A opção de mosaico utilizando o *feathering* apresenta resultados satisfatórios para a confecção do mosaico, onde em áreas de contato as diferenças radiométricas ainda persistem.

Neste caso se utilizou a opção “*edge feathering*” para misturar a borda de uma imagem de topo com a imagem de fundo com base em uma distância (número de pixel) de mistura especificada. A distância especificada cria uma rampa linear que calcula a média das áreas de sobreposição das duas imagens através dessa distância. Para as imagens do ALOS que cobrem a bacia de estudo utilizou-se uma área de sobreposição de 20 pixels aproximadamente e o balanceamento automático de cores na área de sobreposição com ajuste e estatística da imagem 2 a imagem 1, minimizando as diferenças na visualização das imagens, com resultados satisfatórios.

5.3.3.2.2.6 *Máscara de elementos não desejados*

Muitas vezes, existem nas imagens componentes indesejáveis, os quais podem ser eliminados a partir da criação de máscaras.

Os elementos que normalmente são eliminados por máscaras são as

nuvens, sombras, água, vegetação e neve.

Neste trabalho, devido à presença do mar, nuvens e sombras das nuvens, que podem afetar os resultados da classificação, três máscaras foram criadas. Para executar este procedimento foi utilizada a ferramenta "Density Slice" do ENVI, permitindo realizar uma classificação da imagem ou de cada banda do sensor separada com base na reflectância (%).

No caso do mar se utilizou a banda 4, correspondente ao infra-vermelho próximo do sensor AVNIR-2, que oferece a maior diferença entre a terra e a água, dada a elevada absorção de água nesta banda. Foram utilizadas duas classes de interpretação com base na reflectância, depois de testar estatisticamente o comportamento dos espectros de cada classe. Desse modo foi determinado que o limiar que está mais perto desta diferenciação é em torno do valor 50. Foi então criada uma classe entre 0 - 50 DN (água) e outra classe entre 50 - 255 DN (Terra). Foi realizada a classificação com duas classes e, em seguida, o resultado foi convertido para formatos vetoriais em ENVI e shape para sua entrada no ArcGIS. A edição das classes foi realizada para remover os objetos que não são do interesse. Finalmente, foi criada uma camada vetorial com o limite da água do mar.

Para as nuvens foi realizado um procedimento similar ao explicado acima, apenas com a banda 1 (azul) do sensor, na qual as nuvens aparecem com mais contraste espectral em relação a outros objetos. A análise estatística e a interpretação visual da imagem mostrou que as nuvens estão entre os valores de reflectância (%) 135 - 255. Mas, como há outros objetos com resposta espectral similar foi necessária a interpretação visual e reconhecimento de formas e de outras feições associadas para identificar as nuvens e apagar o restante desses objetos.

Para as sombras das nuvens foi necessário um procedimento semelhante ao citado acima, mas neste caso usando a banda 2 (verde) que apresenta melhor separação entre as sombras das nuvens e os demais objetos. É importante observar que, dependendo do tipo de nuvens, uma ou outra banda espectral pode ser empregada na sua identificação. A partir da análise estatística e da

interpretação visual foi determinado que as sombras das nuvens estão associadas com valores de reflectância entre 67 - 86. Procedimento semelhante ao anteriormente descrito para as nuvens foi utilizado para obter apenas os polígonos referentes às sombras das nuvens.

Com esses vetores se procedeu à criação das máscaras na imagem para classificar.

5.3.3.2.3 Processamento

Nesta fase, foram criados índices e aplicadas técnicas para a melhoria e realce da imagem e extração de informações: índice da diferença normalizada de vegetação (NDVI), classificações não supervisionada por diferentes métodos, algoritmo de mínima fração de ruído (MNF), a criação de classes espectrais (ROI) e sua estatística, verificação da separabilidade dos ROI e classificação supervisionada por diferentes métodos.

5.3.3.2.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice por Diferença Normalizada de Vegetação (NDVI), expressa a força da vegetação ou conteúdo de clorofila a partir das reflectâncias das bandas vermelha (R) e infravermelho próximo (IRC) (bandas 3 e 4 das imagens ALOS), que são integrados a seguinte expressão geral:

$$NDVI = (IRC - R) / (IRC + R)$$

O NDVI foi calculado a fim de compreender o comportamento da vegetação na bacia Chambas e como apoio na seleção de classes (ROI) para a classificação supervisionada.

Este índice foi determinado a partir da imagem ALOS do mosaico corrigido atmosféricamente.

Os resultados da análise dos valores de NDVI permitiram a criação de cinco grupos principais de classes espectrais representadas no mapa de NDVI da bacia Chambas, (figura 7.4 do capítulo de resultados). As classes obtidas foram:

1. No primeiro intervalo -0,7118 a -0,1100, se encontram as classes de água tanto de mar como em terra (reservatórios, lagoas costeiras, etc.)
2. Um segundo intervalo -0,1100 a 0,2000, se associa às zonas com ausência total de vegetação (as classes de solo exposto, áreas urbanizadas, areias e rochas expostas, águas com sedimentos e zonas de empréstimo)
3. Um terceiro intervalo 0,2000 a 0,4000 está associado às zonas de vegetação rala com pouca biomassa (zonas de culturas em fases iniciais de crescimento, pastos cultivados e seminaturais e vegetação esclerofila espinhosa).
4. O quarto intervalo 0,4000 a 0,5600 está associado aos tipos de vegetação com conteúdos de biomassa moderados a altos e estratos arbustivos e outras com condições de umidade permanente (áreas de culturas desenvolvidas, vegetação arbustiva seminatural, mata ciliar degradada, manguezais e arroz)
5. O quinto intervalo 0,5600 a 0,7607 está relacionado com vegetações com alto conteúdo de biomassa (floresta semi-decídua densa e degradada, e silviculturas desenvolvidas, vegetação secundária de marabú desenvolvido)

5.3.3.2.3.2 Classificação

Os métodos de classificação se dividem basicamente em duas categorias: a classificação supervisionada e a não supervisionada. Nesta segunda não há qualquer conhecimento prévio do classificador sobre os atributos das classes pertinentes a cena, enquanto que na classificação supervisionada, o classificador orienta sua busca de classes a partir de amostras de treinamento feitas anteriormente com as classes de interesse da cena.

O princípio de classificação supervisionada é baseado no uso de algoritmos para se determinar os pixels que representam valores de reflexão característicos para uma determinada classe. A classificação supervisionada é a mais utilizada na análise quantitativa dos dados de sensoriamento remoto. De acordo com a Guia

do ENVI em 2010, as etapas fundamentais na classificação supervisionada são:

1. Definição das classes nas quais a imagem vai ser dividida
2. Escolha de amostras de treinamento para cada classe pelo uso de mapas topográficos, aerofotos, trabalho de campo, etc. e controle com a ajuda de avaliações estatísticas. O conjunto dos pixels que fazem parte de uma classe chama-se assinatura espectral da classe (“spectral signature”).
3. Aplicação de um algoritmo de classificação em que todos os pixels são classificados conforme o método estatístico escolhido (por exemplo, Métodos do Paralelepípedo, Mínima Distância, Máxima Verossimilhança).
4. Homogeneização do resultado de classificação com passos de filtragens, tais como filtro de mediana, aglutinação ("clump") e peneiramento ("sieve").
5. Vetorização dos contornos e produção de mapas temáticos com o resultado da classificação.

Foram aplicados os métodos de classificação supervisionada e não supervisionada às imagens do sensor AVNIR-2 para avaliar as condições e as mudanças que ocorrem na bacia Chambas.

A definição das categorias de uso e cobertura da terra foi feita com base no sistema de classificação CORINE Land Cover complementada com os tipos de vegetação para Cuba. Após uma análise e interpretação da imagem, utilizando vários algoritmos e técnicas, chegou-se a 11 categorias bem diferenciadas: corpos d'água (reservatórios), lagoas costeiras, manguezais, sistemas agroflorestais, areia, vegetação de arbustos semi-natural, pastos seminaturais e cultivados, mosaicos de culturas, floresta semi-decídua degradadas, floresta semi-decídua densa e solo exposto.

A seleção das amostras de treinamento foi realizada tendo em conta os conhecimentos na interpretação de imagens de satélite e de campo. Além disso, foram utilizadas outras fontes de informação, tais como mapas cartográficos da

região estudada, bem como a análise estatística da imagem e das amostras de treinamento, que ajudaram a avaliar a correspondência entre as classes e as amostras selecionadas.

Os algoritmos classificadores utilizam a informação estatística referente a essas amostras na classificação dos demais pixels da imagem. Em função disso, para que a classificação seja bem sucedida, é fundamental que as amostras de treinamento sejam homogêneas e representativas das classes de interesse.

Para solucionar a confusão espectral, vários testes foram realizados nas amostras de treinamento para determinar a sua separabilidade. Os resultados foram obtidos com 11 classes, como mostrado no histograma das assinaturas espectrais dos ROI (Figura 5.3).

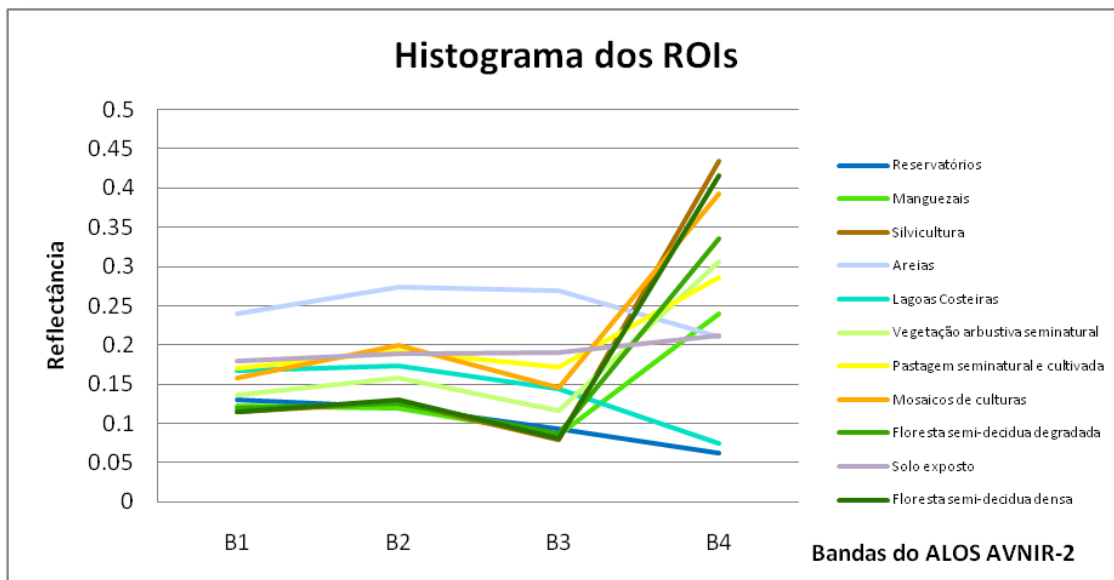


Figura 5.3: Histograma das amostras de treinamento (ROIs)

O método de classificação supervisionada da máxima verossimilhança foi o que produziu os melhores resultados neste trabalho.

5.3.3.2.4 Pós-Processamento

Nesta fase, foram aplicadas técnicas para melhorar a qualidade de processamento, fazer a verificação dos resultados e a sua cobertura e exportação para outros formatos. Dentre as técnicas utilizadas estão: aplicação de filtros,

verificação de campo, matriz de erros e validação de matriz dos resultados, exportação dos resultados da classificação para formato vetorial e formato shape e criação do banco de dados de atributos das classes.

A homogeneização da classificação final foi realizada pela aplicação de um filtro mediana de $3 * 3$ e filtro de análise de maioria (Majority / Minority Analysis), que remove pixels isolados dentro das classes. Esta operação contribui muito para a leitura e compreensão da classificação.

Os resultados mostram que nem todas as categorias de cobertura e de uso da terra existentes na região de estudo puderam ser diferenciadas. Isso ocorre porque a resposta espectral de determinados objetos é semelhante, gerando um alto grau de confusão entre elas.

Conjuntamente com o PDI realizou-se a interpretação visual das imagens, realçadas por ampliação linear de contraste da seguinte composição colorida RGB das bandas 432.

A interpretação visual de imagens de satélite é baseado na nossa capacidade de relacionar cores e padrões em uma imagem com características do mundo real.

As principais características observáveis nas imagens são: a forma, tamanho, tom, cor, sombra, forma como os objetos são distribuídos na superfície e como esses objetos são agrupados.

A classe de áreas urbanizadas foi gerada a partir da interpretação visual da imagem, pois não foi possível diferenciá-la da classe solo exposto devido à grande confusão entre elas. Posteriormente ela foi incorporada por meio de vetorização e edição em ambiente SIG.

O resultado da classificação mostra um total de 12 categorias de uso e cobertura da bacia Chambas (Figura 5.4). Há um predomínio de áreas dedicadas a cultivos e pastos, especialmente na planície que se estende desde a cidade de Chambas à foz do rio do mesmo nome.

A confusão entre certas classes foi resolvida durante a fase de trabalho de campo.

5.3.3.2.5 Trabalhos de campo para verificação dos resultados.

Os trabalhos de campo realizados na bacia Chambas tiveram como objetivo principal, a verificação dos resultados obtidos a partir de imagens de satélite para o mapeamento da cobertura e uso da terra.

Nesta etapa se conformaram os mapas personalizados com o sistema de coordenadas utilizadas em Cuba, a legenda, a escala e o limite da bacia Chambas.

Foram utilizados dois mapas impressos: a carta-imagem com o mosaico das Imagens do satélite ALOS do sensor AVNIR-2 e o mapa de cobertura e uso da terra da bacia Chambas com 12 classes espectrais.

A carta-imagem foi confeccionada com o mosaico das imagens ALOS após aplicado um conjunto de técnicas de pré-processamento e de processamento, tais como: correção geométrica, correção atmosférica, corte, criação do mosaico e composição colorida RGB das bandas 321 (cor verdadeira). A etapa seguinte foi a geração do mapa final em ambiente SIG incorporando os elementos cartográficos e a informação necessária para a orientação do trabalho de campo, como mostrado na figura 5.5. A escala dos mapas de trabalho de campo das figuras 5.4 e 5.5 foi 1:28.000, que não é a representada nestas figuras.

Mapa da Cobertura e Uso da Terra, Bacia Chambas

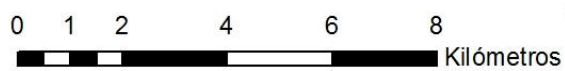
Legenda

Cobertura e uso da terra

-  Areias
-  Floresta semi-decídua degradada
-  Floresta semi-decídua densa
-  Lagoas costeiras
-  Manguezais
-  Mosaico de culturas
-  Pastagem semi-natural e cultivada
-  Reservatórios
-  Silvicultura
-  Solo exposto
-  Vegetação arbustiva semi-natural
-  Zona urbanizada
-  Rios principais
-  Limite da bacia Chambas



1:120,000



Projeção Conica Conforme de Lambert
 NAD_1927_Cuba_Norte
 Datum: D_North_American_1927
 Datum altimétrico: Mareógrafo Siboney,
 La Habana
 Elaboração: Geler T., 2011
 Fonte: Processamento digital de imagens satélites.
 Técnicas de sensoriamento remoto e SIG.
 Imagens ALOS/AVNIR-2, bandas 1, 2, 3, e 4
 Passagem em 15/09/2009
 Resolução espacial 10 metros
 Softwares utilizados ENVI 4.2, 4.5, 4.6 e ArcGis 9.3

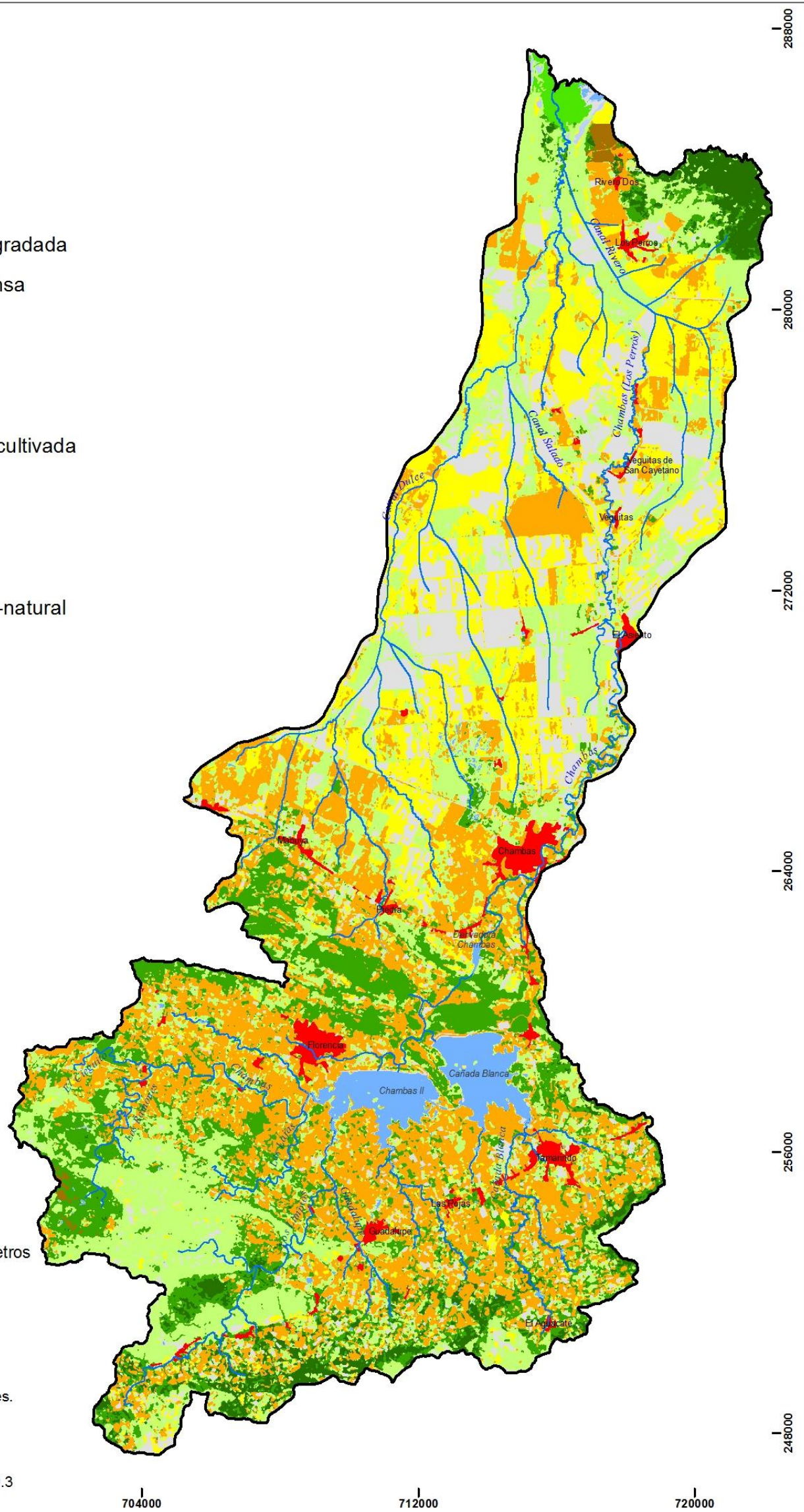


Figura 5.4: Mapa de cobertura e uso da terra obtido no procesamento digital de imagem sin verificação de campo.



Carta-imagem do mosaico das Imagens ALOS, Bacia Chambas

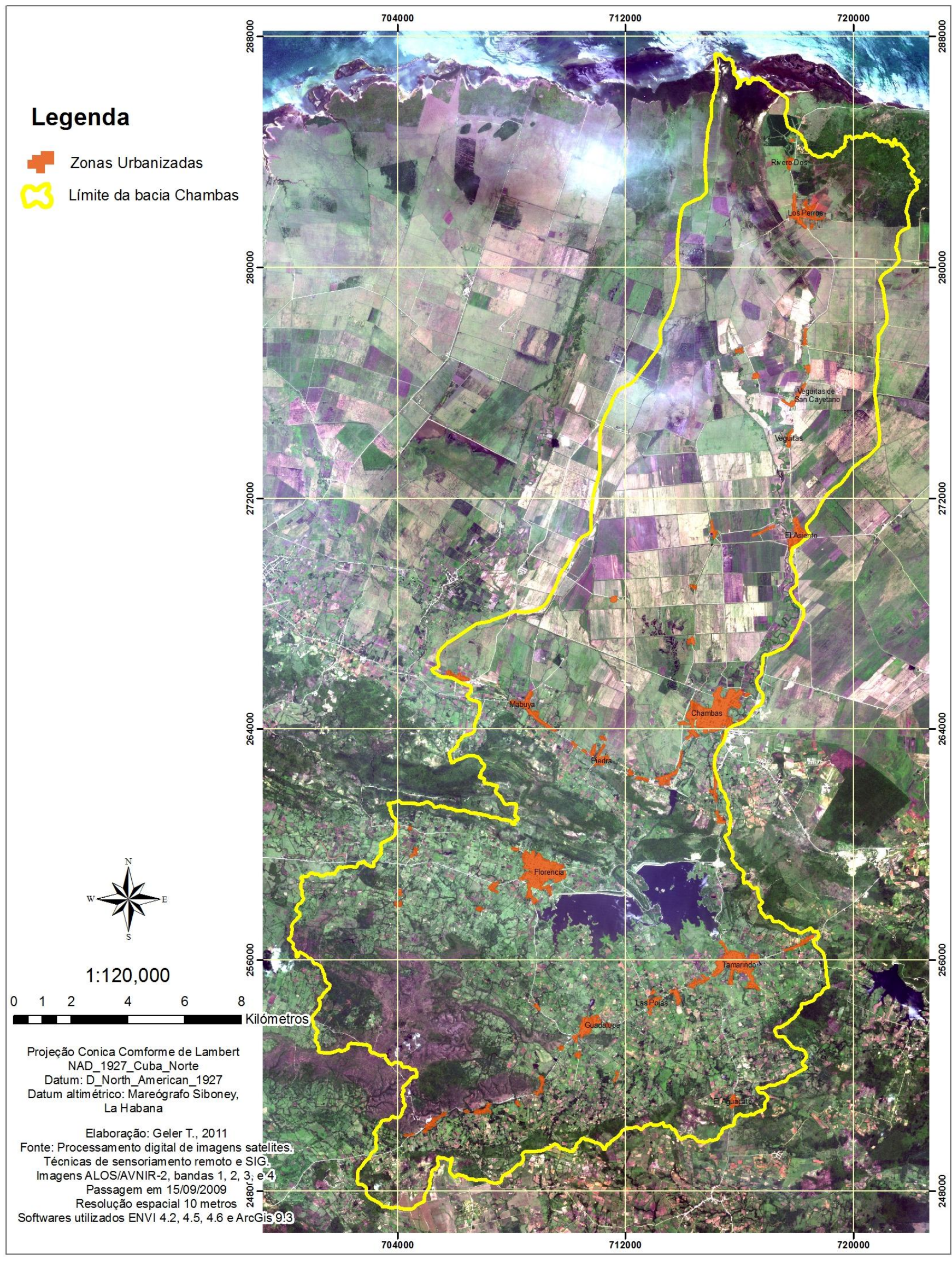


Figura 5.5: Carta-imagem do mosaico das imagens ALOS, bacia Chambas.

Durante o percurso realizado na área de estudo foram visitados 60 pontos de controle, estabelecidos a partir das diferenças no uso da terra e principalmente dos tipos de solo. Para cada um foram medidas as coordenadas com dispositivo GPS configurado para a Projeção Cônica Conforme de Lambert utilizada em Cuba, com datum Cuba_Norte NAD 27 e datum altimétrico, a partir do ponto mareográfico de Siboney, localizado em 23° 05.6' de latitude Norte e 82° 28.2' de longitude Oeste, Siboney, La Habana.

Em cada ponto visitado foram descritas as características dos solos e uso da terra, assim como outros elementos do meio físico e socioeconômico de interesse.

O passo seguinte foi a digitalização dos dados obtidos em campo em ambiente SIG, como mostra a figura 5.6.

Estes pontos de controle coletados em campo durante o período de 2009-2011 foram incorporados ao banco de dados integrando um total de 60 pontos de controle para toda a bacia de Chambas. Esta base está estruturada com as seguintes colunas: Nome do ponto de controle, Coordenadas X e Y, e o uso determinado no terreno (Tabela 5.4).

Mapa de Pontos de Controle, Bacia Chambas

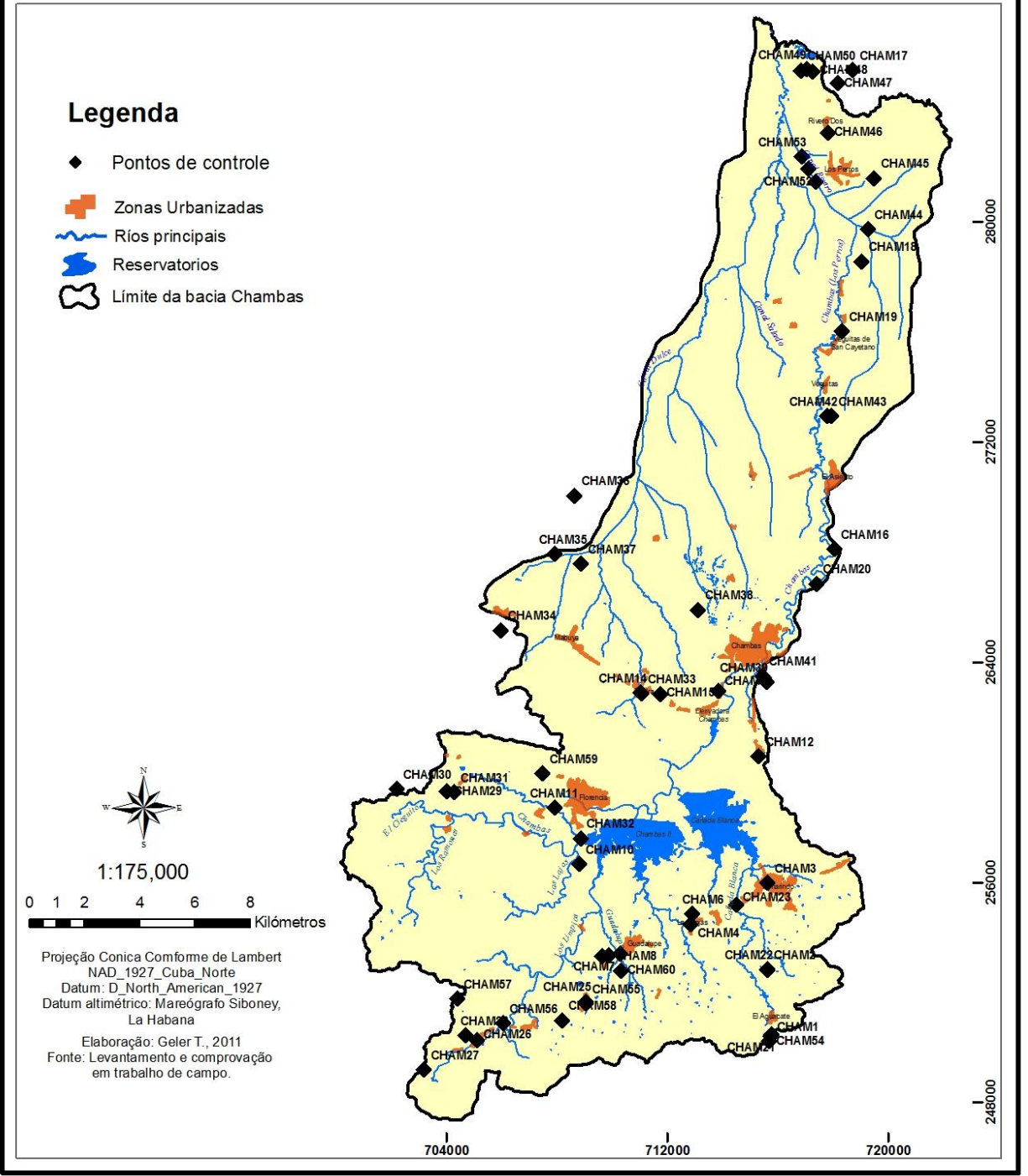


Figura 5.6: Mapa com a distribuição dos pontos de controle coletados em trabalho de campo, bacia Chambas.

Tabela 5.4: Pontos de controle verificados na região da bacia Chambas durante as etapas de trabalhos de campo.

No.	Pontos	Coor_X	Coor_Y	Cobertura e Uso da Terra
1	CHAM1	715738	250429	Pastagem semi-natural
2	CHAM2	715619	252827	Pastagem semi-natural
3	CHAM3	715632	255995	Urbano
4	CHAM4	712844	254480	Urbano
5	CHAM6	712896	254850	Culturas e Eucalipto
6	CHAM7	710279	253399	Pastagem semi-natural
7	CHAM8	709878	253363	Vegetação esclerofila e espinhosa degradada (Cuabal)
8	CHAM10	708802	256671	Pastagem semi-natural
9	CHAM11	707915	258720	Pastagem semi-natural
10	CHAM12	715311	260574	Floresta semi-decídua degradada com palmeira Real
11	CHAM13	713845	262953	Pastagem degradada
12	CHAM14	711039	262884	Urbano
13	CHAM15	711727	262832	Pastagem degradada
14	CHAM16	718042	268117	Mata Ciliar degradada
15	CHAM17	718713	285507	Pastagem degradada
16	CHAM18	719040	278559	Pastagem e gado
17	CHAM19	718331	276027	Cana de açúcar
18	CHAM20	717401	266847	Pastagem
19	CHAM21	715768	250462	Pastagem semi-natural
20	CHAM22	715624	252850	Plantação de banana
21	CHAM23	714485	255189	Tabaco
22	CHAM24	709649	253316	Vegetação esclerofila e espinhosa degradada (Cuabal)
23	CHAM25	709047	251675	Plantação de Pino
24	CHAM26	705093	250275	Urbano
25	CHAM27	703181	249198	Pastagem e culturas
26	CHAM28	704694	250448	Plantação de Eucalipto
27	CHAM29	704013	259321	Pastagem

28	CHAM30	702179	259403	Vegetação secundaria (Marabú)
29	CHAM31	704272	259278	Pastagem
30	CHAM32	708863	257606	Reservatório
31	CHAM33	711055	262872	Urbano
32	CHAM34	705969	265163	Pastagem
33	CHAM35	707908	267938	Cana de açúcar
34	CHAM36	708634	270053	Cana de açúcar
35	CHAM37	708872	267574	Arroz
36	CHAM38	713109	265905	Pastagem
37	CHAM39	715603	263276	Urbano
38	CHAM40	729901	261159	Pastagem
39	CHAM41	715433	263497	Estrada
40	CHAM42	717775	272942	Solo exposto
41	CHAM43	717947	272949	Solo exposto
42	CHAM44	719266	279737	Estrada
43	CHAM45	719488	281584	Estrada
44	CHAM46	717817	283225	Pastagem
45	CHAM47	718163	285056	Pastagem
46	CHAM48	717267	285473	Pastagem
47	CHAM49	717058	285550	Apicum
48	CHAM50	716840	285501	Mangue
49	CHAM51	717362	281462	Arroz
50	CHAM52	717111	281933	Arroz
51	CHAM53	716862	282380	Pastagem degradada
52	CHAM54	715696	250239	Solo exposto
53	CHAM55	709028	251600	Vegetação esclerofila e espinhosa (Cuabal) com Pino isolado
54	CHAM56	706044	250887	Vegetação esclerofila e espinhosa típica
55	CHAM57	704382	251775	Vegetação esclerofila e espinhosa com Pinos e Eucaliptos isolados
56	CHAM58	708168	250995	Tabaco e mosaico de culturas
57	CHAM59	707479	259959	Solo exposto
58	CHAM60	710318	252783	Tabaco

59	CHAM61	726530	224560	Pastagem semi-natural
60	CHAM62	729880	222370	Mosaico de culturas

5.3.3.2.6 Vetorização e exportação dos resultados da classificação

Durante esta etapa foi feita a edição final do mapa de cobertura e uso da terra na bacia Chambas, após a verificação da verdade terrestre em campo. Isto permitiu acrescentar o número de classes determinadas a partir dos resultados de classificação das imagens de sensoriamento remoto e, em outros casos permitiu a alteração de uma classe para outra (Tabela 5.5).

Tabela 5.5: Classes de cobertura e uso da terra, antes e depois da verificação em campo.

No. de Classes	Nome da classe inicial	Nome da classe final	Área (ha)	% de área do total
1	Silvicultura	Silvicultura	26,36	0,07
2	Solo exposto	Zona de empréstimo	22,19	0,06
3	Zona urbanizada	Zona urbanizada	749,76	1,95
4	Vegetação arbustiva semi-natural	Arroz	793,01	2,06
5	Floresta semi-decídua degradada	Floresta semi-decídua degradada	5.083,93	13,20
6	Floresta semi-decídua densa	Floresta semi-decídua densa	1.212,50	3,15
7	Pastagem semi-natural e cultivada, vegetação arbustiva semi-natural e solo exposto	Cana de açúcar	7.190,90	18,67
8	Reservatórios	Reservatórios	900,43	2,34
9	Lagoas costeiras	Lagoas costeiras	11,38	0,03
10	Manguezais	Manguezais	179,77	0,47
11	Silvicultura	Vegetação secundária (Marabú)	70,70	0,18
12	Mosaico de culturas	Mosaico de culturas	7.660,90	19,89

13	Pastagem semi-natural e cultivada	Pastagem semi-natural e cultivada	3.345,13	8,68
14	Areias	Apicum	32,43	0,08
15	Solo exposto	Solo exposto	2.000,78	5,19
16	Vegetação arbustiva semi-natural	Vegetação arbustiva semi-natural	6.306,39	16,37
17	Vegetação arbustiva semi-natural	Vegetação esclerófila e espinhosa (Cuabal)	2.222,29	5,77
18	Mosaico de culturas	Tabaco	715,05	1,86
		TOTAL	38.523,88	100,00

A padronização dos objetos/classes na imagem correspondente à área de estudo permitiu a identificação e classificação de 18 categorias de cobertura e uso da terra na bacia do rio Chambas do ano 2009: silvicultura, zona de empréstimo, zona urbanizada, arroz, floresta semi-decídua degradada, floresta semi-decídua densa, cana de açúcar, reservatórios, lagoas costeiras, manguezais, vegetação secundária (Marabú), mosaico de culturas, pastagem semi-natural e cultivada, apicum, solo exposto, vegetação arbustiva semi-natural, vegetação esclerófila e espinhosa (Cuabal) e tabaco. Na figura 5.7 pode-se observar alguns dos tipos de coberturas e usos existentes na bacia.

As 18 categorias de cobertura e uso da terra foram representadas espacialmente no mapa de cobertura e uso da terra da bacia Chambas, mostrado na figura 7.5 do capítulo de resultados.



Arroz



Floresta semi-decídua



Cana de açúcar



Cuabal



Mosaicos de culturas



Manguesais



Marabú



Pastagem



Silvicultura



Apicum



Tabaco



Vegetação arbustiva



Cidade Florencia



Reservatorios



Fabrica de Charutos

Figura 5.7 Exemplos das classes de usos na bacia Chambas.

Fonte: Trabalhos de campo 2009, 2010 e 2011.

5.3.3.3 Cobertura e uso da terra na bacia Chambas, no período 2000-2004.

O ano de 2004 foi determinante para a reestruturação e reordenação do uso da terra nas áreas agrícolas em Cuba devido a diferentes fatores e mudanças com relação as áreas dedicadas ao cultivo da cana de açúcar e seus rendimentos. A região da provincia Ciego de Avila, e em especial a bacia Chambas, não escaparam desta transformação tendo em conta que a maior porcentagem de uso da bacia hidrográfica era dedicado a este tipo de cultura (Tabela 5.6).

Neste trabalho, com o objetivo de simular as mudanças na produção de sedimentos para diferentes cenários de uso e ocupação da terra foram gerados dois mapas de cobertura e uso da terra. O primeiro mapa foi gerado a partir das imagens ALOS do ano 2009, explicado nos capitulos anteriores; e o segundo referente ao período 2000 - 2004 (Figura 5.8) foi gerado a partir dos levantamentos realizados pelo IPF (Instituto de Planificación Física), cartas topográficas 1: 25000 e a imagem Landsat do ano 2000 sensor ETM.

Tabela 5.6 Área e porcentagem dos usos da terra nos dois períodos da modelagem 2000 - 2004 e 2005 - 2010.

No.	Classe de Uso	Anos 2000 - 2004		Ano 2005 - 2010	
		Área (ha)	% de área do total	Área (ha)	% de área do total
1	Silvicultura	26,36	0,07	26,36	0,07
2	Zona de empréstimo	22,19	0,06	22,19	0,06
3	Zona urbanizada	749,60	1,95	749,76	1,95
4	Arroz	1.310,65	3,40	793,01	2,06
5	Floresta semi-decidua degradada	5.079,51	13,19	5.083,93	13,20
6	Floresta semi-decidua densa	1.212,47	3,15	1.212,50	3,15
7	Cana de açúcar	10.180,08	26,43	7.190,90	18,67
8	Reservorios	891,25	2,31	900,43	2,34
9	Lagoas costeiras	11,38	0,03	11,38	0,03
10	Manguezais	179,77	0,47	179,77	0,47
11	Vegetação secundaria (Marabú)	70,70	0,18	70,70	0,18
12	Mosaico de culturas	7.027,04	18,24	7.660,90	19,89
13	Pastagem semi-natural e cultivada	1.666,68	4,33	3.345,13	8,68
14	Apicum	32,43	0,08	32,43	0,08




15	Solo exposto	1.652,59	4,29	2.000,78	5,19
16	Vegetação arbustiva semi-natural	5.473,91	14,21	6.306,39	16,37
17	Vegetação esclerofila e espinhosa (Cuabal)	2.222,29	5,77	2.222,29	5,77
18	Tabaco	715,05	1,86	715,05	1,86
	Total	38.523,91	100,00	38.523,90	100,00



Mapa da Cobertura e Uso da Terra, período 2000 - 2004, Bacia Chambas

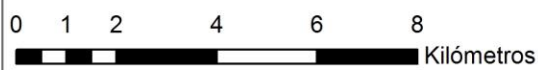
Legenda

Cobertura e uso da terra

-  Apicum
-  Arroz
-  Cana de açúcar
-  Floresta semi-decídua degradada
-  Floresta semi-decídua densa
-  Lagoas costeiras
-  Manguezais
-  Mosaico de culturas
-  Pastagem semi-natural e cultivada
-  Reservatórios
-  Silvicultura
-  Solo exposto
-  Tabaco
-  Vegetação arbustiva semi-natural
-  Vegetação esclerófila e espinhosa (Cuabal)
-  Vegetação secundária (Marabú)
-  Zona de empréstimo
-  Zona urbanizada
-  Rios principais
-  Limite da bacia Chambas



1:120,000



Projeção Conica Conforme de Lambert
 NAD_1927_Cuba_Norte
 Datum: D_North_American_1927
 Datum altimétrico: Mareógrafo Siboney,
 La Habana

Elaboração: Geler T., 2011
 Fonte: Processamento digital de imagens satélites.
 Técnicas de sensoriamento remoto e SIG.
 Imagens ALOS/AVNIR-2, bandas 1, 2, 3, e 4
 Resolução espacial 10 metros. Passagem em 15/09/2009
 Imagem LANDSAT 7 ETM+, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7
 Resolução espacial 30 metros. Passagem em 30/06/2000
 Cartas topográficas, ICGC, 1986 e 2004 escala 1:25000
 Softwares utilizados: ENVI 4.2, 4.5, 4.6 e ArcGis 9.3

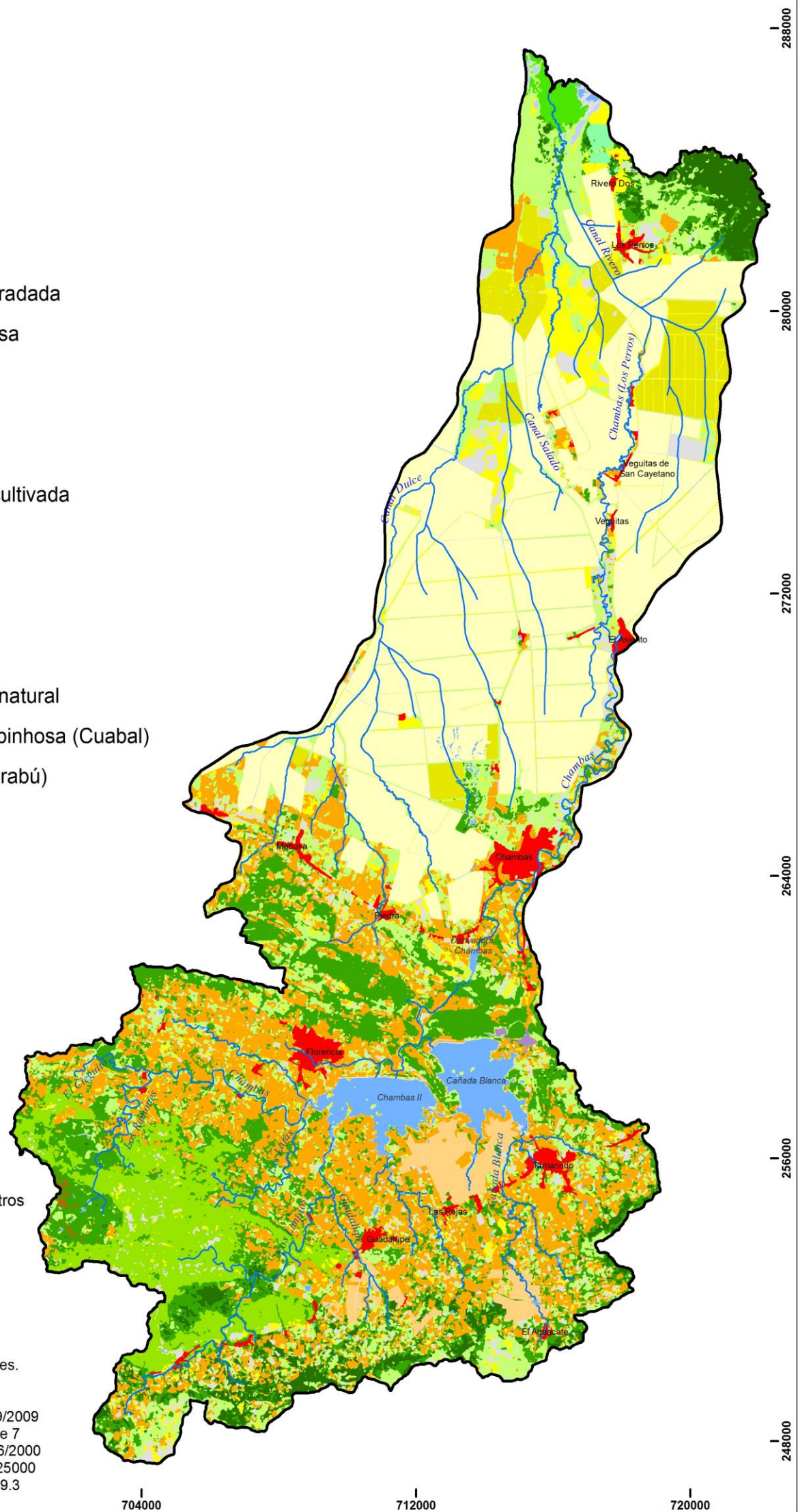


Figura 5.8 Mapa da cobertura e uso da terra no período 2000 - 2004 na bacia Chambas.

5.3.4 Levantamento dos Tipos de Solos.

Os dados de solo foram obtidos a partir dos levantamentos existentes para a região de estudo, realizados pelo Instituto de Solos do Ministerio da Agricultura (MINAGRI). Além disso, foram analisadas alternativas para a geração das variáveis de solo a partir de outros programas como o *Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator* (SWC).

5.3.4.1 Classificação de solos utilizada na bacia Chambas

Em geral, o trabalho está organizado em diferentes fases:

- 1) Revisão dos trabalhos anteriores realizados pelo Instituto do Solo.
- 2) Trabalho de campo para testar e verificar os limites das unidades de solos, estudar e descrever perfis de solos, bem como definir e caracterizar as unidades de mapeamento.
- 3) Trabalhos de gabinete, para transferir todas as informações para o mapa, estruturar a sua legenda e explicar sua formação, caracterização e distribuição geográfica dos recursos do solo.
- 4) Análise e verificação dos limites das unidades e da informação que aparece na legenda do mapa de solos.
- 5) Conversão do mapa de solos para o formato digital e criação do banco de dados de solo.
- 6) Geração das variáveis de entrada para o modelo SWAT.
- 7) Criação da estrutura da base de dados de solos para sua entrada em SWAT.

O mapeamento de solos na área de estudo foi realizado no âmbito deste trabalho na escala 1:25.000 (LÓPEZ, 2011), baseado na Nova Versão de Classificação Genética dos Solos de Cuba, do Instituto de Solo, (HERNÁNDEZ et al., 1999).

As bases da Nova Versão da Classificação de Solos de Cuba (NV) apoiam-se na gênese dos solos, ou seja, fatores e processos de formação. No entanto, na nova versão estas bases foram relacionadas com os horizontes e as características de diagnóstico. A partir desta visão, as categorias se configuram como o resultado da gênese do solo e são apresentadas nas características morfológicas do perfil do solo,

além de algumas propriedades físicas e químicas simples.

Desta maneira foram estabelecidos na classificação horizontes principais e horizontes padrão de diagnóstico, juntamente com as características de diagnóstico. Nesta classificação as unidades taxonômicas continuam a ser as mesmas das versões anteriores (princípio da herança), de modo que os principais horizontes são utilizados para classificar os Agrupamentos ou Grupos de solos. Cada um dos tipos genéticos são separados em base dos horizontes normais. Às vezes, com base nas propriedades de diagnóstico, e dentro de cada Tipo foram estabelecidos os Subtipos do solo, considerando os horizontes normais, mas principalmente os horizontes de diagnóstico.

O **tipo genético** é a unidade taxonômica básica da classificação e inclui os solos que têm uma manifestação clara de um mesmo processo de formação com um nível semelhante de desenvolvimento definidos, na maioria dos casos, pelos horizontes padrão de diagnósticos.

O **subtipo de solos** reflete as formas qualitativas de manifestação do processo de formação dos solos, dos tipos genéticos e podem constituir, além disso, as transições entre os tipos. Definem-se pelos horizontes normais ou pelas características de diagnóstico.

O **gênero** é determinado pelas características químicas e mineralógicas do solo, relacionadas com a rocha-mãe ou com a intensidade da lixiviação das substâncias minerais. É definida pelas características do diagnóstico, a mineralogia e o grau de saturação.

As **espécies** de solo são separadas pelos fatores limitantes do solo. A representação dos Agrupamentos, Tipo, Subtipo, gênero e espécie no mapa de solos, está de acordo com os indicadores alfanuméricos sobre a Nova Versão da Classificação Genética dos Solos (MINAGRI, 1999).

Durante os trabalhos de campo foram coletadas amostras de solo em pontos de controle, para comprovar e verificar os limites das unidades de solos. Para estes foram descritos os perfis, e definidas e caracterizadas as unidades cartográficas de solos.

No total foram visitados 60 pontos de controle, nos quais foram tomadas as coordenadas com dispositivo GPS. Foram descritas as características dos solos e uso da terra em cada ponto visitado. O passo seguinte foi a digitalização dos dados obtidos

em campo em ambiente SIG.

Estes pontos coletados foram incorporados ao banco de dados digital para toda a bacia de Chambas. Esta base está estruturada com as seguintes colunas: Nome do ponto de controle, Coordenadas X e Y, o uso da terra e tipo de solo determinado no terreno. Os 34 pontos mais representativos foram utilizados para a descrição dos perfis de solo (Apêndice 1).

A cartografia digital do mapa de solos da bacia em estudo levou em conta as devidas correções topológicas e o controle de qualidade das informações utilizadas.

O mapa de solos final confeccionado em ambiente SIG é constituído por 23 subtipos de solos que é o nível taxonômico mais detalhado da classificação representado neste trabalho, pertencentes aos Agrupamentos: Ferralítico, Fersialítico, Pardo Sialítico, Húmico Sialítico, Vertisol, Hidromórfico, Halomórfico, Fluvisol, Histosol e Poco Evolucionado (Tabela 5.7) e o mapa final de solos na Figura 7.6 do capítulo de resultados.

Os solos da bacia Chambas são divididos em três secções principais, de acordo com suas características e topografia. Na secção sul, há predomínio dos solos Pardos Ócrico e Fersialítico Pardo Rojizo Ócrico, com a presença de processos de erosão devido às características da inclinação, variando de suavemente ondulado a colinoso, e o comportamento do clima, com chuvas fortes no verão. Na secção intermediária, predominam os subtipos Lithosoles Eútrico e Pardos Mullidos e Vérticos, que favorecem a erosão causada pelo terreno acidentado (fortemente ondulado a extremamente colinoso) e a incidência das chuvas. Na parte norte predominam os solos do tipo Vertisol Crómico Gléyico em profundidad, com relevo muito plano ou quase plano com permeabilidade muito baixa e risco de salinização.

No capítulo 4 é apresentada a caracterização detalhada de todos os subtipos presentes na bacia de estudo. No capítulo 7 é apresentada a distribuição dos solos na bacia ao nível de tipos e subtipos em hectares, com uma distribuição maior dos tipos Pardo e Vertisol (Tabela 7.3).

Tabela 5.7: Classificação dos solos da bacia Chambas ao nível de subtipo com as simbologias utilizadas em Cuba.

Agrupamiento	Tipo Genético	Subtipo
Ferralítico (III)	<i>Ferralítico Amarillento Lixiviado (BE)</i>	Típico (IIIB40)
Fersialítico (V)	<i>Fersialítico Pardo Rojizo (F)</i>	Mullido (VF27)
		Ócrico (VF30)
Pardo Sialítico (VI)	<i>Pardo (G)</i>	Mullido (VIG27)
		Ócrico (VIG30)
		Cálcico (VIG6)
		Vértico (VIG42)
Húmico Sialítico (VII)	<i>Rendzina (J)</i>	Roja (VIIJ34)
		Negra (VIIJ28)
Vertisol (VIII)	<i>Vertisol Crómico (L)</i>	Gléyico en profundidad (VIII L16)
		Mullido (VIII L27)
		Típico (VIII L40)
Hidromórfico (IX)	<i>Gley Vértico (M)</i>	Típico (IXM40)
Halomórficos (X)	<i>Salino (O)</i>	Típico (XO40)
	<i>Sódico (P)</i>	Gléyico (XP14)
		Mullido (XP27)
Fluvisol (XI)	<i>Fluvisol (Q)</i>	Típico (XI Q40)
		Gléyico (XI Q14)
		Vértico (XI Q42)
		Cálcico (XI Q6)
Histosol (XII)	<i>Histosol Mésico (S)</i>	Salinizado (XIIS35)
Poco evolucionado (XIII)	<i>Lithosol (V)</i>	Eútrico (XIIIV12)
		Dístrico (XIIIV11)

Foi feita a correlação das classificações utilizadas pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Soil Taxonomy), a classificação da FAO-UNESCO (WRB), e o sistema Brasileiro de classificação de solos (SiBCS), segundo EMBRAPA (2006) para que posteriormente fosse possível o estabelecimento de correlações entre

estas e a Nova Versão de Classificação de Solos de Cuba (NV). Segundo se observa na Tabela 5.8, as correlações foram feitas em nível dos táxons superiores das classificações.

Para realizar essas correlações contou-se com trabalhos de correlação anteriormente realizados entre as classificações de Cuba com Soil Taxonomy e WRB da FAO (Hernandez et al, 2005).

Tabela 5.8: Correlação das classificações utilizadas pelo Serviço de Agricultura dos Estados Unidos (Soil Taxonomy) com a classificação da FAO-UNESCO, a classificação de solos do Brasil (SiBCS) e a Nova Versão de Classificação de Solos de Cuba (NV).

N. V. Cuba (Agrupamiento)	N. V. Cuba (Tipo de Suelo)	SiBCS Brasil (Orden)	WRB/FAO (Agrupamiento)	Soil Taxonomy (Orden)
Ferralítico	Ferralítico Amarillo Lixiviado	Luvissolos	Lixisoles	Alfisol
Fersialítico	Fersialítico Pardo Rojizo	Cambissolos	Cambisoles	Inceptisol
Pardo Sialítico	Pardo	Cambissolos	Cambisoles ó Umbrisoles	Inceptisol
Húmico Sialítico	Rendzina	Neossolos	Feozems	Rendoll
Vertisol	Vertisol	Vertissolos	Vertisoles	Vertisol
Hidromórfico	Gley Vértico	Gleissolos	Gleysoles	Entisol
Halomórfico	Salino	Gleissolos Sálicos	Solonchaks	Entisol Salic
Halomórfico	Sódico	Planossolos Nátricos	Solonetz	Halaquept Natrustoll
Fluvisol	Fluvisol	Neossolos	Fluvisoles	Entisol
Histosol	Histosol	Organossolos	Histosoles	Histosol
Poco Evolucionado	Lithosol	Neossolos	Leptosoles	Entisol

Considerou-se importante a realização destas correlações visto que estas classificações são amplamente utilizadas no mundo para a caracterização dos solos. Sendo assim, o objetivo foi facilitar a compreensão da equivalência entre a classificação utilizada em Cuba e outras classificações utilizadas mundialmente. Além disso, essa correlação possibilitou o uso da legenda de cores utilizada no Brasil segundo IBGE

(2007) para a cartografia final dos solos da bacia Chambas.

5.3.4.2 Criação do Banco de Dados dos Parâmetros do Solo.

Na determinação dos parâmetros do solo para a criação do banco de dados no SWAT foi utilizada a informação dos horizontes para 394 perfis do banco de dados pedológicos digital, existentes para a bacia Chambas (CALERO et al., 2001) e os formulários de campo com as descrições dos perfis analógicos do Instituto de Suelos (1982). Utilizaram-se estudos anteriores desenvolvidos por LOPEZ et al. (1983), BARRIOS et al. (1983), escala 1: 25.000 dos municípios de Florença e Chambas; Jatibonico e Yaguajay, das províncias Ciego de Ávila e Sancti Spiritus, classificados pela Segunda Classificação Genética de Solos de Cuba do Instituto de Solos (1975). Foram utilizados também os 60 novos pontos de verificação realizados durante este estudo.

O desenho da estrutura da base de dados de solos foi feito em ambiente SIG e conta com 150 campos e 346 IDs que representam o total de solos da bacia Chambas ao nível de subtipos.

Previamente à criação do banco de dados dos solos da bacia foi preciso calcular 15 parâmetros para cada subtipo de solo em todos os horizontes pedológicos (Tabela 5.9).

Tabela 5.9: Parâmetros do banco de dados dos solos para sua entrada em SWAT.

Parâmetros do Solo	Descrição
SNAM	Nome do tipo e subtipo de solo
NLAYERS	Número de camadas do perfil do solo
HYDGRP	Grupo hidrológico do solo. São A, B, C e D
SOL_ZMX	Profundidade máxima das raízes no perfil do solo (mm)
SOL_Z	Profundidade de cada horizonte do solo (mm)
SOL_BD	Densidade aparente em cada horizonte do solo deve estar entre 1,1-1,9 (Mg/m ³)
SOL_AWC	Capacidade de água do solo para cada horizonte (mmH ₂ O/mmsolo)
SOL_K	Condutividade hidráulica saturada (mm / hr)

SOL_CBN	Conteúdo de carbono orgânico do solo (%)
CLAY	Teor de argila no solo (%), partículas < 0,002 milímetros de diâmetro
SILT	Teor de silte no solo (%), partículas de 0,05-0,002 milímetros de diâmetro.
SAND	Teor de areia no solo (%), partículas de 2,0-0,05 milímetros de diâmetro.
ROCK	Conteúdo de rochas no solo (%), partículas > 2 milímetros de diâmetro
SOL_ALB	Albedo do solo
USLE_K	Fator de erodibilidade do solo de acordo com USLE

Os dados de solos requeridos pelo modelo SWAT são divididos em duas partes:

- Parâmetros do tipo de solo;
- Parâmetros da camada do solo

Os parâmetros do tipo de solo são: a) nome do solo; b) número de camadas; c) grupo hidrológico do solo; d) profundidade máxima das raízes;

Os parâmetros de cada camada são: a) profundidade da camada; b) Densidade aparente na camada; c) capacidade de água disponível na camada; d) carbono orgânico; e) condutividade hidráulica saturada da camada; f) porcentagem de argila; g) porcentagem de silte; h) porcentagem de areia; i) porcentagem de rocha; j) albedo; e k) fator da erodibilidade da camada.

Os parâmetros profundidade máxima das raízes (**SOL_ZMX**), profundidade da camada (**SOL_Z**), conteúdo de carbono orgânico (**SOL_CBN**), porcentagem de argila (**CLAY**), porcentagem de silte (**SILT**), porcentagem de areia (**SAND**) e porcentagem de rocha (**ROCK**), foram determinados a partir da informação existente nos 394 perfis da base de dado (CALERO et al.,2001). Nos casos onde havia mais de um perfil por unidade de solo foi utilizado o valor médio dos parâmetros segundo López (2011).

5.3.4.2.1 Profundidade máxima das raízes.

A profundidade máxima das raízes (**SOL_ZMX**) é a profundidade até onde o sistema radicular das plantas pode se desenvolver sem restrições. A Tabela 5.10

mostra as classes de profundidade utilizados nos solos da bacia Chambas e a porcentagem das áreas. Observa-se que mais de 69% dos solos da bacia estão entre as classes moderadamente profundo até profundo.

Tabela 5.10: Classes de profundidade máxima das raízes utilizadas na bacia Chambas.

Classes	Profundidade (cm)	Área (ha)	%
Pouco profundo	< 20	10.042,29	26,13
Moderadamente profundo	20 - 50	14.958,41	38,91
Profundo	51-100	11.768,5	30,62
Muito profundo	>100	1.668,2	4,34
TOTAL	-	38.524,73	100.0

5.3.4.2.2 Grupos Hidrológicos do solo

O grupo hidrológico do solo (HYDGRP), foi determinado pelo NRCS Soil Survey Staff, USDA (1996) que define um grupo hidrológico do solo como um grupo com potencial de escoamento semelhante sob condições de cobertura e tormenta (evento de chuva) semelhantes. As propriedades do solo que influenciam o potencial de escoamento são aquelas que têm um impacto sobre a taxa mínima de infiltração no solo exposto após humidade prolongada e quando não está congelado. Estas propriedades são, segundo Neitsch et al. (2005), a profundidade do lençol freático sazonalmente com alta condutividade hidráulica saturada, e uma camada de permeabilidade elevada a muito baixa. Estes mesmos autores estabeleceram a existência de quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D) baseados em critérios de permeabilidade pelas taxas de infiltração do solo.

Seguindo esta proposta os solos da bacia Chambas foram classificados como mostra a Tabela 5.11, de acordo com Lopez (2011).

Tabela 5.11: Grupos hidrológicos e estimação da permeabilidade nos subtipos de solos da bacia Chambas.

Grupo Hidrológico (HYDGRP)	Permeabilidade	Classe	Subtipo
Grupo A: Solos com alto grau de infiltração 7.6 - 11.4 mm/hr. Baixo potencial de escoamento.	Muito rápida	1	IIIBE40
Grupo B: Solos com moderada taxa de infiltração 3.8 - 7.6 mm/hr. Textura moderadamente fina a moderadamente grossa.	Rápida	2	VF27
			VF30
			VIG27
			VIG30
			XIIIV11
			XIIIV12
	Moderada	3	VF27
			VF30
			VIG27
			VIG30
			VIIJ28
			VIIJ34
			XP27
			XIQ6
Moderadamente lenta	4	XIQ40	
		XIIIV11	
		XIIIV12	
		VIG30	
Lenta	5	VIG6	
		XIQ14	
		XIQ40	
		VIG42	
Grupo C: Solos com baixa taxa de infiltração 1,3 - 3,8 mm / hr. Textura moderadamente fina a fina. Potencial de escoamento alto.	Muito lenta	6	XIQ42
			VIIIL16
			VIIIL27
			VIIIL40
			IXM40
			XO40
Grupo D: Solos com muito baixa taxa de infiltração de 0 - 1,3 mm / hr. Apresentam uma camada de argila na superfície ou perto da superfície. Transmissão de água muito lenta.	Muito lenta	6	XP14
			XIIS35

Dada a distribuição dos grupos hidrológicos na bacia de estudo se mostra uma maior representação dos grupos C e D, com 36,74 e 37,59%, respectivamente (Tabela 5.12) e estes estão relacionados com os solos da secção Norte da bacia, localizado na planície baixa e média.

Tabela 5.12 Distribuição dos grupos hidrológicos na bacia Chambas.

Subtipo	Grupo Hidrológico	Área (ha)				
		Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	TOTAL
IIIBE40	A	19,03	-	-	-	19,03
VF27	B e C	-	97,87	954,82	-	1.052,69
VF30	B e C	-	3.939,29	2.374,68	-	6.313,97
VIG27	B	-	1.622,04	-	-	1.622,04
VIG30	B e C	-	2.501,54	2.521,51	-	5.023,05
VIG42	C	-	-	4.049,19	-	4.049,19
VIG6	C	-	-	128,86	-	128,86
VIIJ28	B	-	147,63	-	-	147,63
VIIJ34	B	-	1.211,01	-	-	1.211,01
VIIIL16	D	-	-	-	9.398,42	9.398,42
VIIIL27	D	-	-	-	1.003,27	1.003,27
VIIIL40	D	-	-	-	1.399,54	1.399,54
IXM40	D	-	-	-	1.291,42	1.291,42
XO40	D	-	-	-	460,65	460,65
XP14	D	-	-	-	593,26	593,26
XP27	B	-	74,83	-	-	74,83
XIQ14	C	-	-	66,47	-	66,47
XIQ40	B e C	-	132,34	242,16	-	374,5
XIQ42	C	-	-	1.667,65	-	1.667,65
XIQ6	B	-	121,13	-	-	121,13
XIIS35	D	-	-	-	303,56	303,56
XIIIV11	B	-	-	383,16	-	383,16
XIIIV12	B	-	-	1.732,07	-	1.732,07
TOTAL		19,03	9.847,68	14.120,57	14.450,12	38.523,90
% na bacia		0,05	25,62	36,74	37,59	100,00

5.3.4.2.3 *Parâmetros que dependem das propriedades hidráulicas dos solos, densidade aparente (SOL_BD), a capacidade de água no solo (SOL_AWC) e a condutividade hidráulica saturada (SOL_K).*

A densidade do solo expressa a relação entre a massa seca de partículas sólidas para o volume total do solo, $p_b = MS / VT$. Nas determinações da densidade em massa úmida, a massa do solo é o peso seco e o volume total do solo é determinado quando o solo está em ou perto de capacidade de campo. Valores da densidade aparente devem estar entre 1,1 e 1,9 Mg/m³ ou g/cm³.

A capacidade de água disponível da camada de solo, *AWC* (mm H₂O/mm solo) é a água disponível para a planta, também referida como a capacidade de água disponível. Ela é calculada subtraindo-se a fração de água presente no ponto de murcha permanente daquele presente na capacidade de campo, $AWC = FC - WP$, onde *AWC* é o teor de água disponível na planta, *FC* é o teor de água na capacidade de campo, e *WP* é o teor de água no ponto de murcha permanente.

A capacidade de água disponível é estimada pela determinação da quantidade de água liberada entre a capacidade de campo *in situ* (o conteúdo de água no solo no potencial mátrico do solo de -0,033 MPa) e o ponto de murcha permanente (o conteúdo de água no solo no potencial matricial do solo de -1,5 MPa).

A condutividade hidráulica saturada, *K* (mm/h) relaciona a vazão de água do solo (densidade de fluxo) para o gradiente hidráulico e é uma medida da facilidade de circulação de água através do solo. *K* é o recíproco da resistência da matriz do solo para o fluxo de água.

Os parâmetros do solo, densidade aparente (**SOL_BD**), a capacidade de água no solo (**SOL_AWC**) e a condutividade hidráulica saturada (**SOL_K**), foram calculados usando o programa *Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator (SWC)*. Este é um software gráfico desenvolvido por SAXTON & RAWLS (2006), para estimar a retenção de umidade do solo, a condutividade e a capacidade de retenção de água com base na textura do solo, matéria orgânica, teor de cascalho, salinidade e compactação (Figura 5.9). O SWC se encontra livremente disponível em <http://hrsl.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>.

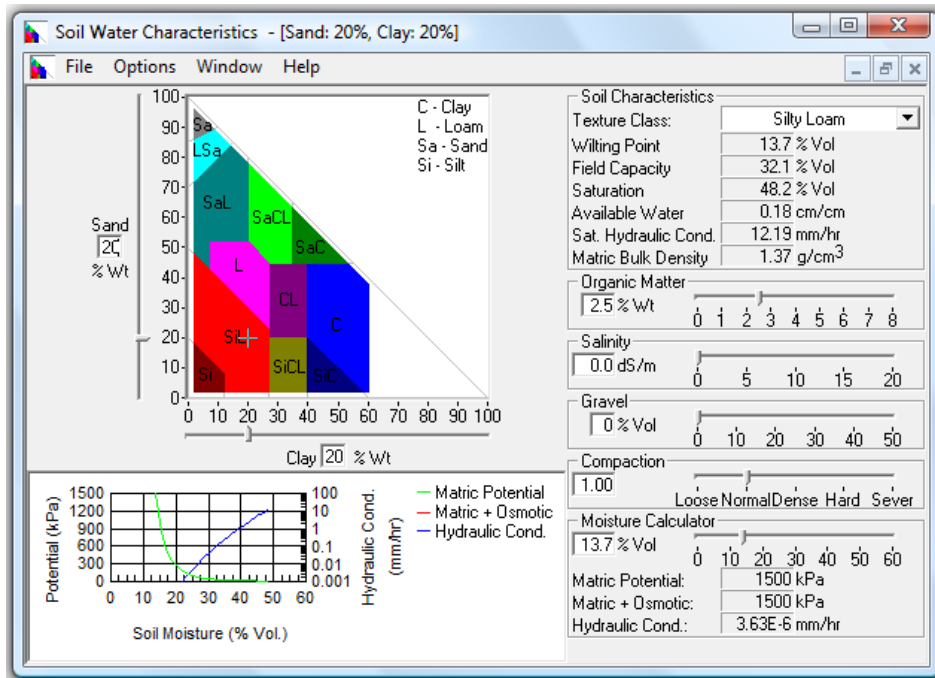


Figura 5.9: Interface do programa *Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator*.

Previamente a estimativa dos parâmetros densidade aparente (**SOL_BD**), capacidade de água no solo (**SOL_AWC**) e condutividade hidráulica saturada (**SOL_K**), foi preciso determinar um conjunto de parâmetros do solo; entre eles as classes de textura do solo, matéria orgânica, teor de cascalho, salinidade e compactação, de acordo com LÓPEZ (2011).

Antes da entrada das variáveis na calculadora SWC, este programa deve ser personalizado para que seja possível trabalhar no sistema métrico internacional, usando a interface da Figura 5.9.

5.3.4.2.4 Características texturais do solo

Textura do solo é a proporção relativa de argila, silte e areia, expressada pela granulometria do solo. Este parâmetro foi determinado com base nos conteúdos de areia, silte e argila, em porcentagem, relatados nos perfis dos solos digitais (CALERO et al., 2001). Posteriormente os solos foram classificados de acordo com o diâmetro das partículas (Tabela 5.13) e o triângulo textural de USDA (Figura 5.10), adaptado e utilizado em diferentes idiomas e metodologias no mundo, incluindo a FAO (2009),

Bosch et al. (2007), CASANOVA M.P. et al (2004), IBGE (2007).

Tabela 5.13: Classificação granulométrica das partículas do solo, segundo USDA.

Classificação granulométrica	Diâmetro (mm)
Cascalho	> 2
Areia	2 a 0,05
Silte	0,05 a 0,002
Argila	< 0,002

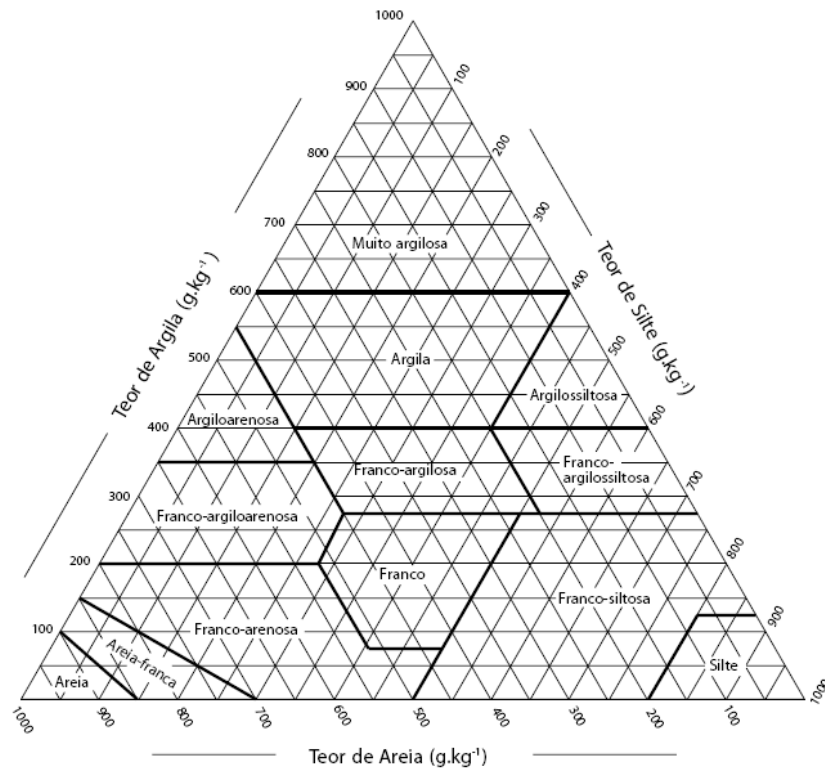


Figura 5.10: Triângulo Textural de USDA, adaptado do IBGE (2007)

Para seu uso prático e compreensão durante o trabalho com o programa SWC foi elaborada trabalho uma tabela com essas classes texturais em três línguas diferentes. (Tabela 5.14)

Tabela 5.14: Classes texturais segundo USDA e sua equivalência em três línguas.

Número da Classe	Classe Textural USDA	Código	Classe Textural Espanhol	Código	Classe Textural Português
1	Clay	C	Arcillosa	A	Argila
2	Clay Loam	CL	Franco arcillosa	FA	Franco argilosa
3	Loam	L	Franca	F	Franco
4	Loamy Sand	LSa	Areno francosa	aF	Areia franca
5	Sand	As	Arenosa	a	Areia
6	Sandy Clay	SaC	Arcillo arenosa	Aa	Argilo arenosa
7	Sandy Clay Loam	SaCL	Franco arcillo arenosa	FAa	Franco argilo arenosa
8	Sandy Loam	SaL	Franco arenosa	Fa	Franco arenosa
9	Silt	Si	Limosa	L	Silte
10	Silty Clay	SiC	Arcillo limosa	AL	Argilo siltosa
11	Silty Clay Loam	SiCL	Franco arcillo limosa	FAL	Franco argilo siltosa
12	Silty Loam	SiL	Franco limosa	FL	Franco siltosa

Na caracterização textural da bacia Chambas foram utilizadas as análises de texturas de 41 perfis representativos, distribuídos entre os principais tipos e subtipos de solos. Para determinar os conteúdos de areia, silte e argila, dos 346 polígonos de solos foi necessário extrapolar e/ou generalizar as informações da classe textural obtidos a partir do triângulo textural de USDA. Este procedimento foi realizado para as 6 camadas de solo. A Tabela 5.15 mostra os resultados dos valores de textura no primeiro horizonte do solo.

Tabela 5.15: Textura original da primeira camada do solo.

ID	Subtipo	1er Horizonte					Textura
		% Total Areia	% Areia Grossa	% Areia Fina	% Silte	% Argila	
15	XIQ6	49,5	7,5	42	31,25	19,25	F
24	VIG30	39,6	14	25,6	48,6	11,8	F
37	VF30	58,2	12,05	46,15	28,27	13,53	Fa
38	VF30	37,13	10,92	26,21	36,85	26,02	F
42	VF27	35,66	26,42	9,24	26,04	38,3	FA
86	VF30	46,18	17,67	28,51	35,85	17,97	F
94	VF30	47,22	32,26	14,96	32,35	20,43	F
95	VIG42	29,25	9,12	20,13	24,51	46,24	A
99	IIIBE40	86,5	43,97	42,53	7,1	6,4	aF
129	VIG42	24,67	1,6	23,07	29,17	46,16	A
130	VF27	53,24	3,9	49,34	33,77	12,99	Fa
138	VIG42	27	4,48	22,52	24,72	48,28	A
157	VIIIL16	6,17	0,33	5,84	23,16	70,67	A
159	VIIIL16	13,9	1,13	12,77	27,62	58,48	A
175	VIIIL16	8,63	0,36	8,27	33,59	57,78	A
178	VIIIL16	14,05	0,83	13,22	30,69	55,26	A
182	VIG42	17,46	1,39	16,07	35,7	46,84	A
196	VIIIL27	8,54	0,94	7,6	37,02	54,44	A
201	VIIIL16	30,31	2,32	27,99	30,98	38,71	FA
204	VIG42	20,78	6,44	14,34	23,9	55,32	A
208	VF30	21,72	3,39	18,33	34,48	43,8	A
210	VIIJ28	29,44	3,57	25,87	31,45	39,11	FA
211	XIQ14	65,79	33	32,79	8,73	25,48	FAa
222	VIG30	47,37	12,26	35,11	16,27	36,36	Aa
225	XIQ40	26,93	0,84	26,09	28,84	44,23	A
226	VIIIL16	2,92	1,25	1,67	19,17	77,91	A
229	VIG42	29,3	7,21	22,09	28,47	42,23	A
235	VF30	39,1	10,9	28,2	19,53	41,37	A
239	VF30	55,11	18,45	36,66	25,84	19,05	Fa
242	VIIIL16	7,85	0,84	7,01	16,48	75,67	A
249	VF30	43,07	5,23	37,84	33,73	23,2	F

252	VIG42	29,48	4,38	25,1	23,26	47,26	A
256	VIIIL16	11,96	0,84	11,12	23,74	64,3	A
266	IXM40	6,33	1,69	4,64	26,84	66,83	A
282	VF30	49,1	9	40,1	25,46	25,44	FAa
309	VIG30	31,37	4,08	27,29	39,53	29,1	FA
323	XIQ42	15,9	4,56	11,34	31,77	52,33	A
330	XP14	5,73	0,56	5,17	18,67	75,6	A
331	XIIIV12	41,36	6,41	34,95	32,77	25,87	F
344	VIIIL27	10	1,9	8,1	14,37	75,63	A
345	VIG30	52,58	8,5	44,08	26,22	21,2	FAa

Na área de estudo da bacia, a distribuição das classes de textura do solo é representado por 7 classes: Franco arenosa, Franco, Franco argilo arenosa, Franco argilosa, Argilo arenosa, Areia Franca e Argila. Esta última classe é a mais frequente na região de estudo (Tabela 5.16), com 53,16%, e está associada com o tipo de solo Vertisol crômico, no norte da região, seguido pelas texturas Franca (15,67%) e Franco argilo arenosa (13,47%) dos tipos de solos Pardo e Fersialítico Pardo Rojizo no sul e meio da bacia Chambas.

Tabela 5.16: Classes de texturas representadas na bacia Chambas.

No. da Classe	Definição	Código	Área (ha)	%
8	Franco arenosa	Fa	1.173,81	3,05
3	Franco	F	6.024,14	15,64
7	Franco argilo arenosa	FAa	5.177,90	13,44
2	Franco argilosa	FA	3.926,95	10,19
6	Argilo arenosa	Aa	1.681,82	4,37
4	Areia Franca	aF	19,03	0,05
1	Argila	A	20.521,10	53,27
-	TOTAL	-	38.524,75	100,0

5.3.4.2.5 Conteúdo de carbono orgânico

A matéria orgânica (MO) em % é determinada na parte superior do solo (camada

arável).

O aumento da matéria orgânica produz geralmente um solo com maior capacidade de retenção de água e condutividade, em grande parte como resultado de sua influência sobre a agregação do solo e distribuição espacial dos poros associados (Hudson, 1994)

Este parâmetro foi determinado utilizando a equivalência de MO com a humificação em % relatados nos perfis do banco de dados dos solos (CALERO et al., 2001) segundo López (2011). Através da avaliação deste parâmetro foram estabelecidas quatro classes: muito humificado, humificado, moderadamente humificado e pouco humificado, adaptadas da Nova Versão de Classificação Genética dos Solos de Cuba (1994).

O comportamento deste parâmetro e as classes indicam que 58,92% da área contêm mais de 3,0% de matéria orgânica, o que é muito favorável. Por outro lado existem áreas críticas (1,5 - 3,0% MO) e muito críticas com menos de 1,5 % de MO, ocupando 41,08% da área remanescente da bacia, exigindo medidas urgentes de conservação e melhoria do solo (Tabela 5.17).

Tabela 5.17: Avaliação da humificação na camada arável, bacia Chambas.

Classes	MO (%)	Área (ha)	%
Poco humificado	< 1,5	880,16	2,28
Medianamente humificado	1,5-3,0	14.947,96	38,80
Humificado	3,1-5,0	18.291,01	47,48
Muito humificado	> 5,0	4.405,6	11,44
TOTAL	-	38.524,73	100,0

5.3.4.2.6 Salinidade do solo

A salinidade é definida como o teor de sal e é expressa em dS/m. O grau de salinidade do solo é uma das principais limitações para o desenvolvimento normal de uma grande variedade de culturas, pelo seu impacto negativo sobre as propriedades físicas e hidrofísicas dos solos e a presença de toxicidade nas culturas.

A determinação deste parâmetro foi baseado na condutividade elétrica (CE), que é uma medida da concentração de sais solúveis em água nos solos usada para indicar

solos salinos (USDA, 2010).

Para determinar esta variável foram utilizados os valores de CE de 52 polígonos, relatada em 67 perfis do banco de dados de solos (CALERO et al., 2001), conforme Tabela 5.18, avaliada pela Segunda Classificação Genética dos Solos de Cuba (1975). A salinidade está expressa em % e foi preciso convertê-la em dS/m, de acordo com a Nova Metodologia de Avaliação da salinidade do solo de Cuba (OTERO et al., 2005), consistente com a Nova Versão de Classificação Genética de Solos. Como resultado obteve-se os valores da CE em dS/m para cada tipo de solo de acordo com a salinidade relatada e generalizada para os 346 IDs ou unidades cartográficas de solo da bacia.

Tabela 5.18: Condutividade elétrica dos solos e sua avaliação em classes de salinidade das primeiras camadas do solo.

ID	Subtipo de Solo	CE (dS/m) 1er HZ	Salinidade 1er Hz	CE (dS/m) 2do HZ	Salinidade 2do Hz
182	VIG42	1,2	S1	0	S0
229	VIG42	4,2	S3	0	S0
319	VIG42	5,04	S3	4,2	S3
250	XP27	14,28	S5	0	0
185	IXM40	0	S0	0	S0
173	IXM40	0	S0	1,08	S1
184	IXM40	0	S0	2,04	S2
266	IXM40	0	S0	0	S0
156	VIIIL16	0	S0	0	S0
159	VIIIL16	0	S0	1,44	S1
160	VIIIL16	0	S0	1,32	S1
181	VIIIL16	0	S0	0,96	S0
194	VIIIL16	0	S0	1,2	S1
216	VIIIL16	0	S0	1,92	S1
253	VIIIL16	0	S0	1,8	S1
254	VIIIL16	0	S0	0	S0
261	VIIIL16	1,8	S1	1,2	S1
262	VIIIL16	0	S0	1,8	S1
164	VIIIL16	2,04	S2	2,28	S2

168	VIIIL16	0	S0	2,52	S2
174	VIIIL16	0	S0	1,08	S1
178	VIIIL16	1,56	S1	0	S0
180	VIIIL16	0	S0	3	S2
189	VIIIL16	0	S0	2,16	S2
201	VIIIL16	0	S0	3,72	S2
226	VIIIL16	2,76	S2	0	S0
227	VIIIL16	0	S0	1,68	S1
242	VIIIL16	0	S0	0	S0
247	VIIIL16	0	S0	0	S0
256	VIIIL16	3,12	S2	3,36	S2
264	VIIIL16	3,36	S2	3,6	S2
342	VIIIL16	0	S0	0	S0
315	VIIIL16	0	S0	2,16	S2
161	VIIIL16	3,48	S2	5,52	S3
162	VIIIL16	4,92	S3	5,52	S3
166	VIIIL16	4,56	S3	4,68	S3
171	VIIIL16	4,32	S3	0	0
172	VIIIL16	0	S0	3,72	S2
267	VIIIL16	0	S0	4,32	S3
308	VIIIL16	3,24	S2	5,76	S3
176	VIIIL16	3,72	S2	6,48	S4
244	VIIIL16	2,16	S2	1,8	S1
245	VIIIL16	6,12	S4	6,6	S4
246	VIIIL16	6,24	S4	6,96	S4
330	XP14	10,2	S5	14,76	S5
232	XP14	3,72	S2	11,64	S5
234	XO,40	9	S5	16,32	S5
243	XO,40	8,28	S5	18,6	S5
248	IXM40	0	S0	0	S0
318	XP14	51,24	S5	55,32	S5
345	XIIS35	51,24	S5	0	0

O comportamento da salinidade na bacia Chambas, de acordo com os valores determinados (LOPEZ, 2011), mostram uma área de 9.974,78 hectares afetados pela salinidade nos primeiros 100 centímetros para os seguintes subtipos de solos: VIG42,

VIIIL16, IXM40, XO40, XP14, XP27 e XIIS35. Os mesmos subtipos foram avaliados nos dois primeiros horizontes. (Tabela 5.19)

Tabela 5.19: Avaliação do parâmetro salinidade e a CE (condutividade elétrica) nos solos da bacia Chambas.

Classes de Salinidade	CE (dS/m)	Avaliação	1er Horizonte Área (ha)	2do Horizonte Área (ha)	Até 100 cm Área (ha)
S0	< 1	Não salino	33.326,06	31.241,98	28.462,62
S1	1 - 2	Débilmente salino	338,8	2.982,52	3.660,08
S2	2 - 4	Moderadamente salino	2.287,91	1.380,94	2.617,53
S3	4 - 6	Salino	496,82	1.118,53	1.345,07
S4	6 - 8	Fortemente salino	623,98	659,52	919,8
S5	> 8	Muito Fortemente salino	1.363,83	1.053,91	1.432,3

5.3.4.2.7 Compactação do solo

A compactação é a diminuição na quantidade de poros do solo, como efeito do colapso da estrutura, cimentando ou preenchendo alguns poros com partículas finas ou outros materiais sólidos (JARAMILLO, 2002).

Um solo é considerado compactado quando a macroporosidade é tão baixa que restringe a aeração. O solo está tão finamente empacotado e o tamanho de seus poros é tão fino que impede a penetração das raízes, a infiltração e a drenagem. A compactação também diminui o volume e a continuidade dos macroporos e, portanto, reduz a condutividade do ar e da água.

Esta variável foi estimada a partir dos valores informados nos perfis de solos digital (CALERO et al., 2001) nos dois primeiros horizontes e das avaliações de campo realizadas em 34 perfis feitos durante esta pesquisa (LOPEZ, 2011). Em particular foram analisadas a porosidade (abundância, diâmetro, orientação, e porosidade total) e as propriedades mecânicas do solo (consistência, cimentação, plasticidade e adesividade).

Foi feita uma classificação da compactação do solo na bacia Chambas considerando as cinco classes usadas pelo programa SWC (Tabela 5.20), variando desde um solo solto até severamente compactado em um intervalo de valores entre 0,90 a 1,30.

Este parâmetro, criado pelos autores do modelo SWC, está relacionado com a densidade (*density adjusmente factor*) de cada classe representada no triângulo textural com uma escala arbitrária.

Tabela 5.20: Classes de compactação utilizadas pelo programa SWC.

Classes	Compactação	Avaliação
1	0,90 – 0,99	Solto
2	1,00 -1,09	Normal
3	1,10-1.19	Compacto
4	1,20-1,29	Duro
5	1,30	Severo

Como resultado da estimativa da compactação dos solos na bacia obteve-se que, para os 23 subtipos de solos, prevalecem valores entre 0,93-1,07 (Tabela 5.21). Esses valores indicam que os solos variam de Soltos a Normais, o que é positivo.

Tabela 5.21: Estimação do indicador compactação por subtipo na bacia Chambas.

Subtipo de solo	Compactação 1º Horizonte	Compactação 2º Horizonte
IIIB40	0,93	0,95
VF27	0,95, 0,97	0,98 e 1,05
VF30	0,95, 0,97 e 1,02	0,95, 1,05 e 1,07
VIG27	0,94 e 0,95	0,98
VIG30	0,95, 0,95 e 1,02	0,98 e 1,07
VIG6	0,94	1,07
VIG42	0,94 e 0,95	1,07
VIIJ28	0,93	-
VIIJ34	0,93	-

VIIIL16	0,97	1,07
VIIIL27	0,97	1,07
VIIIL40	0,97	1,07
IXM40	0,97	1,15
XO40	0,97	1,07
XP14	0,97 e 1,0	1,02 e 1,15
XP27	0,93	-
XIQ40	0,94, 0,95 e 1,0	1,02
XIQ14	1,0	1,02
XIQ42	0,97	1,02
XIQ6	0,95	1,02
XIIS35	0,95	-
XIIIV12	0,9	-
XIIIV11	0,9	-

5.3.4.2.8 Cascalho no solo.

As partículas de cascalho de grande diâmetro (> 2,0 mm) e pedras pequenas podem estar presentes em solos agrícolas ao ponto de diminuir a quantidade de matriz do solo em que a água pode ser armazenada ou conduzida.

O conteúdo no solo é expresso em %. Os cascalhos são um fator limitante, pois quando presentes em uma alta porcentagem, limitam o desenvolvimento normal do sistema radicular da planta e reduzem a quantidade de solo para absorver nutrientes.

Esta variável foi obtida a partir dos valores informados nos 394 perfis do banco de dados dos solos digitais (CALERO et al., 2001) em López (2011).

Finalmente os parâmetros gerados permitiram o cálculo e estimativa dos parâmetros de densidade aparente (SOL_BD), de capacidade de água no solo (SOL_AWC) e de condutividade hidráulica saturada (SOL_K), utilizando o programa SWC. Foram determinados os valores dos três parâmetros para cada subtipo de solo na bacia de estudo, segundo mostra na tabela do Apêndice 2.

5.3.4.2.9 Albedo do solo.

Albedo é a relação da quantidade de radiação solar refletida por um corpo em relação à quantidade incidente sobre ele, expressa como uma fração. O valor de albedo deve ser determinado quando o solo é ou está perto da capacidade de campo.

A variável albedo do solo (SOL_ALB) foi criado a partir de estudos anteriores com imagens do sensor MODIS e a correlação realizada para diferentes tipos de solo, conforme a classificação do WRB/FAO ao nível de agrupamento (TSVETSINSKAYA et al, 2002).

Albedo do solo é a reflectância da luz solar a partir da superfície do solo. É uma das entradas para o modelo SWAT por causa de sua variabilidade entre diferentes tipos de solo. Na maioria dos casos, os valores precisos de albedo não são muito importantes, nem muito sensíveis à influência do balanço hídrico. O albedo varia de acordo com a rugosidade da superfície do solo e com o teor de umidade, sendo geralmente mais baixo para condições úmidas e rugosas. Os modelos de albedo do solo são usado para calcular a evaporação potencial da superfície do solo. Portanto, as abordagens que se fazem são baseadas nas condições da superfície molhada. A cor do solo é utilizada para inferir o albedo aproximado.

O albedo determinado para os solos da bacia Chambas a partir da correlação realizada entre a classificação da FAO e os solos de Chambas pode ser observado na tabela 5.22.

Tabela 5.22: Correlação da classificação dos solos pela FAO ao nível do táxon superior e o albedo segundo o sensor MODIS. Adaptado de TSVETSINSKAYA, et al (2002).

N. V., Cuba (Agrupamiento)	N. V., Cuba (Tipo de Suelo)	WRB/FAO (Agrupamiento)	Albedo
Ferralítico	Ferralítico Amarillo Lixiviado	Lixisoles	0,196
Fersialítico	Fersialítico Pardo Rojizo	Cambisoles	0,227
Pardo Sialítico	Pardo	Cambisoles ó Umbrisoles	0,227
Húmico Sialítico	Rendzina	Feozems	0,204
Vertisol	Vertisol	Vertisoles	0,220
Hidromórfico	Gley Vértico	Gleysoles	0,231
Halomórfico	Salino	Solonchaks	0,284

Halomórfico	Sódico	Solonetz	0,346
Fluvisol	Fluvisol	Fluvisoles	0,306
Histosol	Histosol	Histosoles	0,185
Poco Evolucionado	Lithosol	Leptosoles	0,302

5.3.4.2.10 Erodibilidade do solo

A erodibilidade do solo (USLE_K) é definida como a resistência do solo a ser erodida pelo impacto direto das gotas de chuva. Este parâmetro é calculado com base na equação proposta por Wischmeier e Smith, descrita no manual de entradas e saídas do SWAT (Neitsch et al, 2004), onde K é o índice de erodibilidade, M é (% silte + % areia muito fina)(100 - %argila), MO é a percentagem de matéria orgânica, b é a classificação da estrutura de acordo com o tipo e classe e c é a classificação da permeabilidade. As unidades deste fator no sistema métrico internacional é expresso em $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$.

$$K = \frac{2.1M1.14(10)^{-4} (12 (MO) + 3.25(b (2) + 2.5(c (3)))}{100} * 1.2928$$

O percentual de matéria orgânica (MO) do solo pode ser estimado através, do percentual de carbono orgânico no solo caso não exista o dado. O MO é calculado através da equação:

$$MO = orgC * 1,72$$

Este parâmetro foi calculado a partir da fórmula do fator de erodibilidade do solo (K) do modelo USLE programada em Excel e facilitada por especialistas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), cujos resultados são mostrados na tabela do Apêndice 2 junto com as demais variáveis do solo calculadas para a bacia Chambas. Esta tabela constitui um resumo do banco de dados dos parâmetros do solo para cada horizonte ao nível de subtipo de solo, pronto para sua entrada no banco de dados de SWAT.

5.3.5 Definição das Classes de Declividade

As classes de declividade em percentagem foram obtidos a partir do MDE da bacia, em intervalos definidos para 5 classes de declividade (Tabela 5.23), dependendo dos objetivos do trabalho. Neste caso, a interface de ArcSWAT permite a determinação

destes intervalos durante a entrada e cruzamento com as informações de solos e uso da terra para definir as unidades de resposta hidrológica (URH).

Tabela 5.23: Classes de declividade e sua equivalência com as classes de relevo na bacia Chambas, adaptado de IBGE (2007).

Classes	Declividade (%)	Classes de Relevo
1	0-2	Plano
2	2-5	Suave ondulado
3	5-12	Ondulado
4	12-20	Forte ondulado
5	20-75	Montanhoso

Com vistas ao mapeamento das classes de declividade existentes na bacia foi elaborado um mapa clinográfico da bacia (Figura 7.2) usando os intervalos da classificação do IBGE (2007), como mostra a Tabela 5.23.

5.3.6 Geração dos dados climáticos

A coleta dos dados primários de clima foi feita no Centro Meteorológico Provincial na província de Ciego de Ávila e no Instituto de Meteorologia de Havana (INSMET), provenientes das estações meteorológicas Falla (Camilo Cienfuegos) e Ciego de Ávila (Venezuela), da província Ciego de Ávila, no período 2000-2010. Foram disponibilizados os dados da precipitação diária, temperatura máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Os demais dados foram calculados a partir das fórmulas mencionadas no manual de SWAT de entrada e saídas (NEISCHT et al 2004).

Os dados sobre a localização e distribuição das estações meteorológicas são mostrados na tabela 5.24 e na Figura 5.11.






Tabela 5.24: Estações meteorológicas da bacia Chambas

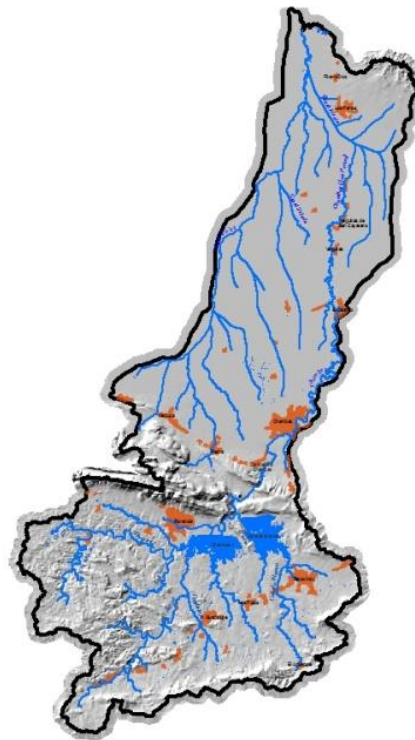
ID	Estação	X_Coord	Y_Coord	Latitude	Longitude	Elev (m)
1	Ciego de Avila (Venezuela)	729.680,00	218.822,00	21,78	-78,78	26,40
2	Falla (Camilo Cienfuegos)	732.056,00	259.780,00	22,15	-78,75	15,80



Estações do clima, bacia Chambas

Legenda

-  Estações do clima
-  Zonas Urbanizadas
-  Rios principais
-  Reservatórios
-  Limite da bacia Chambas



1:320,000

0 1.5 3 6 9 12
Kilômetros

Projeção Conica Comforme de Lambert
NAD_1927_Cuba_Norte
Datum: D_North_American_1927
Datum altimétrico: Mareógrafo Siboney,
La Habana

ID	Estação	X_Coord	Y_Coord	Latitude	Longitude	Elev (m)
1	Ciego (Venezuela)	729680.00	218822.00	21.78	-78.78	26.40
2	Falla (Camilo Cienfuegos)	732056.00	259780.00	22.15	-78.75	15.80

704000 712000 720000 728000 736000

2880000
2800000
2720000
2640000
2560000
2480000
2400000
2320000
2240000
2160000

Figura 5.11 Localização das estações meteorológicas da bacia Chambas.

O modelo SWAT requer valores diários de precipitação, temperaturas máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. Os dados podem ser inseridos ou gerados, usando o modelo WXGEN (gerador de clima) descrito por NEITSCH et al. (2005), utilizando as médias mensais dos parâmetros no período.

Estes dados constituiram a base para o cálculo das 14 variáveis climatológicas de entrada no gerador do clima do modelo SWAT, relatadas na Tabela 5.25.

Tabela 5.25: Variáveis climáticas calculadas para dar entrada no modelo SWAT.

Parâmetros do Clima	Descrição
TMPMX	Temperatura máxima média diária do ar por mês (°C)
TMPMN	Temperatura mínima média diária do ar por mês (°C)
TMPSTDMX	Desvio padrão da temperatura máxima do ar por mês (°C)
TMPSTDMN	Desvio padrão da temperatura mínima do ar por mês (°C)
PCPMM	Precipitação média mensal total (mm)
PCPSTD	Desvio padrão da precipitação diária mensal (mm)
PCPSKW	Coeficiente de assimetria de precipitação diária mensal
PR_W1	Probabilidade de um dia úmido depois de um dia seco no mês (%)
PR_W2	Probabilidade de um dia úmido depois de um dia úmido no mês (%)
PCPD	Média do número de dias com precipitação no mês
RAINHHMX	Precipitação máxima em 30 minutos no mês para todo o período dos anos analisados (mm)
SOLARAV	Média da radiação solar diária no mês (MJ/m ² /dia)
DEWPT	Temperatura do ponto de orvalho media por mês (°C)
WNDVAV	Média da velocidade diária do vento por mês (m/s)

5.3.6.1 Cálculo dos parâmetros de entrada para o gerador do clima.

O arquivo de entrada de gerador do clima contém os dados estatísticos necessários para gerar dados representativos do clima diário para as sub-bacias. O ideal seria utilizar dados de pelo menos 20 anos de registros para calcular os parâmetros de entrada ao gerador climático.

A série de dados das duas estações meteorológicas na área de estudo corresponde a um período de 11 anos considerados para o cálculo com um nível adequado de completamento para todo o período.

Para o cálculo das médias mensais anuais, dos parâmetros TPMX, TMPMN, PCPMM, PCPD, SOLARAV e WNDV, foi utilizada a equação:

$$X_{mon} = \frac{\sum X_{day, mon}}{yrs}$$

Onde:

$\sum X_{day, mon}$: somatória dos dados diários para cada mês de todos os anos

yrs : o número de anos de dados.

Para o cálculo do desvio padrão mensal anual dos parâmetros TMPSTDMX, TMPSTDMN y PCPSTD, foi utilizada a equação:

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

Onde:

σ_{mon} : o desvio padrão mensal no período de anos.

X_{mon} : Média mensal

Para o cálculo do parâmetro PCPSKW (skew coefficient) o coeficiente de assimetria para a precipitação mensal, foi utilizada a equação:

$$g_{mon} = \frac{N \cdot \sum_{d=1}^N (R_{day, mon} - \bar{R}_{mon})^3}{(N - 1) \cdot (N - 2) \cdot (\sigma_{mon})^3}$$

Onde:

g_{mon} : coeficiente de assimetria da precipitação mensal

N : número de dias com precipitação no mês

$R_{day, mon}$: precipitação no mês

\bar{R}_{mon} : precipitação média mensal

σ_{mon} : desvio padrão da precipitação mensal.

Para calcular o parâmetro da probabilidade de um dia úmido (dias com chuva) depois de um dia seco (dias sem chuva) no mês (PR_W1), usamos a equação:

$$P_i(W/D) = \frac{days_{W/D,i}}{days_{dry,i}}$$

Onde:

$P_i(W/D)$: probabilidade de um dia úmido depois de um dia seco no mês.

$days_{W/D,i}$: número de dias com chuva depois de dias sem chuva no mês.

$days_{dry,i}$: número de dias sem chuva no mês.

Para calcular o parâmetro da probabilidade de um dia úmido após um dia úmido no mês (PR_W2), foi usada a equação:

$$P_i(W/W) = \frac{days_{W/W,i}}{days_{wet,i}}$$

Onde:

$P_i(W/W)$: probabilidade de um dia úmido depois de um dia úmido no mês.

$days_{W/W,i}$: número de dias com chuva depois de dias com chuva no mês.

$days_{wet,i}$: número de dias com chuva no mês.

O parâmetro RAINHHMX, correspondente a precipitação máxima em 30 minutos no mês para todo o período dos anos analisados, foi obtida a partir dos catálogos dos registros originais analógicos de precipitação mensal existente no Centro do Clima (INSMET) em Havana. Após a extração e processamento dos dados os mesmos foram convertidos para o formato digital para facilitar o cálculo da variável ao longo do período de anos usados.

O parâmetro DEWPT é a temperatura do ponto de orvalho (ponto de condensação) média por mês. Em climatologia e meteorologia, o termo “ponto de orvalho” ou “temperatura de orvalho” refere-se à temperatura a partir da qual o vapor

d'água contido na porção de ar de um determinado local sofre condensação. Quando a temperatura do ar está abaixo do ponto de orvalho, normalmente ocorre a formação de névoa seca ou neblina.

Uma vez que este parâmetro não estava calculado para as estações meteorológicas da área de estudo, foi necessário determiná-lo e, em seguida, obter os valores médios mensais. Estes foram calculados a partir da equação abaixo:

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} \cdot (112 + 0,9 \cdot T) + (0,1 \cdot T) - 112$$

Onde:

Pr: ponto de orvalho (°C)

T: temperatura em °C

H: umidade relativa (%)

Válida somente se:

$0\text{ °C} < T < 60\text{ °C}$

$1 < HR < 100$

Os valores médios mensais do parâmetro DEWPT foram obtidos utilizando a mesma equação dos valores médios citada anteriormente.

O parâmetro SOLARAV (radiação solar média mensal) foi determinada no Centro Meteorológico Provincial de Camagüey (RIVERO, 2011), pois não estava disponível para as estações na área de estudo.

O valor desta variável foi obtido a partir de estimativas utilizando a equação:

$$Rg = (0,25 + 0,50 \cdot (n/N)) \cdot Ra$$

Onde:

Rg: radiação solar global (direta mais difusa) de acordo com a FAO metodologia (Oldeman e Frere, 1982).

Ra: radiação extraterrestre em MJ/m²/día⁻¹. Integrando as equações dadas em Rivero (2008).

N: duração do dia em horas, utilizando a mesma metodologia Rivero (2008).

n: número de horas-luz medidas com o heliógrafo de Campbell-Stokes (Sellers, 1970).

Os valores utilizados no número de horas-luz por mês para as estações Ciego de Ávila e Camilo Cienfuegos referem-se no primeiro caso ao período 1974-1990, enquanto no segundo caso, ao período 1978-1990. A análise da tendência anual indica um leve aumento dos níveis de radiação, mas os coeficientes de adaptação são muito baixos ($R^2 = 0,031$ e $0,127$). Estes valores segundo RIVERO (2011) são considerados representativos do período 2000-2010.

Os resultados do cálculo das variáveis climáticas de entrada no gerador climático do modelo SWAT são apresentados nas Tabelas 7.5 e 7.6 do capítulo de resultados.

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO SWAT.

Neste capítulo são apresentadas as etapas de entrada dos dados, além dos procedimentos da modelagem hidrológica utilizando a interface ArcSWAT. É importante a discretização das sub-bacias e obtenção das características morfométricas, assim como a simulação hidrosedimentológica para diferentes cenários de estudo considerados.

6.1 Parametrização do modelo SWAT na bacia Chambas.

Parametrização é o processo de decisão e definição dos parâmetros necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo.

Esta etapa do trabalho baseia-se na entrada dos bancos de dados básicos necessários para o modelo SWAT (topografia, hidrografia, solo, uso da terra e clima), usando a interface ArcSWAT, por meio das seguintes etapas:

1. Entrada do Modelo Digital de Elevação (MDE) e a definição do limite (máscara) da bacia hidrográfica.
2. Discretização automatizada e/ou semi-automatizada da rede de drenagem, sub-bacias e pontos de desague de cada sub-bacia.
3. Adição dos reservatórios
3. Entrada e reclassificação do uso da terra
4. Entrada e reclassificação dos tipos de solo.
5. Definição das classes de declividade: neste caso, a interface de ArcSWAT permite a determinação destes intervalos durante a entrada e cruzamento com as informações de solos e uso da terra para definir as unidades de resposta hidrológica (URH).
6. Definição das unidades de resposta hidrológica (URH).
7. Entrada dos dados de clima.

6.2 Discretização automatizada e/ou semi-automatizada da rede de drenagem, sub-bacias e pontos de desague de cada sub-bacia.

O processo de delimitação da bacia hidrográfica e sua discretização em sub-bacias, através da interface ArcSWAT, desenhada por Winchell et al. (2007), está sujeito a algumas opções por parte do usuário. Na primeira, denominado “Máscara” é possível restringir a área máxima ao qual a ferramenta buscará uma bacia. A segunda diz respeito à imposição da rede de drenagem, indicando linhas preferenciais para formação da rede de drenagem. Esta opção é denominada “*burn in*”. Só então é estabelecida a área de drenagem mínima de contribuição para formação de um canal de modo que menores valores implicam em maior quantidade de sub-bacias.

Neste estudo foi estabelecida como área mínima 185 hectares para o traçado das sub-bacias. Como resultado obteve-se um total de 115 sub-bacias, com os rios principais e os pontos de saída de drenagem em cada uma delas, além de um conjunto de parâmetros morfométricos.

É através desta interface do ArcSWAT que se procede à aquisição de um conjunto de parâmetros morfométricos durante o processo de delimitação da bacia, das sub-bacias e da rede de drenagem. Entre eles estão as dimensões da rede de drenagem, das sub-bacias e dos pontos de saída da drenagem que constituem a base de cálculo para importantes variáveis no transporte e na produção de sedimentos.

A geração da hidrografia se realizou combinando a via automatizada no ArcSWAT com o método tradicional de interpretação da topografia, a qual foi gerada através dos seguintes passos:

1. Entrar o MDE raster (grid) no ArcSWAT
2. Fixar a projeção em metros
3. Entrar o limite da bacia raster (grid)
4. Entrar os rios principais em vetor.
5. Gravar a rede de drenagem no MDE (*Burn in*)
6. Determinar a drenagem a partir do MDE
7. Processar o MDE
8. Definir a área de drenagem mínima (185 hectares, neste caso)
9. Gerar a drenagem e pontos de deságue para cada sub-bacia (*outlet*).

10. Editar pontos de deságue.
11. Selecionar o ponto da desembocadura da bacia.
12. Delimitar a bacia hidrográfica e as subbacias.
13. Calcular os parâmetros morfométricos de cada sub-bacia.
14. Editar e ajustar a drenagem e as sub-bacias determinadas no ArcSWAT ao mapa topográfico, em ambiente ArcGIS.
15. Criar topologia.
16. Repetir os passos 1-5.
17. Entrar a drenagem e sub-bacias pré-definidas pelo usuário.
18. Criar a rede de drenagem e pontos de deságue.
19. Calcular os parâmetros morfométricos das sub-bacias.

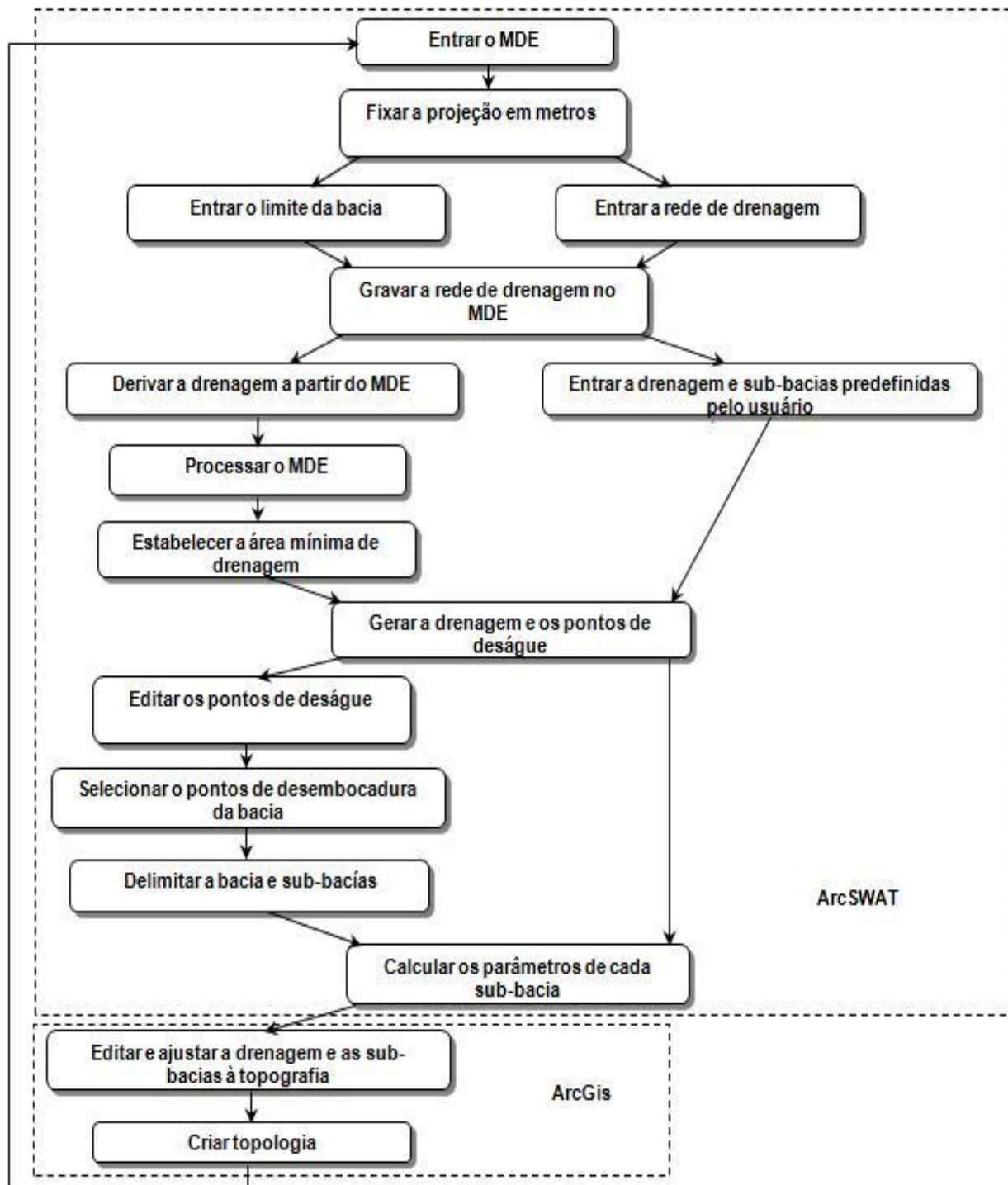


Figura 6.1 Diagrama de fluxo do proceso para geração da hidrografia na bacia Chambas.

6.3 Adição dos reservatórios e entrada dos dados.

A bacia Chambas em sua seção central apresenta um complexo hidráulico construído em 1986 que foi incluído desde o início nas simulações de cenários realizadas. Este complexo hidráulico é composto por dois reservatórios, denominados Chambas II e Cañada Blanca, que têm o nome de rios principais que lhes dão origem.

A entrada destes dados no ArcSWAT foi realizada em duas fases. A primeira, foi a a entrada dos reservatórios, realizada após a discretização da drenagem sub-bacias e pontos de drenagem, uma vez que a interface permite sua inserção na saída da sub-bacia e só permite a adição de um reservatório por sub-bacia. O reservatório Chambas II e Cañada Blanca podem ser vistos na Figura 7.3, que mostra a hidrologia da bacia Chambas incluindo o ponto de localização dos reservatórios no SWAT.

Após terem sido criados todos os bancos de dados de entrada no SWAT deu-se início à segunda fase de entrada de dados. A partir daí realizou-se a entrada de dados dos reservatórios, uma vez que, que a interface permite a edição dos dados de entrada dos reservatórios incorporando-se os valores dos parâmetros mostrados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 Parâmetros dos reservatórios Chambas II e Cañada Blanca, entrados no ArcSWAT

Parâmetros	Descrição	Reservatórios	
		Chambas II	Cañada Blanca
RES_SUB	Número da sub-bacia	71	60
MORES	Mês de início de operação	0	0
IYRES	Ano de início de operação	0	0
RES_ESA (ha)	Área superficial no nível máximo	1.019	730
RES_EVOL (10 ³ m ⁴)	Volume no nível máximo	3.000	3.000
RES_PSA (ha)	Área superficial no nível normal	606	560
RES_PVOL (10 ³ m ⁴)	Volume no nível normal	100	100
RES_VOL (10 ³ m ⁴)	Volume no início de operação	100	100

RES_RR (m ³ /s)	Vazão media anual de saída.	0,56	0,56
----------------------------	-----------------------------	------	------

Os valores dos parâmetros foram determinados a partir do relatório da bacia Chambas (VALERO e GONZALES, 2001). Para os parâmetros do volume no nível máximo e o volume no nível normal do reservatório, o SWAT não aceita valores superiores a $3.000 \cdot 10^3 \text{m}^4$ e $100 \cdot 10^3 \text{m}^4$ respectivamente, embora haja valores mais elevados do que aqueles para os reservatórios da bacia Chambas.

6.4 Entrada e reclassificação do uso da terra

Neste trabalho foram utilizados dois mapas de cobertura e uso da terra, sendo um correspondente ao período 2000 - 2004 elaborado a partir dos levantamentos realizados pelo IPF (Instituto de Planificación Física), cartas topográficas 1: 25.000 e a imagem Landsat do ano 2000 sensor ETM e o outro mais recente (2009) a partir de PDI das imagens ALOS e trabalho de campo.

Cada mapa foi utilizado para simulação de diferentes cenários entre os anos 2000 e 2020.

Para a entrada em SWAT foi preciso criar os mapas de cobertura e uso da terra em formato *.grid* e tabelas *.dbf* com as classes a ser utilizadas na reclassificação no ArcSWAT, necessárias para determinar as classes correspondentes no banco de dados do SWAT com os parâmetros de crescimento das plantas. O crescimento potencial para cada tipo de planta é determinada pela variação de temperaturas (unidades de calor) para seu crescimento e a latência (limiar de luz do dia que as plantas não crescem). A teoria da unidade do calor foi sugerida, revista e aplicada por diferentes autores, de acordo com Neitsch et al (2005).

O SWAT utiliza equações de crescimento ideais para cada planta e precisa de um conjunto de parâmetros que estão predefinidos no banco de dados. Caso os usuários precisem incluir outros tipos de culturas tais parâmetros é necessário que se realize o calculo e a entrada desses parâmetros para o banco de dados. Entre os parâmetros mais importantes, além da temperatura ótima para o crescimento da planta, como mencionados acima, se encontram os índices de área foliar máximo, profundidade máxima das raízes da vegetação específica, altura máxima do dossel da

cultura, a energia para a conversão em biomassa, e a absorção de nitrogênio e fósforo pela planta, entre outros.

6.4.1 Vínculo das classes de cobertura e uso da terra na bacia

Chambas com o banco de dados no SWAT

Como um passo importante para a entrada do mapa de cobertura e uso da terra no SWAT, foi feita a correlação entre os tipos de cobertura e uso da terra identificados na bacia Chambas e seus homólogos no banco de dados do modelo SWAT (Tabela 6.2).

As categorias especificadas no mapa da cobertura/uso da terra foram reclassificadas nos tipos de cobertura/uso da terra de SWAT. Para reclassificar o uso da terra no ArcSWAT há três opções.

A primeira opção é usar a tabela de consulta da cobertura / uso da terra integrada na interface do ArcSWAT. A interface contém tabelas de consulta com as classificações do USGS, LULC e NLCD do ano 1992, dentro do banco de dados de SWAT2009.mdb, que identifica os diferentes tipos de cobertura / uso da terra, usados para modelar os diferentes usos da terra do USGS, LULC e NLCD em 1992.

A segunda opção é escrever o código de 4 letras usadas para cada tipo de cobertura/uso da terra em SWAT, quando o mapa da cobertura/uso da terra é carregado na interface.

A terceira opção é criar uma tabela de consulta pelo usuário em formato .dbf ou ASCII, que identifica o código com as 4 letras de SWAT para as diferentes categorias de cobertura/uso da terra no mapa.

A terceira variante foi adotada neste trabalho por meio da criação de uma tabela em formato .dbf com os códigos de uso da terra usada pelo SWAT equivalentes as classes da bacia Chambas.

Tabela 6.2: Correlação das classes de cobertura e uso da terra, determinadas para a bacia Chambas e suas equivalências com as classes da base de dados no SWAT.

No. de Classes	Nome da Classe Final	Land Use	Código SWAT
1	Silvicultura	Agro-forestries	FRSD
2	Zona de empréstimo	Bare soil	AGRR
3	Zona urbanizada	Urban	URBN
4	Arroz	Rice	RICE
5	Floresta semi-decídua degradada	Forest mixed	FRST
6	Floresta semi-decídua densa	Forest deciduous	FRSD
7	Cana de açúcar	Sugarcane	SUGC
8	Reservatórios	Water bodies	WATR
9	Lagoas costeiras	Water bodies	WATR
10	Manguezais	Wetlands-forested	WETF
11	Vegetação secundária (Marabú)	Forest deciduous	FRSD
12	Mosaico de culturas	Agricultural land generic	AGRL
13	Pastagem semi-natural e cultivada	Pasture and Range grasses	PAST
14	Apicum	Wetlands-nonforested	WETN
15	Solo exposto	Bare soil	AGRR
16	Vegetação arbustiva semi-natural	Range brush	RNGB
17	Vegetação esclerofila e espinhosa (Cuabal)	Range brush	RNGB
18	Tabaco	Tobacco	TOBC

6.5 Entrada e reclassificação dos tipos de solo.

A entrada de dados do solo no SWAT foi realizado em duas etapas. A primeira etapa ocorreu na entrada do banco de dados de parâmetros do solo da bacia de estudo ao banco de dados SWAT antes de criar o projeto a partir da utilização do comando *append* no ArcGIS.

Em uma segunda etapa a interface ArcSWAT precisa acessar os dados raster

(GRID) e os arquivos de banco de dados .dbf do ArcGIS que forneçam as classes de solos para a bacia hidrográfica. É importante ressaltar que, antes da execução desta interface, é necessário que os dados espaciais necessários e os arquivos de banco de dados sejam devidamente preparados nos formatos de entrada em ArcSWAT.

6.5.1 Vínculo das categorias de solo na bacia Chambas com o banco de dados de solos.

As categorias especificadas no mapa de solos precisam ser vinculadas ao banco de dados de solos do SWAT. Esta interface utiliza diferentes opções para a entrada dos dados de solo.

Para utilizar a base de dados de solos STATSGO dos EUA, os usuários têm quatro opções diferentes a depender do nível de sensibilidade na seleção das séries de solos.

Uma quinta opção “Name” é selecionada quando se utiliza a base de dados de solos do usuário que foi importada para o banco de dados do SWAT antes da criação do projeto.

Neste caso o vínculo entre o mapa de subtipos de solos e o banco de dados foi criado na quinta opção utilizando-se da variante de solos do usuário, pois o SWAT não inclui a caracterização dos solos para outras regiões do mundo fora de Estados Unidos. Para utilizar esta opção foi preciso gerar um campo com o nome do solo (SNAM) simplificado que conserve a mesma estrutura utilizada na base de solos em SWAT (Tabela 6.3).

Na reclassificação, para especificar os tipos de solos equivalentes com as categorias utilizadas no mapa, a interface permite utilizar a entrada manual ou criando uma tabela de consulta pelo usuário em formato .dbf ou ASCII, com as categorias dos subtipos de solos, que foi a variante utilizada. A tabela dbf em sua estrutura deve conter um campo “NAME” com os nomes das categorias dos solos utilizados no mapa de solos; e este deve corresponder aos nomes utilizados no campo “SNAM” do banco de dados de solo em SWAT.

Tabela 6.3: Classificação dos solos da bacia Chambas ao nível de subtipo com as simbologias utilizadas em Cuba e o campo SNAM com os nomes dos solos simplificados, para a entrada no SWAT.

Agrupamiento	Tipo Genético	Subtipo	SNAM
Ferralítico (III)	<i>Ferralítico</i> <i>Amarillento</i> <i>Lixiviado (BE)</i>	Típico (IIIB40)	FERRAAMLITIPICO
Fersialítico (V)	<i>Fersialítico</i> <i>Pardo Rojizo</i> <i>(F)</i>	Mullido (VF27)	FERSIAPRMULLIDO
		Ócrico (VF30)	FERSIAPROCRICO
Pardo Sialítico (VI)	<i>Pardo (G)</i>	Mullido (VIG27)	PARDOMULLIDO
		Ócrico (VIG30)	PARDOOCRICO
		Cálcico (VIG6)	PARDOCALCICO
		Vértico (VIG42)	PARDOVERTICO
Húmico Sialítico (VII)	<i>Rendzina (J)</i>	Roja (VIIJ34)	RENDZINAROJA
		Negra (VIIJ28)	RENDZINANEGRA
Vertisol (VIII)	<i>Vertisol</i> <i>Crómico (L)</i>	Gléyico en profundidad (VIIIIL16)	VERTISOLCGPRO
		Mullido (VIIIIL27)	VERTISOLCMULLI
		Típico (VIIIIL40)	VERTISOLCTIPICO
Hidromórfico (IX)	<i>Gley Vértico</i> <i>(M)</i>	Típico (IXM40)	GLEYVERTICOTIPICO
Halomórficos (X)	<i>Salino (O)</i>	Típico (XO40)	SALINOTIPICO
	<i>Sódico (P)</i>	Gléyico (XP14)	SODICOTIPICO
		Mullido (XP27)	SODICOMULLIDO
Fluvisol (XI)	<i>Fluvisol (Q)</i>	Típico (XIQ40)	FLUVISOLTIPICO
		Gléyico (XIQ14)	FLUVISOLGLEYICO
		Vértico (XIQ42)	FLUVISOLVERTICO
		Cálcico (XIQ6)	FLUVISOLCALCICO
Histosol (XII)	<i>Histosol Mésico</i>	Salinizado (XIIS35)	HISTOSOLMESSALI

	(S)		
Poco evolucionado (XIII)	<i>Lithosol (V)</i>	Eútrico (XIIIIV12)	LITHOSOLEUTRICO
		Dístrico (XIIIIV11)	LITHOSOLDISTRICO

6.6 Definição das classes de declividade.

A interface do ArcSWAT permite definir os intervalos de declividade durante a entrada e cruzamento a partir das informações de solos e uso da terra, para definição das unidades de resposta hidrológica (URH). Estas são geradas automaticamente a partir do MDE, para o qual a interface fornece a possibilidade de seleção de diversos ou de um unico intervalo.

Neste trabalho foram utilizados dois intervalos de classes de declividades (0 - 2% e 2 - 75%) para a geração de cenários, com a finalidade de reduzir a quantidade de URH da bacia Chambas, como se mostra na Figura 6.2.



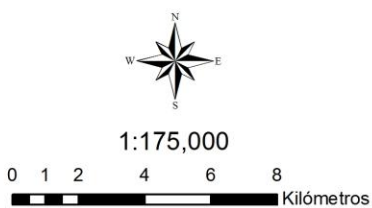
Mapa Clinográfico Gerado em SWAT, Bacia Chambas

Legenda

Declividade (%)



- Zonas Urbanizadas
- Ríos principais
- Reservorios
- Limite da bacia Chambas



Projeção Conica Conforme de Lambert
NAD_1927_Cuba_Norte
Datum: D_North_American_1927
Datum altimétrico: Mareógrafo Siboney,
La Habana

Elaboração: Geler T., 2011
Fonte: Cartas topográficas, ICGC, 1986
Software utilizado ArcGis 9.3

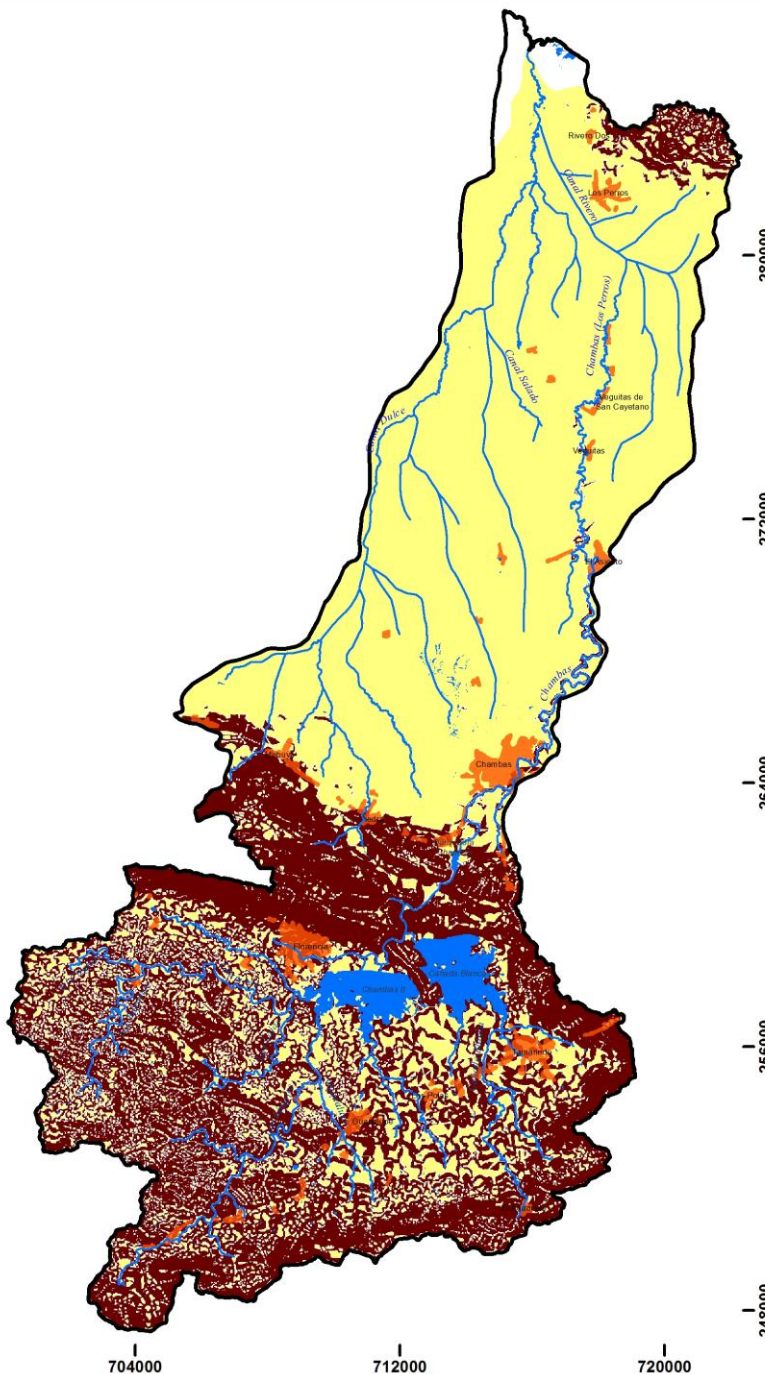


Figura 6.2 Mapa clinográfico gerado na interface ArcSWAT com dois intervalos de declividade.

6.7 Definição das Unidades de Resposta Hidrológica (URH) da Bacia Chambas, através da Interface ArcSWAT.

Para cada sub-bacia o SWAT usa o conceito de UHR (Unidades de Resposta Hidrológica). Estas se definem como áreas homogêneas em termos do tipo de solo, cobertura e o uso da terra e declividade.

O modelo fornece duas opções para definir as URH em cada sub-bacia, sendo uma única ou múltiplas URH. Se forem selecionadas múltiplas, é necessário especificar o nível de sensibilidade utilizado para determinar o número e o tipo de URH para cada sub-bacia.

Para a bacia de Chambas foi utilizada a opção múltiplas URH, onde se definiu em cada sub-bacia um valor máximo de limiar em porcentagem para a distribuição das URH, determinado pela categoria dominante do uso da terra, tipo de solo e classe de declividade. Assim, foi atribuído para o uso da terra 20%, 10% para os solos e 20% para a declividade do URH. Este valor foi escolhido de modo que cada sub-bacia não fosse dividida em um número excessivo de URHs.

Finalmente, obteve-se um total de 3.906 URHs que, depois de aplicado a porcentagem de sensibilidade, foram reduzidas a 658 URH.

6.8 Entrada dos dados de clima.

Após o cálculo das variáveis climáticas foi estabelecida a estrutura do banco de dados utilizado para a entrada dos parâmetros no gerador do clima do modelo SWAT. O desenho da estrutura do banco de dados foi realizado em ambiente SIG (formato .dbf) e contém 173 campos vinculados especialmente às estações meteorológicas da bacia Chambas.

Além disso, foi necessário preparar 8 tabelas em formato dbf com os valores diários de precipitação, temperatura máxima e mínima, umidade relativa e velocidade do vento para as duas estações utilizadas na bacia, para um período de 11 anos (2000 - 2010), além de cinco tabelas em formato dbf com os dados das estações (nome, coordenadas planas ou retangulares e elevação em metros). Todas as tabelas foram desenhadas com a estrutura exigida pelo modelo SWAT.

A entrada dos dados do clima em SWAT foi realizada em duas etapas. A

primeira etapa ocorreu com a entrada do banco de dados de parâmetros do clima da bacia para alimentar o gerador climático do banco de dados de SWAT. Este foi inserido no banco de dados do SWAT antes da criação do projeto, por exigências do modelo, usando o comando *append* em ArcGIS.

Em uma segunda etapa se realizou a entrada dos dados onde a interface ArcSWAT acessa os arquivos das estações e de dados diários em formato .dbf. O gerador climático é capaz de gerar automaticamente estimativas desses dados, caso eles não existam.

Esta etapa no ArcSWAT constitui a fase final de entrada de dados antes da fase de aplicação do modelo e simulação de cenários de previsão.

6.9 Simulação de cenários de estudo

O modelo SWAT permite criar cenários reais e hipotéticos onde pode-se simular o comportamento da bacia e sub-bacias enfrentando novas situações, permitindo assim comparar a situação atual com as condições de uso de terras diferentes que podem ocorrer no futuro.

Com o objetivo de testar a aplicabilidade do modelo na quantificação da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Chambas, perante as alterações no uso e ocupação do solo na bacia que interferem neste parâmetro, quatro cenários foram definidos:

➤ Cenário 1 - Uso Agrícola Antigo.

O primeiro cenário de simulação foi construído para o período 2000 - 2010 com a cobertura e uso da terra dominada pela agricultura da cana-de-açúcar na parte inferior e média da bacia.

➤ Cenário 2 - Uso Agrícola Atual.

O segundo cenário de simulação foi construído para o período de 2000 -2010 onde, por razões de re-ordenamento e reestruturação das regiões agrícolas do país, houve uma redução das áreas dedicadas à cultura de cana-de-açúcar mudando o mapa de cobertura e uso da terra para o atual uso.

➤ Cenário 3 - Uso Agrícola antigo no Período Futuro

O terceiro cenário de simulação é um cenário hipotético, construído para o período 2011 - 2020 tendo em conta o uso da terra antigo sem mudanças e gerando os parâmetros do clima com o gerador climático.

➤ Cenário 4 - Uso Agrícola atual no Período Futuro

O quarto cenário de simulação é um cenário hipotético, construído para o período 2011 - 2020 considerando o uso da terra atual sem mudanças e gerando os parâmetros do clima com o gerador climático.

O modelo SWAT precisa ser calibrado, pois desta forma os dados simulados se assemelham quando possível ao fluxo observado. Para isso são necessários os dados de vazão real das redes de drenagem, a fim de realizar uma comparação com a vazão simulada pelo modelo SWAT. O procedimento de calibração envolve rodar o modelo e comparar o dado observado no trabalho de campo para a área e a condição de interesse com o dado estimado pelo modelo.

Após a calibração dos volumes de água passa-se para a segunda fase deste processo que se baseia em calibrar a produção de sedimentos em toda a bacia. Contudo, há casos em que não é possível realizar este processo devido à falta de dados.

Na bacia Chambas, embora os parâmetros do modelo SWAT não fossem calibrados e não houvesse uma análise de sensibilidade para saber quais os parâmetros são mais sensíveis a pequenas alterações, a operação de um modelo sem calibração é um indicador importante de quão bem trabalha o modelo, quando não há dados observados, como acontece em muitos países. No caso especial da bacia de estudo isto é particularmente útil para o modelo SWAT, pois seu uso é recomendado para bacias que não possuem registros de medição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir do desenvolvimento da pesquisa. Os resultados a geração de parâmetros do SWAT e sua entrada através da interface ArcSWAT. São apresentados os resultados das simulações para os diferentes cenários de estudo e o comportamento da vazão e produção de sedimentos na bacia Chambas e suas sub-bacias.

7.1 Geração dos dados.

Entre os grupos de dados criados se encontram o modelo digital de elevação, o mapa clinográfico, o mapa hidrológico com a rede de drenagem e as sub-bacias geradas pelo modelo SWAT e pelos métodos tradicionais. Também é apresentado o mapa de cobertura e uso da terra, o mapa pedológico com o banco de parâmetros de solo, e o banco de dados dos parâmetros do clima.

7.1.1 Modelo digital de elevação (MDE)

O MDE fornece a infraestrutura básica para os estudos na superfície terrestre; a topografia tem uma influência significativa sobre muitas variáveis envolvidas na dinâmica dos ecossistemas. O clima a escala local, os processos geomorfológicos e pedológicos, o movimento e ação da água, assim como processos biológicos influenciados por eles, estão intimamente associados com a forma e a altitude da superfície do terreno em que se desenvolvem.

O modelo digital de elevação gerado para a bacia do rio Chambas (Figura 7.1), tem altitudes variando de 0 m na foz, na costa norte da província Ciego de Ávila, até 445 m nas Serras de Florencia, Serra de Jatibonico, com uma elevação média de 222,5 m (s.n.m.).

7.1.2 Clinografía da bacia Chambas

O mapa de declividades derivadas do MDE da bacia Chambas (Figura 7.2)

mostra que grande parte da bacia hidrográfica é plana, sendo que apenas na zona das nascentes e da seção central o relevo é ondulado. Este relevo está associado com as serras cársticas, onde se encontra o ponto altimétrico máximo da bacia.



Modelo de Elevação Digital, Bacia Chambas

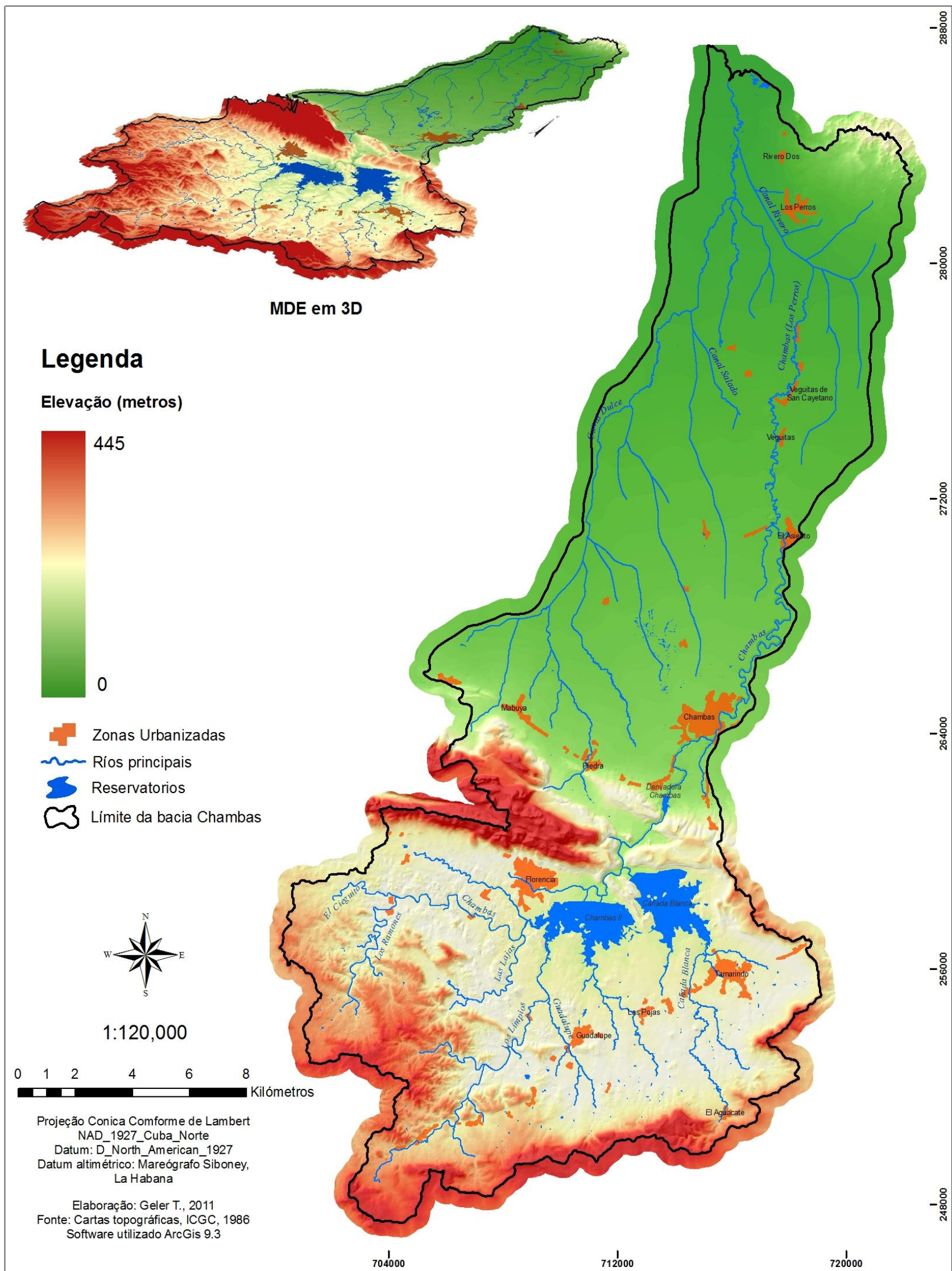
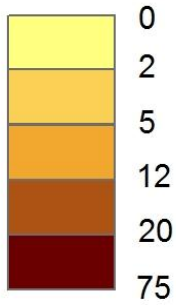






Figura 7.1: Modelo de Elevação Digital (MDE) da bacia Chambas.

Mapa Clinográfico, Bacia Chambas

Legenda

Declividade (%)



-  Zonas Urbanizadas
-  Ríos principais
-  Reservatórios
-  Límite da bacia Chambas

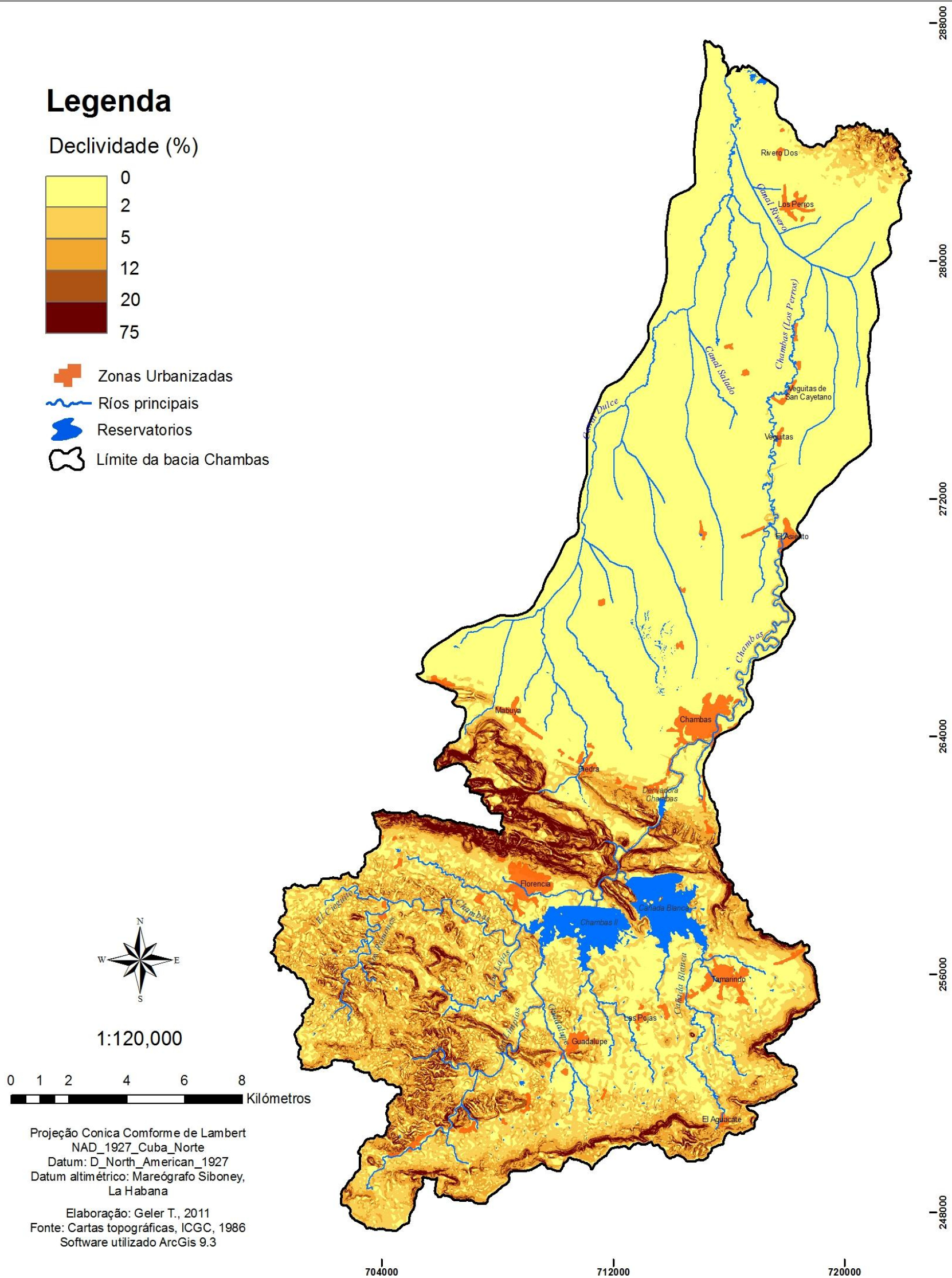


Figura 7.2: Mapa clinográfico da bacia Chambas.

7.1.3 Hidrologia da bacia Chambas.

A aplicação do modelo SWAT e o uso de métodos de interpretação visual das cartas topográficas tradicionais da bacia hidrográfica do rio Chambas permitiram a subdivisão da mesma em 115 sub-bacias, com a rede de drenagem e pontos de deságue de cada sub-bacia (figura 7.3). Nas tabelas dos apêndices 3 e 5, são apresentadas as respectivas áreas (ha), elevações médias, mínimas e máximas entre outros parâmetros morfométricos das sub-bacias e dos rios principais da bacia Chambas gerados pelo SWAT. A reinterpretação do limite principal da bacia, assim como sua discretização em sub-bacias e sua caracterização morfométrica, fornecem elementos inéditos que poderão ser utilizados em futuras pesquisas de gestão dessa bacia hidrográfica.

Esta bacia está muito antropizada, com mudanças expressivas especialmente na sua parte mais baixa o que se tentou minimizar no traçado da rede de drenagem para simplificar o ambiente de simulação. Também dispõe de um complexo hidráulico, representado pelos reservatórios mais importantes Chambas II e Cañada Blanca, que introduziram mudanças no regime hidrológico da bacia e não são monitorados até o momento.

Mapa Hidrológico, Bacia Chambas

Legenda

Sub-bacias de Chambas

Area em ha

- 0 - 143
- 144 - 298
- 299 - 505
- 506 - 852
- 853 - 1389

- 50 Número da Sub-bacia
- Ponto de saída da drenagem
- Ponto de localização do reservatório
- Zonas Urbanizadas
- Ríos principais
- Reservatórios
- Limite da bacia Chambas

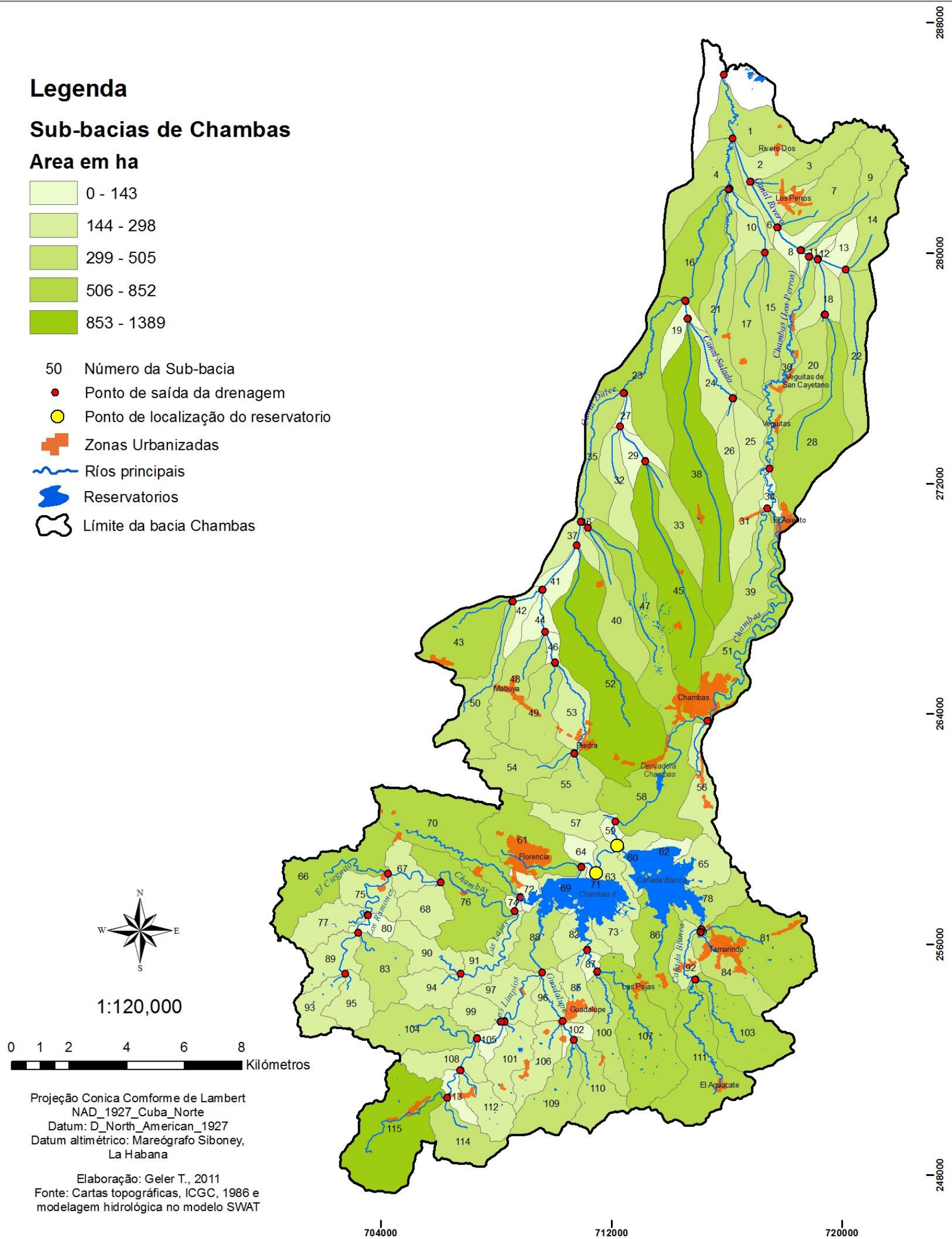


Figura 7.3: Mapa hidrológico da bacia Chambas.

7.1.4 Cobertura e uso da terra da bacia Chambas

O procedimento metodológico utilizado para a obtenção do mapa representando a cobertura e uso da terra na bacia Chambas, foi de grande importância para alcançar os resultados finais. Esse procedimento inclui desde a seleção da classificação e interpretação das categorias de cobertura e uso até o mapa final e sua equivalência com a base para uso no SWAT. Os resultados do NDVI e a cobertura e uso da terra constituem informação inédita para a região e em Cuba.

7.1.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Considerou-se importante destacar e cartografar o NDVI da bacia uma vez que este índice representa informação inédita para a região, além de ter sido utilizado como suporte para mapeamento das categorias de cobertura e uso da terra existentes na bacia. Foram definidos 5 intervalos de NDVI, que resultaram nas classes mostradas na Tabela 7.1 e na figura 7.4.

Tabela 7.1: Intervalos de valores de NDVI para a bacia Chambas e seus respectivos tipos de cobertura e uso da terra.

Classes	Intervalos do NDVI	Tipos de coberturas e usos da terra
1	-0,7118 a -0,1100	Água tanto de mar como em terra (reservatórios, lagoas costeiras, etc.)
2	-0,1100 a 0,2000	Solo exposto, áreas urbanizadas, areias e rochas expostas, águas com sedimentos e zonas de empréstimo.
3	0,2000 a 0,4000	Zonas de culturas em fases iniciais de crescimento, pastos cultivados e seminaturais e vegetação esclerofila espinhosa.
4	0,4000 a 0,5600	Áreas de culturas desenvolvidas, vegetação arbustiva seminatural, mata ciliar degradada, manguezais e arroz.
5	0,5600 a 0,7607	Floresta semi-decídua densa e degradada, e silviculturas desenvolvidas, vegetação secundária de marabú desenvolvido.

7.1.4.2 Cobertura e uso da terra na bacia Chambas.

O mapa de cobertura e uso da terra para a bacia Chambas é representado na

figura 7.5, com um total de 18 categorias de cobertura e uso, listadas na tabela 7.2 com as respectivas áreas de distribuição na bacia. Observa-se uma área mais ampla ocupada por cultivo de cana-de-açúcar na parte baixa da bacia e mosaicos de outras culturas na parte media e superior.

Tabela 7.2: Classes de cobertura e uso da terra, da bacia Chambas.

No. de Classes	Nome da classe de cobertura/uso	Área (ha)	Área (%)
1	Silvicultura	26,36	0,07
2	Zona de empréstimo	22,19	0,06
3	Zona urbanizada	749,76	1,95
4	Arroz	793,01	2,06
5	Floresta semi-decídua degradada	5.083,93	13,20
6	Floresta semi-decídua densa	1.212,50	3,15
7	Cana de açúcar	7.190,90	18,67
8	Reservatórios	900,43	2,34
9	Lagoas costeiras	11,38	0,03
10	Manguezais	179,77	0,47
11	Vegetação secundária (Marabú)	70,70	0,18
12	Mosaico de culturas	7.660,90	19,89
13	Pastagem semi-natural e cultivada	3.345,13	8,68
14	Apicum	32,43	0,08
15	Solo exposto	2.000,78	5,19
16	Vegetação arbustiva semi-natural	6.306,39	16,37
17	Vegetação esclerófila e espinhosa (Cuabal)	2.222,29	5,77
18	Tabaco	715,05	1,86
	TOTAL	38.523,90	100,00

Mapa da Cobertura e Uso da Terra, período 2005 - 2010, Bacia Chambas

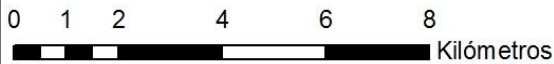
Legenda

Cobertura e uso da terra

-  Apicum
-  Arroz
-  Cana de açúcar
-  Floresta semi-decídua degradada
-  Floresta semi-decídua densa
-  Lagoas costeiras
-  Manguezais
-  Mosaico de culturas
-  Pastagem semi-natural e cultivada
-  Reservatórios
-  Silvicultura
-  Solo exposto
-  Tabaco
-  Vegetação arbustiva semi-natural
-  Vegetação esclerófila e espinhosa (Cuabal)
-  Vegetação secundária (Marabú)
-  Zona de empréstimo
-  Zona urbanizada
-  Rios principais
-  Limite da bacia Chambas



1:120,000



Projeção Conica Conforme de Lambert
 NAD_1927_Cuba_Norte
 Datum: D_North_American_1927
 Datum altimétrico: Mareógrafo Siboney,
 La Habana

Elaboração: Geler T., 2011
 Fonte: Processamento digital de imagens satélites.
 Técnicas de sensoriamento remoto e SIG.
 Imagens ALOS/AVNIR-2, bandas 1, 2, 3, e 4
 Passagem em 15/09/2009
 Resolução espacial 10 metros
 Softwares utilizados ENVI 4.2, 4.5, 4.6 e ArcGis 9.3

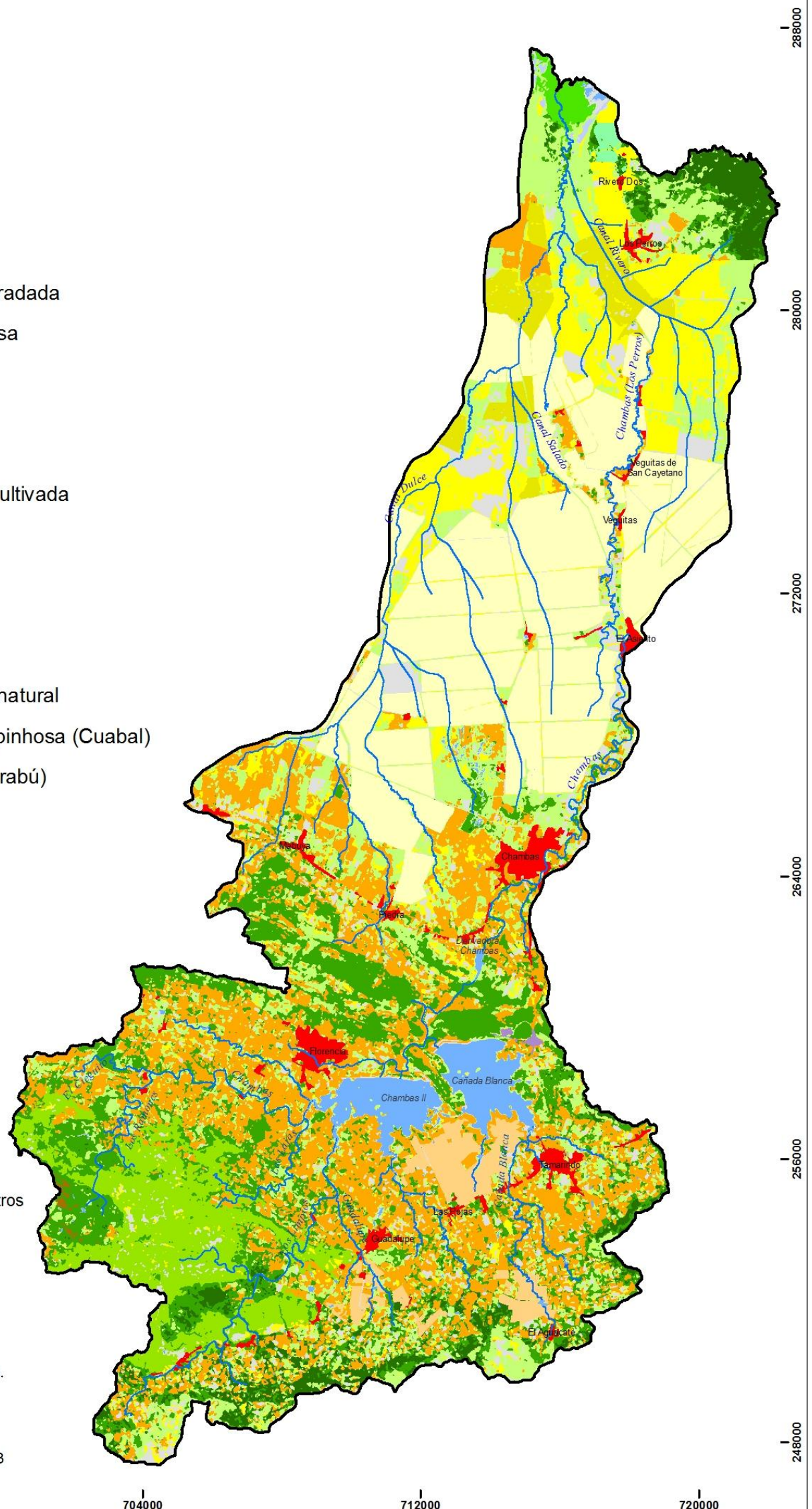


Figura 7.5: Mapa de cobertura e uso da terra na bacia Chambas, no período 2005 - 2010.

7.1.5 Solos da bacia Chambas e seu banco de dados.

O levantamento dos solos, bem como a criação do banco de dados dos parâmetros de entrada no SWAT, foi um dos passos mais importantes na geração de informações para a bacia. Essa importância decorre do fato de que não existia um mapa de solos em formato digital baseado na Nova Versão de Classificação de Solos de Cuba, assim como também não existia o banco de dados com os parâmetros físicos utilizados pelo SWAT.

Como resultado desta fase foi obtido o mapa de solos da bacia (Figura 7.6). Nele foi possível representar, segundo a taxonomia da classificação do solo utilizada as categorias ao nível de tipos e subtipos de solo, resultando em 11 tipos e 23 subtipos. Há predominância dos solos Vertisol, principalmente na parte baixa plana e dos Pardos na parte media e alta da bacia, como mostrado na Tabela 7.3.

Foi necessário buscar alternativas na geração de variáveis físicas do solo, utilizando outros modelos (*Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator*). Isto permitiu calcular os parâmetros relacionados com a hidrologia do solo e assim completar as 15 variáveis do banco de dados de entrada no SWAT para os subtipos de solos existentes na bacia (Apêndice 2).

Tabela 7.3: Tipos e subtipos de solos na bacia Chambas com as respectivas áreas em hectares.

Simbología	Subtipo	Área (ha)	Área (%)
IIIB40	Ferralítico Amarillo Lixiviado, Típico	19,03	0,05
VF27	Fersialítico Pardo Rojizo, Mullido	1.052,68	2,73
VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico	6.313,94	16,39
VIG27	Pardo Sialítico, Pardo Mullido	1.622,04	4,21
VIG30	Pardo Sialítico, Pardo Ócrico	5.023,04	13,04
VIG6	Pardo Sialítico, Pardo Cálcico	128,85	0,33
VIG42	Pardo Sialítico, Pardo Vértico	4.049,15	10,51
VIIJ28	Húmico Sialítico, Rendzina Roja	147,62	0,38
VIIJ34	Húmico Sialítico, Rendzina Negra	1.211,00	3,14
VIIIL16	Vertisol Crómico, Gléyico en profundidad	9.398,43	24,40

VIIIL27	Vertisol Crómico, Mullido	1.003,27	2,60
VIIIL40	Vertisol Crómico, Típico	1.428,43	3,71
IXM40	Hidromórfico Gley Vértico, Típico	1.351,29	3,51
XO40	Halomórfico Salino, Típico	460,66	1,20
XP14	Halomórfico Sódico, Gléyico	593,25	1,54
XP27	Halomórfico Sódico, Mullido	74,83	0,19
XIQ40	Fluvisol, Típico	374,50	0,97
XIQ14	Fluvisol, Gléyico	66,47	0,17
XIQ42	Fluvisol, Vértico	1.667,65	4,33
XIQ6	Fluvisol, Cálcico	121,13	0,31
XIIS35	Histosol Mesico, Salinizado	302,24	0,78
XIIIV12	Poco Evolucionado, Lithosol Eútrico	1.732,06	4,50
XIIIV11	Poco Evolucionado, Lithosol Dístrico	383,15	0,99
-	Total	38.524,72	100,00

Mapa Pedológico, Bacia Chambas

Legenda

Subtipos de solos

- Ferralítico Amarelento Lixiviado Típico - IIB40
- Ferralítico Pardo Rojizo Mullido - VF27
- Ferralítico Pardo Rojizo Ocríco - VF30
- Fluvisol Cálcico - XIQ6
- Fluvisol Gléyico - XIQ14
- Fluvisol Típico - XIQ40
- Fluvisol Vértico - XIQ42
- Gley Vértico Típico - IXM40
- Histosol Mesico Salinizado - XIIS35
- Lithosol Dístico - XIIIIV11
- Lithosol Eútrico - XIIIIV12
- Pardo Cálcico - VIG6
- Pardo Mullido - VIG27
- Pardo Vértico - VIG42
- Pardo Ócríco - VIG30
- Rendzina Negra - VIIJ28
- Rendzina Roja - VIIJ34
- Salino Típico - XO40
- Sodico Gléyico - XP14
- Sodico Mullido - XP27
- Vertisol Crómico Gléyico em profundidade - VIIIIL16
- Vertisol Crómico Mullido - VIIIIL27
- Vertisol Crómico Típico - VIIIIL40

- Zonas Urbanizadas
- Rios principais
- Reservatórios
- Limite da bacia Chambas

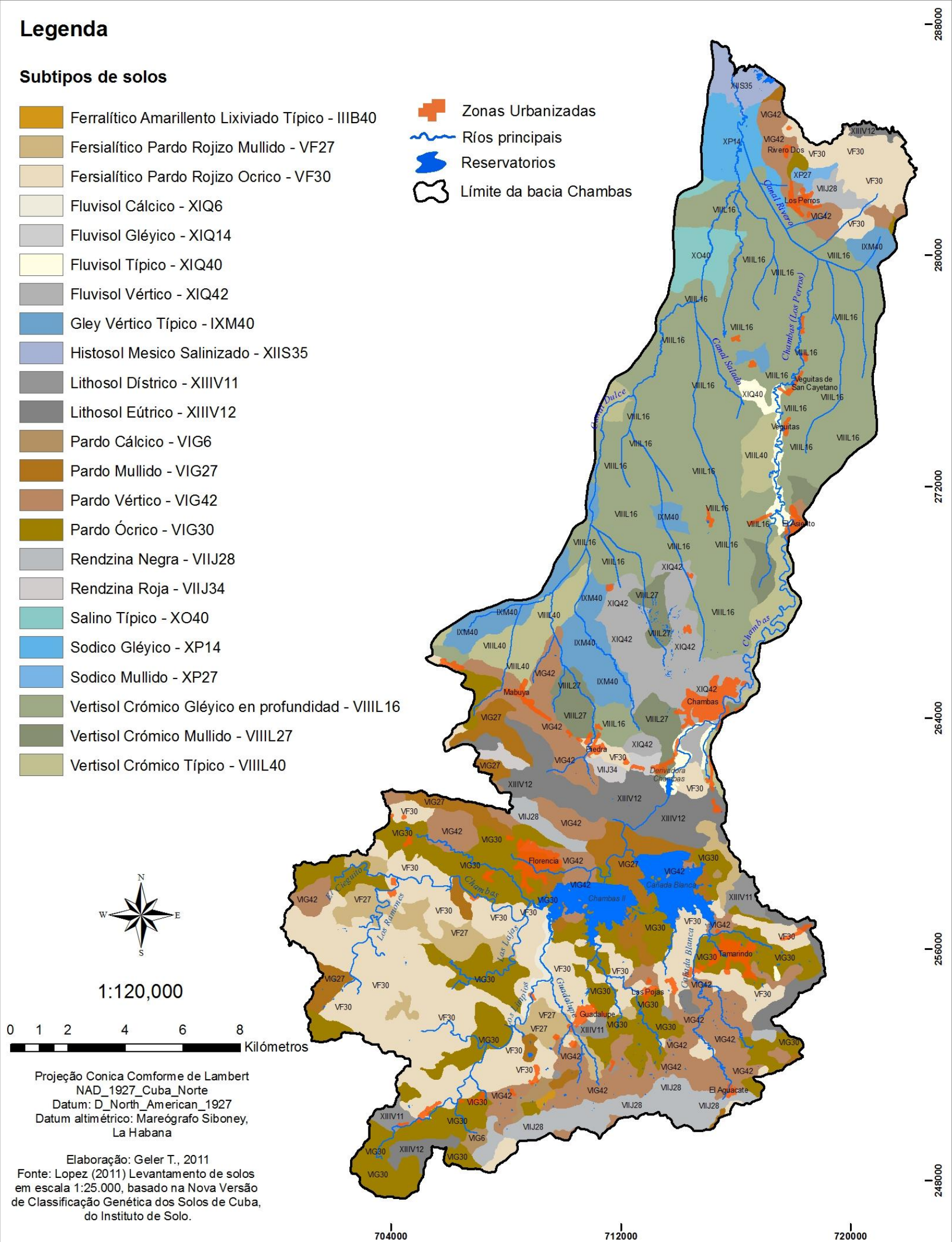


Figura 7.6: Mapa pedológico da bacia Chambas, conforme a Nova Versão de Classificação Genética dos Solos de Cuba.

7.1.6 Parâmetros do clima

O SWAT atribui a cada sub-bacia a serie temporal diária de uma das estações pluviométricas de acordo com a proximidade das coordenadas.

O calculo dos 14 parâmetros climáticos correspondentes às duas estações da bacia (Camilo Cienfuegos (tabela 7.4) e Ciego de Ávila (tabela 7.5)) permitiu criar o banco de dados de entrada no gerador climático do modelo SWAT. Esses parâmetros, juntamente com os valores diários de precipitação, temperatura máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa, constituem o último conjunto de dados de entrada exigidos pelo modelo para fazer a simulação.

Tabela 7.4: Parâmetros do clima requeridos pelo gerador climático do modelo SWAT, estação Camilo Cienfuegos, na bacia Chambas, calculados para o período 2000 - 2010.

CAMILO CIENFUEGOS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AUG	SET	OUT	NOV	DEZ
TMPMX (°C)	26,69	28,19	29,38	30,44	31,65	31,92	33,19	33,07	32,46	30,90	28,45	27,65
TMPMN (°C)	15,42	16,43	16,98	18,29	20,43	22,25	22,49	22,63	22,24	21,60	18,74	18,09
TMPSTDMX (°C)	2,63	2,38	2,37	2,15	1,82	1,29	1,00	1,12	1,21	1,65	1,92	2,12
TMPSTDMN (°C)	3,09	2,46	2,26	2,02	1,61	0,95	0,81	0,86	0,79	1,36	2,51	2,03
PCPMM (mm)	15,31	28,00	47,54	46,11	210,55	204,10	106,07	146,20	187,23	123,02	54,66	66,27
PCPSTD (mm)	1,77	4,22	4,27	6,51	13,38	14,32	8,38	11,02	13,20	7,68	5,22	5,20
PCPSKW	3,65	4,07	4,58	4,17	2,97	3,16	3,01	3,40	3,00	3,26	3,50	3,65
PR_W1 (%)	0,12	0,16	0,15	0,15	0,23	0,31	0,27	0,41	0,53	0,34	0,20	0,24
PR_W2 (%)	0,17	0,28	0,21	0,33	0,57	0,47	0,45	0,47	0,54	0,51	0,40	0,28
PCPD	4,60	5,30	5,50	5,60	11,20	12,30	11,10	14,00	16,20	14,00	8,00	8,00
RAINHHMX (mm)	30,00	20,00	20,00	30,00	38,40	40,00	40,00	60,00	28,40	40,00	10,00	8,80
SOLARAV (MJ/m ² /dia)	15,03	17,54	20,38	23,20	22,45	21,99	22,69	22,43	20,09	17,50	15,29	14,10
DEWPT (°C)	3,65	4,07	4,58	4,17	2,97	3,16	3,01	3,40	3,00	3,26	3,50	3,65
WNAV (m/s)	8,50	8,58	9,23	9,93	7,94	5,88	5,63	4,65	4,34	6,15	7,69	7,87

Tabela 7.5: Parâmetros do clima requeridos pelo gerador climático do modelo SWAT, estação Ciego de Ávila, na bacia Chambas, calculados para o período 2000 - 2010.

CIEGO DE AVILA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AUG	SET	OUT	NOV	DEZ
TMPMX (°C)	28,27	29,62	30,72	31,90	32,55	32,85	33,46	33,31	32,57	31,37	29,88	29,07
TMPMN (°C)	16,43	17,15	17,75	18,97	21,16	22,55	22,86	22,71	22,41	21,62	19,59	18,95
TMPSTDMX (°C)	2,42	1,99	1,83	1,63	1,64	1,29	1,01	1,07	1,07	1,49	1,69	1,94
TMPSTDMN (°C)	3,31	2,36	2,36	1,87	1,28	0,96	0,85	0,89	0,83	1,41	2,48	2,04
PCPMM (mm)	20,50	30,35	37,93	58,77	138,90	211,78	167,17	156,86	233,18	132,50	24,94	23,70
PCPSTD (mm)	3,12	4,11	4,25	6,53	11,48	15,29	13,82	11,22	19,15	9,03	2,72	2,44
PCPSKW	4,74	3,87	4,11	3,69	3,35	3,05	3,39	3,23	3,08	2,95	4,08	4,07
PR_W1 (%)	0,09	0,11	0,13	0,14	0,24	0,41	0,43	0,42	0,45	0,32	0,18	0,18
PR_W2 (%)	0,12	0,23	0,20	0,38	0,43	0,54	0,49	0,53	0,61	0,58	0,40	0,33
PCPD	3,09	4,00	4,36	5,91	10,00	14,82	14,09	14,55	16,36	12,64	6,73	7,30
RAINHHMX (mm)	10,00	21,60	20,00	25,00	60,00	50,00	27,20	50,00	30,00	45,00	19,50	20,00
SOLARAV (MJ/m ² /dia)	15,65	17,98	21,18	23,32	21,98	21,31	22,49	22,23	20,08	17,85	15,98	14,92
DEWPT (°C)	4,74	3,87	4,11	3,69	3,35	3,05	3,39	3,23	3,08	2,95	4,08	4,07
WNDNAV (m/s)	12,07	11,77	12,08	12,38	10,89	8,30	11,03	6,85	6,16	8,60	11,71	12,53

Estas duas estações não caracterizam bem toda a bacia, pois estão localizadas na região da planície com elevação entre 30 e 50 metros, a certa distancia fora dos limites da bacia. A bacia possui condições um pouco diferentes, com regiões de planície e serras, com variações internas no que se referem principalmente às condições pluviométricas e de temperatura do ar.

7.2 Simulações na bacia hidrográfica Chambas.

Como resultado das simulações, o SWAT forneceu um conjunto de dados de saída. Entre todas as saídas do SWAT para este estudo considerou-se apenas as variáveis relacionadas com a produção de água e sedimentos no período do estudo.

Para avaliar a aplicabilidade do modelo foram realizadas simulações sem calibração, pois o modelo SWAT foi desenvolvido com o propósito de ser utilizado em bacias não monitoradas ou sem registro de vazão ou produção de sedimentos.

Desta maneira, foram realizadas análises comparativas entre os valores

simulados em diferentes escalas espaciais e temporais ao longo do período e nos cenários estudados.

Após a análise do comportamento do modelo SWAT na simulação dos parâmetros hidrosedimentológicos ao nível de bacias, nos rios e nos reservatórios na bacia Chambas no intervalo de tempo anual, serão apresentados os resultados das simulações para os diferentes cenários de uso e ocupação da terra ao longo do período de tempo considerado na modelagem.

7.2.1 Período de aquecimento do modelo

O estado do sistema no instante inicial a partir do qual o modelo hidrológico inicia a simulação não é totalmente conhecido. Entretanto, essas incertezas nas condições iniciais podem ser minimizadas a partir da utilização de um período de aquecimento do modelo (os resultados desse período não influem nos valores das funções-objetivo) que permite reduzir os eventuais erros existentes nas condições iniciais (Wagener et al., 2004).

Sabe-se por experiência de outros trabalhos que o sistema representado pelo modelo no início não é totalmente conhecido. Neisth (2004) e Olivera (2006) sugerem o uso de um ano para aquecimento e provimento de estabilidade para as condições iniciais do modelo SWAT.

Tendo em conta esta experiência não se incluiu o resultado do primeiro ano de simulação (2000) na análise para a bacia Chambas uma vez que se considerou este o período de estabilidade do modelo.

7.2.2 Simulação de cenários de uso e ocupação

Para se gerar cenários de uso e ocupação, como no presente caso, é necessário ter mapas de uso e ocupação da terra em diferentes momentos. Isso exigiu a criação de mapas de cobertura e uso da terra antes da simulação, o que é explicado no capítulo 5 de geração de dados.

7.2.2.1 Mudanças na cobertura e uso da terra na bacia Chambas, no período 2000-2010 bacia Chambas.

No período 2000 - 2010 o país, e em especial a região de estudo, passaram por transformações na re-estruturação e ordenamento da agricultura da cana-de-açúcar.

Tendo em vista estas transformações no uso da terra e com o objetivo de simular as mudanças na produção de sedimentos para diferentes cenários de uso e ocupação da terra, foram gerados os mapas da cobertura e uso da terra para o período de 2000 - 2010, como se observa na Figura 7.7.

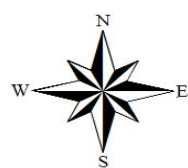
Se compararmos os mapas de cobertura e uso no período de 2000 - 2004 e 2005 - 2010 podemos ver claramente a redução nos percentuais de áreas dedicadas ao cultivo de cana-de-açúcar e do arroz e o aumento das áreas de pastagem, mosaicos de culturas diversas e vegetação arbustiva semi-natural, especialmente no centro e no norte da bacia, caracterizadas por uma planície plana com solos de tipo Vertisol principalmente. (Figuras 7.8 e 7.9).

Cobertura e Uso da Terra do período 2000 - 2010, Bacia Chambas

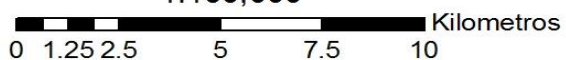
Legenda

Cobertura e uso da terra

- Apicum
- Arroz
- Cana de açúcar
- Floresta semi-decídua degradada
- Floresta semi-decídua densa
- Lagoas costeiras
- Manguezais
- Mosaico de culturas
- Pastagem semi-natural e cultivada
- Reservatórios
- Silvicultura
- Solo exposto
- Tabaco
- Vegetação arbustiva semi-natural
- Vegetação esclerófila e espinhosa (Cuabal)
- Vegetação secundária (Marabú)
- Zona de empréstimo
- Zona urbanizada
- Limite da bacia Chambas



1:160,000

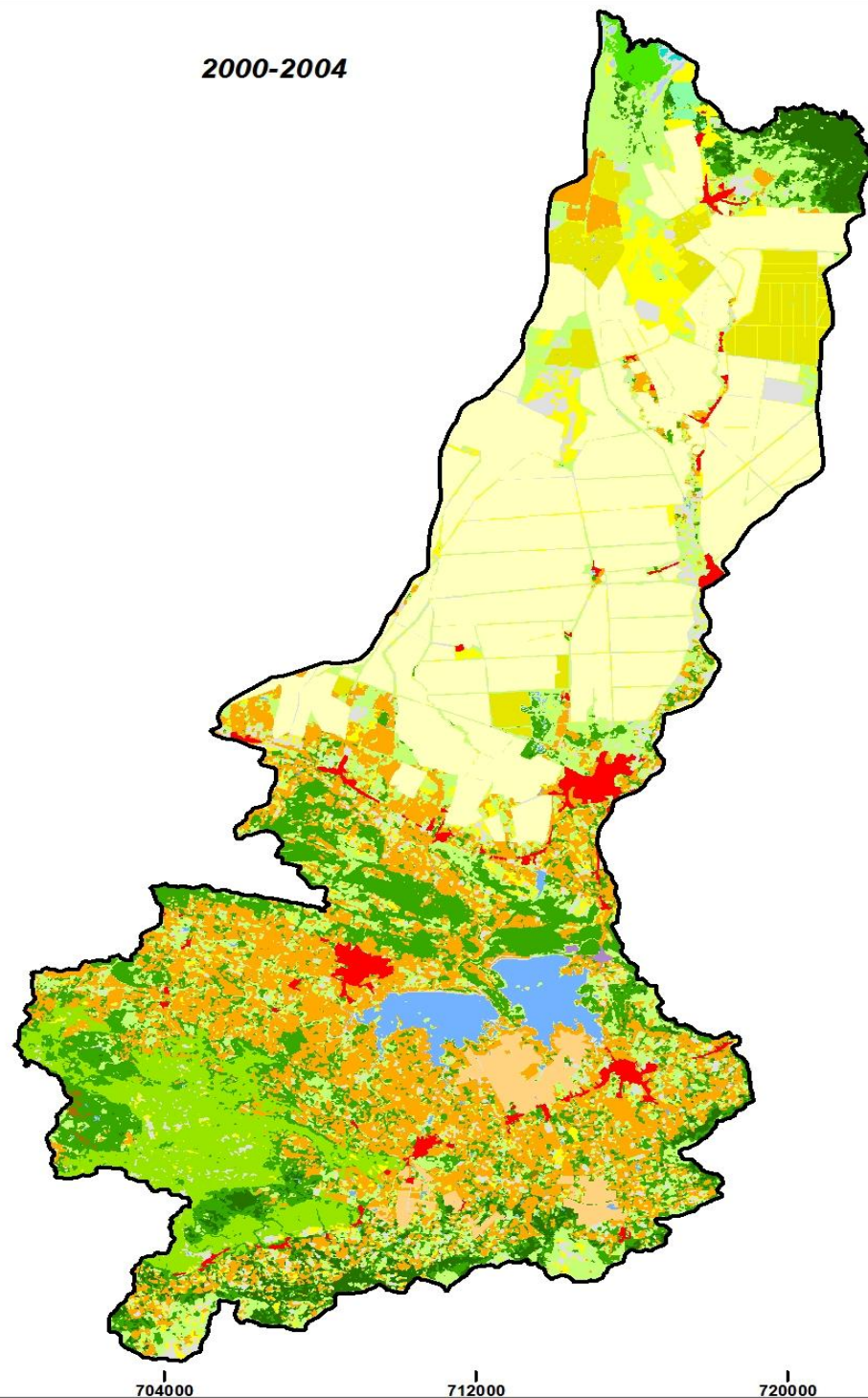


Projeção Conica Conforme de Lambert
 NAD_1927_Cuba_Norte
 Datum: D_North_American_1927
 Datum altimétrico: Mareógrafo Siboney,
 La Habana

Elaboração: Geler T., 2011

Fonte: Processamento digital de imagens satélites.
 Técnicas de sensoriamento remoto e SIG.
 Imagens ALOS/AVNIR-2, bandas 1, 2, 3, e 4
 Resolução espacial 10 metros. Passagem em 15/09/2009
 Imagem LANDSAT 7 ETM+, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7
 Resolução espacial 30 metros. Passagem em 30/06/2000
 Cartas topográficas, ICGC, 1986 e 2004 escala 1:25000
 Softwares utilizados: ENVI 4.2, 4.5, 4.6 e ArcGis 9.3

2000-2004



2005-2010

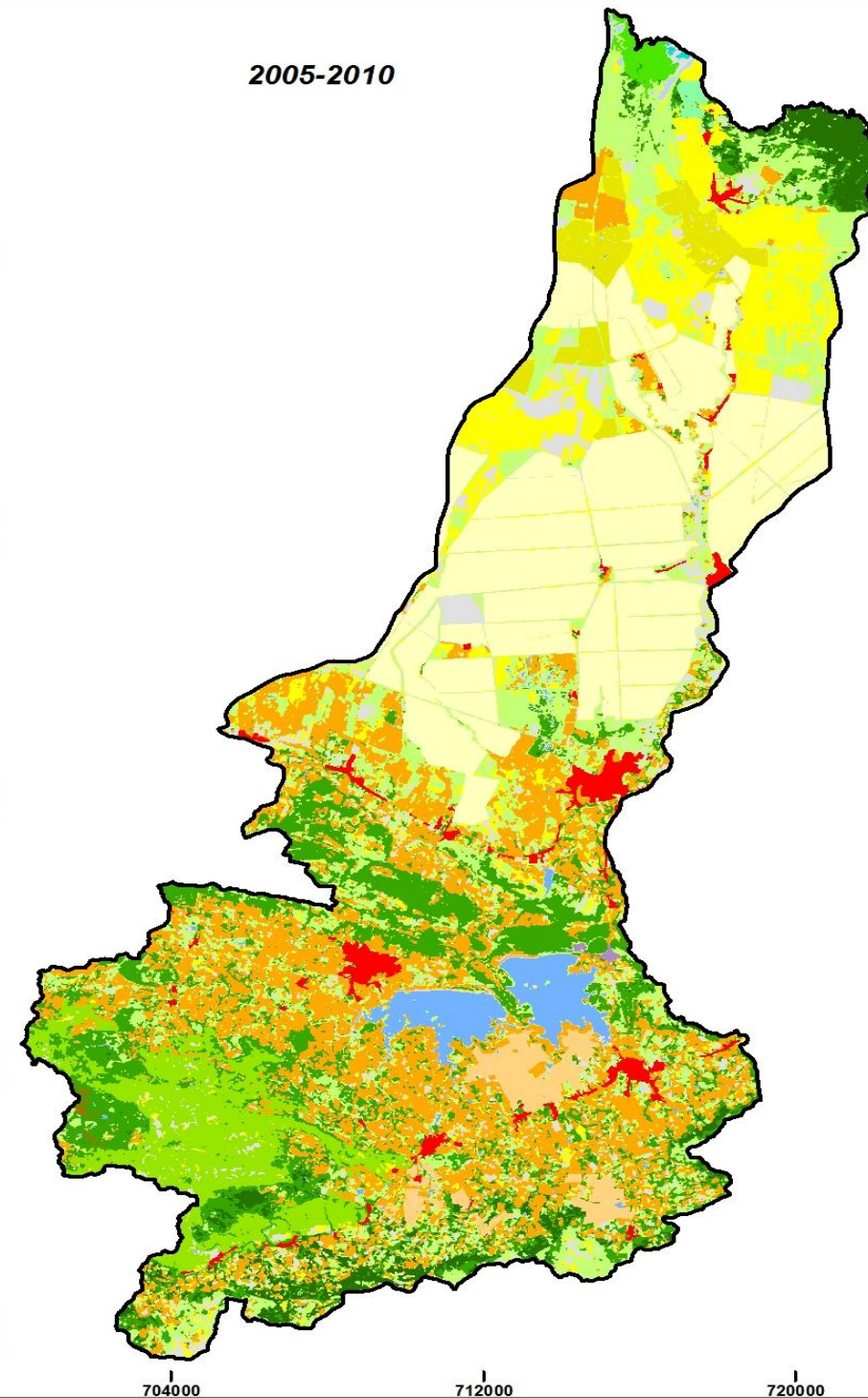


Figura 7.7 Mapas da cobertura e uso da terra do período 2000 – 2010, bacia Chambas.

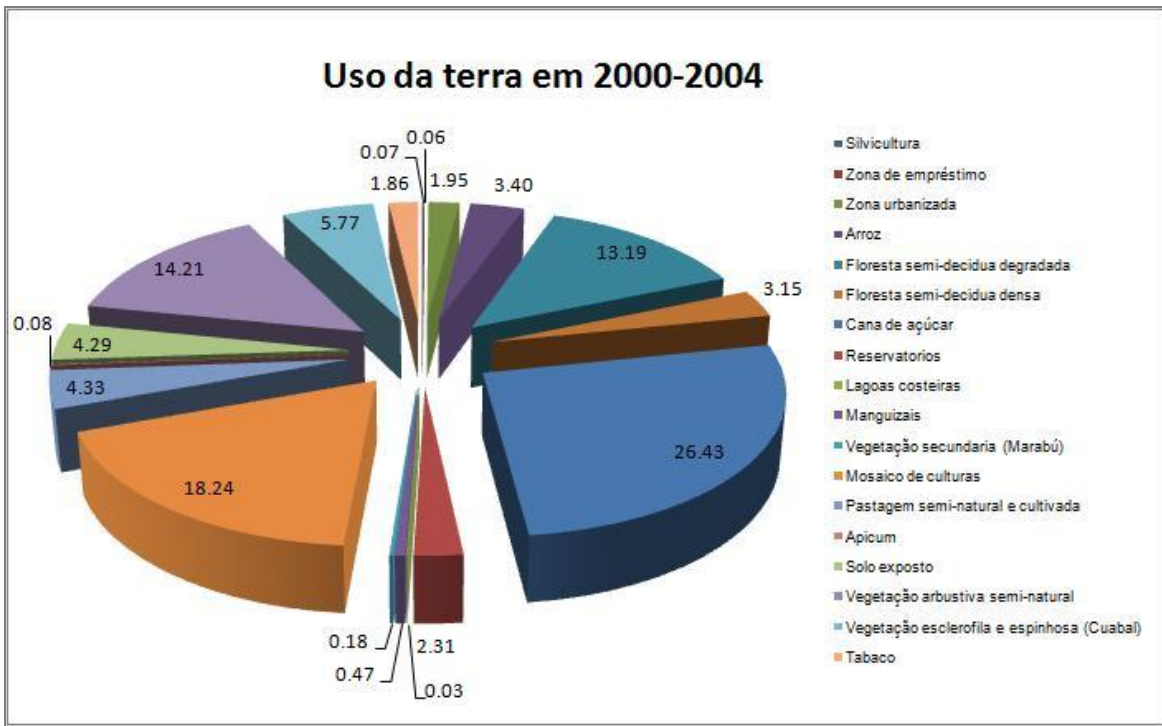


Figura 7.8 Porcentagem de ocupação e uso da terra na bacia Chambas, período 2000 - 2004.

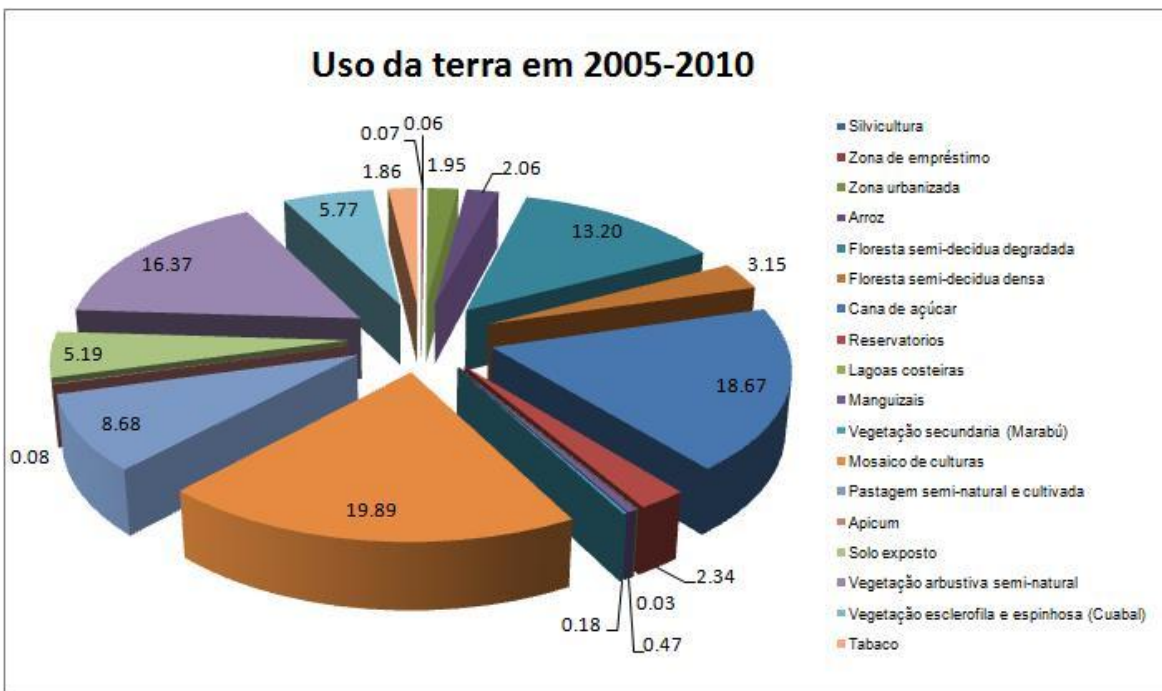


Figura 7.9 Porcentagem de ocupação e uso da terra na bacia Chambas período 2005 - 2010.

As classes de uso da terra que apresentaram uma redução de porcentagem da área na região são: arroz, floresta semi-decídua degradada, cana de açúcar, reservatórios, mosaico de culturas, pastagem semi-natural e cultivada, solo exposto, vegetação arbustiva semi-natural. As áreas dedicadas às culturas de arroz e cana-de-açúcar sofreram uma redução entre 39 e 29 %, respectivamente, enquanto as áreas de pastagem se duplicaram e as áreas de mosaicos de culturas e vegetação arbustiva seminatural foram aumentadas em 9 e 15 % respectivamente, como mostra a tabela 7.6.

Tabela 7.6 Classes de uso da terra com mudanças de área no período 2000 - 2010 na bacia Chambas.

Classes de uso da terra	Area (ha) em 2000-2004	Area (ha) em 2005-2010	Varição (ha)	Varição (%)
Arroz	1.310,65	793,01	- 517,64	- 39,49
Floresta semi-decídua degradada	5.079,51	5.083,93	4,42	0,09
Cana de açúcar	10.180,08	7.190,90	- 2.989,18	- 29,36
Reservatorios	891,25	900,43	9,18	1,03
Mosaico de culturas	7.027,04	7.660,90	633,5	9,02
Pastagem semi-natural e cultivada	1.666,68	3.345,13	1.678,45	100,71
Solo exposto	1.652,59	2.000,78	348,19	21,07
Vegetação arbustiva semi-natural	5.473,91	6.306,39	832,48	15,21

7.3 Implementação dos cenários de uso e ocupação

Foram desenhados quatro cenários de uso e ocupação para a simulação de vazão e produção de sedimentos na bacia Chambas.

Cenário 1- Constitui um cenário de uso e ocupação da terra no passado (período 2000 - 2004). Neste cenário é possível observar a existência de uma maior proporção de agricultura de cana-de-açúcar com relação ao resto das culturas da bacia. O clima é real com período de 11 anos entre 2000 - 2010.

Cenário 2 - Constitui um cenário de uso e ocupação da terra atual (período 2005 - 2010). Este é o cenário posterior às transformações da agricultura da cana-de-açúcar

e reordenamento para outras culturas dentro da bacia. O clima é real com período de 11 anos entre 2000 - 2010.

Cenário 3 - Constitui um cenário hipotético futuro (período 2011 - 2020), assumindo-se a existência do uso da terra antigo. A geração dos dados do clima foi feita com o gerador climático no SWAT.

Cenário 4 - Constitui um cenário hipotético futuro (período 2011 - 2020), assumindo-se a permanência do uso da terra atual. A geração dos dados do clima foi feita com o gerador climático no SWAT.

Para inserir os cenários de uso da terra no SWAT foi substituído o mapa utilizado na simulação para cada um dos cenários propostos, um a um, mantendo inalterados os registos de clima (precipitação, temperatura, humidade relativa e velocidade do vento), nos dois primeiros cenários.

Nos quatro casos permaneceram inalteradas as sub-bacias, a posição das estações, e os parâmetros de solo e o relevo.

7.4 Análise de cenários

A análise e comparação entre os cenários foram realizadas considerando os componentes principais do balanço hídrico que são calculados pelo modelo SWAT como uma soma ponderada dos totais individuais para cada sub-bacia. O fator de ponderação é a razão entre a área da sub-bacia e da área total. Os fatores considerados são:

- Precipitação (mm) estimadas para cada sub-bacia, utilizando a metodologia de polígonos de Thiessen.
- Escoamento (mm), que se refere à porção de precipitação total uma vez que atinge o solo, escoando sobre a superfície da bacia até chegar a um canal definido. É influenciada por características pedológicas do solo e as condições da cobertura do solo, teor de umidade antecedente e o manejo a que está submetido.
- Percolação (mm) é a porção de precipitação que, após ser retida pela vegetação e pelo solo, se infiltra profundamente contribuindo na recarga do aquífero. Está sujeita às condições geológicas do terreno e as

características da vegetação, topografia, etc.

- Evapotranspiração (mm) é o efeito combinado da evaporação a partir do solo molhado e fontes de água, tais como reservatórios, lagos, rios e a transpiração a partir das plantas que após extração da água do solo para os seus processos biológicos, remove o excesso desta maneira. A evapotranspiração está diretamente relacionada à latitude, época do ano, a quantidade de radiação solar incidente, a temperatura e à velocidade do vento, entre outros.
- Produção de água da bacia (mm) que é definida pela relação entre a soma do escoamento, o fluxo lateral e a contribuição das águas subterrâneas (fluxo de base), que é subtraída das perdas pela infiltração no canal e abstrações gerais da bacia segundo NEITSCH, et al. (2002) apud OÑATE-VALDIVIESO, (2009).
- Produção de sedimentos (t/ha) que é calculada com a equação de perda de solo (Williams, 1975 citado por Neitsch et al., 2002) e depende da intensidade da precipitação, características do solo, declividade, coberturada terra e as práticas de conservação que existam na mesma.

7.4.1 Análise dos cenários ao nível de subbacias.

O SWAT oferece um conjunto de variáveis de saída como resultado das simulações para cada sub-bacia da bacia. Dentre todas as variáveis de saída foram selecionadas aquelas analisadas na fase de terra do ciclo hidrológico no SWAT, descritas na tabela 7.7.

Tabela 7.7 Algumas das variáveis de saída do SWAT no nível de subbacias.

Nome da Variável	Definição
YEAR	Período de tempo diário: a data Juliana, período do tempo mensal: o mês (1-12), intervalo de tempo anual: ano com quatro dígitos.
PRECIP	A quantidade total de precipitação que cai na bacia no intervalo de tempo (mm H ₂ O).
PET	A evapotranspiração potencial da bacia no intervalo de tempo (mm H ₂ O).
ET	A evapotranspiração real da bacia no intervalo de tempo (mm).
SW	Conteúdo de água no solo (mm). A quantidade de água no perfil do solo no final do intervalo de tempo.
PERC	A água que se infiltra após a zona das raízes no intervalo de tempo (mm) Durante um longo período de tempo, esta variável deve ser igual à percolação das águas subterrâneas.
SURQ	Contribuição do escoamento superficial ao fluxo no intervalo de tempo (mm H ₂ O).
GW_Q	Contribuição das águas subterrâneas para o fluxo (mm). A água do aquífero superficial que retorna ao segmento de rio no intervalo de tempo.
WYLD	Produção de água (mm H ₂ O) A quantidade líquida de água que sai da bacia e contribui ao fluxo do segmento de rio no intervalo de tempo.
SYLD	Produção de sedimentos (toneladas por hectare). Os sedimentos da bacia que são transportados no segmento do rio no intervalo de tempo.

7.4.1.1 Análise anual dos resultados do SWAT na bacia Chambas.

Com o objetivo de analisar o comportamento e a distribuição dessas variáveis na bacia foram feitos resumos dos valores médios anuais e mensais durante o período simulado e para os diferentes cenários de estudo. As médias anuais da simulação são expostas nas tabelas 7.8, 7.9, 7.10 e 7.11.

Tabela 7.8 Resumo das médias anuais para a bacia Chambas no período 2000 - 2010 e uso da terra antigo.

Year	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
2000	1.150,77	2.748,46	833,64	43,94	250,85	79,15	203,72	301,38	0,40
2001	1.213,09	1.229,10	535,85	42,81	380,39	318,87	337,21	677,66	3,26
2002	2.005,93	1.296,06	577,65	46,95	638,13	778,25	588,83	1.402,04	5,14
2003	1.284,53	1.273,38	584,22	45,78	416,49	302,49	382,81	709,31	2,33
2004	436,64	1.365,74	409,47	26,76	71,22	40,07	82,72	129,92	0,20
2005	885,76	1.308,54	454,77	41,07	264,78	193,08	219,85	428,51	1,61
2006	1.343,98	1.248,50	599,72	51,50	403,12	345,59	373,12	742,54	2,02
2007	1.565,20	1.141,36	587,47	43,29	528,57	456,63	490,15	975,19	2,80
2008	1.137,05	1.199,66	588,91	46,99	292,97	274,85	257,77	550,81	3,67
2009	890,78	1.360,21	483,23	35,26	258,41	198,87	244,38	459,23	1,37
2010	1.053,22	1.259,30	530,97	36,18	284,88	268,24	255,13	541,59	2,84

Tabela 7.9 Resumo das médias anuais para a bacia Chambas no período 2000 - 2010 e uso da terra atual.

Year	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
2000	1.150,77	2.748,46	838,19	43,65	250,59	73,57	203,32	295,29	0,40
2001	1.213,09	1.229,10	541,82	42,47	380,40	309,47	337,18	668,10	3,26
2002	2.005,93	1.296,06	582,76	46,70	640,34	763,58	590,83	1.389,16	5,10
2003	1.284,53	1.273,38	589,26	45,50	420,35	290,03	386,42	700,32	2,32
2004	436,64	1.365,74	414,32	26,28	70,34	35,99	82,18	125,25	0,20
2005	885,76	1.308,54	457,67	41,24	268,41	188,78	222,75	427,02	1,64
2006	1.343,98	1.248,50	604,87	51,80	408,90	338,73	378,71	741,15	2,05
2007	1.565,20	1.141,36	591,87	43,41	534,99	451,40	496,03	975,68	2,84
2008	1.137,05	1.199,66	594,54	47,20	296,40	268,86	260,69	547,65	3,72
2009	890,78	1.360,21	485,68	35,37	262,37	195,02	248,13	459,05	1,39
2010	1.053,22	1.259,30	534,65	36,25	289,86	262,67	259,49	540,28	2,89

Tabela 7.10 Resumo das médias anuais para a bacia Chambas no período 2011- 2020 e uso da terra antigo.

Year	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
2011	1.215,79	2.909,26	830,65	28,46	276,12	142,72	242,68	405,76	0,89
2012	982,05	2.980,10	768,13	20,35	180,32	73,45	160,57	249,77	0,42
2013	1.262,69	2.971,02	744,36	27,95	329,78	198,01	276,61	496,95	1,10
2014	1.167,08	2.946,58	805,41	17,55	264,67	128,43	234,34	382,69	0,77
2015	1.320,99	2.944,90	813,08	24,32	305,77	209,36	269,87	501,23	1,34
2016	1.042,48	3.038,58	708,37	26,84	239,31	122,02	205,94	345,38	0,86
2017	1.332,58	2.903,07	892,45	38,99	294,09	145,67	257,70	425,81	0,79
2018	1.103,09	2.848,03	867,78	23,59	199,08	73,09	167,21	258,35	0,42
2019	856,95	2.927,67	731,24	27,90	108,00	50,63	92,63	155,87	0,48
2020	1.090,81	2.777,95	806,82	22,69	225,57	85,11	187,76	290,52	0,41

Tabela 7.11 Resumo das médias anuais para a bacia Chambas no período 2011- 2020 e uso da terra atual.

Year	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
2011	1.085,05	2.909,26	733,91	31,60	221,88	170,49	194,09	382,32	0,92
2012	1.119,07	2.980,10	760,29	17,83	240,80	160,08	208,65	387,59	1,14
2013	1.404,15	2.971,02	716,49	26,52	372,71	323,09	316,95	664,61	1,93
2014	1.146,29	2.946,58	722,14	18,85	263,12	195,62	235,29	450,58	1,35
2015	1.551,96	2.944,90	819,84	24,22	379,82	356,16	327,80	710,07	2,15
2016	1.087,73	3.038,58	665,13	24,59	238,19	216,46	209,38	443,77	1,75
2017	1.535,77	2.903,07	857,15	33,48	344,81	334,20	298,55	658,33	2,59
2018	1.381,99	2.848,03	839,25	21,37	328,18	240,06	283,71	547,53	1,70
2019	824,70	2.927,67	685,76	33,01	110,44	57,23	98,25	167,91	0,40
2020	1.056,09	2.777,95	737,79	22,47	234,99	119,93	196,39	334,03	0,73

A precipitação é o início do ciclo hidrológico para o modelo SWAT, sendo um dos principais grupos de dados de entrada na modelagem. Dessa maneira, todos os resultados de balanço hidrológico e de propagação, tanto de água quanto de sedimentos, simulados pelo SWAT dependem da quantidade de água precipitada na bacia. A figura 7.10 mostra a distribuição da precipitação ao longo do período de simulação (2000 - 2020) na bacia Chambas.

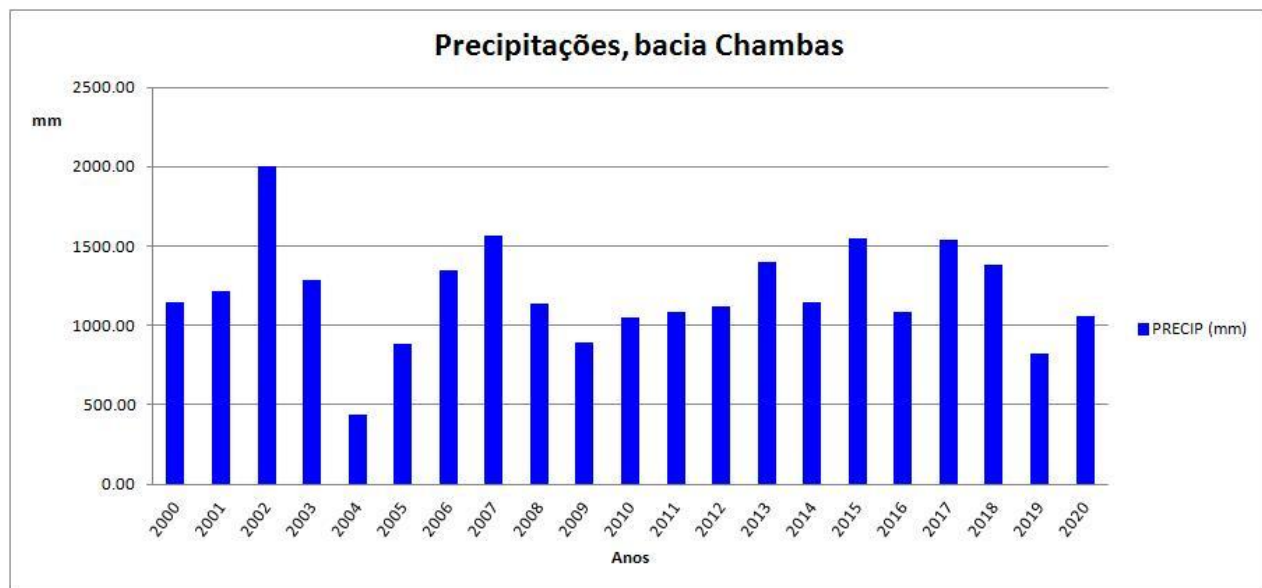


Figura 7.10 Comportamento anual das precipitações, na bacia Chambas no período 2000 - 2020.

O escoamento superficial (SURQ) gerado na bacia é resultante da diferença entre o volume de água precipitado e o volume infiltrado, sendo o principal componente do balanço hídrico responsável pela desagregação e transporte de sedimentos.

O desempenho do modelo SWAT para a geração do escoamento superficial mostra que uma parametrização adequada dos seus principais componentes, como dados de solo e da cobertura e uso da terra, fornece bons resultados.

Os resultados anuais médios do escoamento superficial simulado pelo SWAT são mostrados nas tabelas 7.8, 7.9, 7.10 e 7.11, encontrando-se valores máximos no ano 2002 com 778,25 mm, e valores mínimos registrados no ano 2004 com 40,07mm.

A análise da distribuição das precipitações e o escoamento superficial no período de 20 anos simulados (2000 - 2020) revela que os valores mais contrastantes se encontram nos cenários 1 e 2, o que está associado a fortes variações climáticas ocorridas nesse período.

A produção de sedimentos (SYLD) numa bacia é relativa à quantidade de sedimentos que é transportada para o canal principal da bacia. No SWAT ela é calculada através da Equação Universal Modificada de Perda de Solo (MUSLE) (Williams, J. R. (1975).

A produção de sedimentos de uma sub-bacia é originada a partir da soma de todas as estimativas calculadas no âmbito das Unidades de Resposta Hidrológica. (URHs) que a compõem.

Em seguida o modelo SWAT considera que toda essa carga alcançará o trecho do curso de drenagem da referida sub-bacia até o exutório. Por isso, na saída de cada sub-bacia existe um ponto de controle que contabiliza a produção de sedimentos do canal principal (SED_OUT), que será analisado no item 7.4.2 deste trabalho com as saídas ao nível dos rios principais.

Em correspondência com os máximos e mínimos valores de precipitação e escoamento superficial a distribuição da produção de sedimentos ao longo dos 20 anos simulados no SWAT para a bacia Chambas, mostra valores máximos 5,14 t/ha no ano 2002 e valores mínimos 0,20 t/ha no ano 2004, como se observa na tabela 7.8 e no histograma da figura 7.11. Estes valores contrastantes se encontram concentrados no cenário 1 e 2, associado a eventos climatológicos extremos acontecidos no período 2000 - 2010.

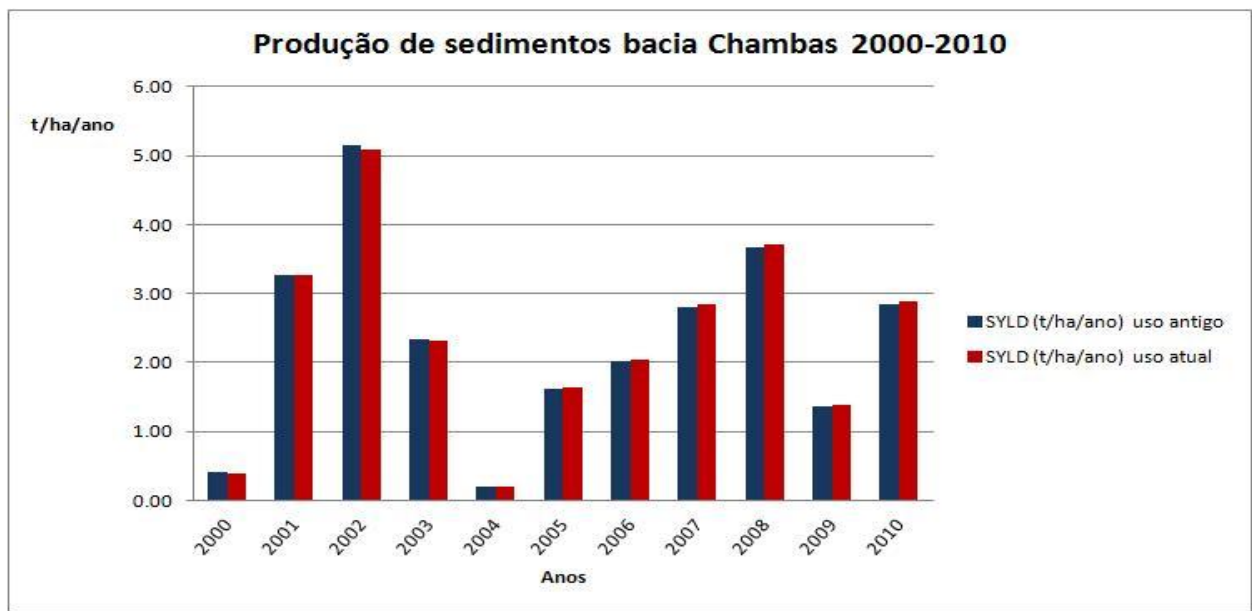


Figura 7.11 Comportamento anual da produção de sedimentos na bacia Chambas no período 2000 - 2010.

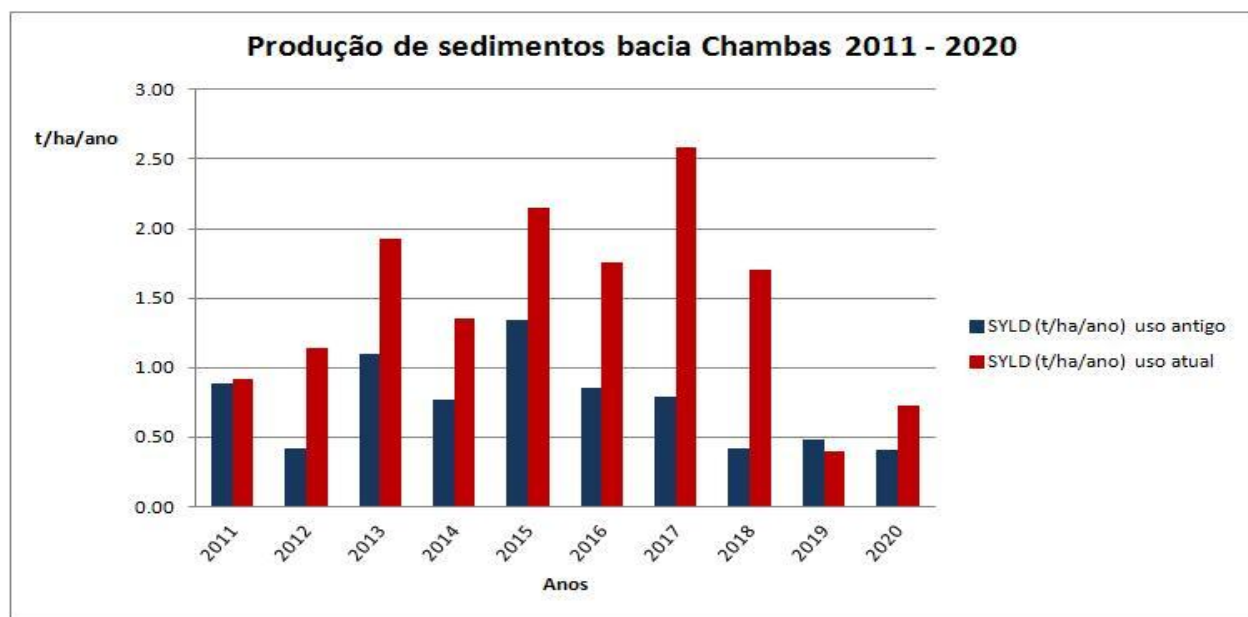


Figura 7.12 Comportamento anual da produção de sedimentos na bacia Chambas no período 2011 - 2020.

A análise dos cenários hipotéticos futuros 3 e 4 do período 2011- 2020, mostra uma redução na produção de sedimentos em geral. No entanto, no cenário com uso da terra atual pode-se observar uma tendência ao aumento da produção de sedimentos, principalmente no ano 2017 (tabela 7.11 e figura 7.12).

7.4.1.2 Análise das mudanças entre os cenários.

Com base nos valores médios anuais de algumas variáveis ao nível de sub-bacias para cada cenário de estudo foi realizada uma análise comparativa entre os cenários e as mudanças acontecidas entre eles, como pode ser visto nas tabelas 7.12 e 7.13. Nesta análise foram consideradas as mudanças que podem estar relacionadas com as transformações no uso e ocupação do território. Analisamos o efeito dos cenários no balanço hídrico da bacia.

Tabela 7.12 Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 1 e 2 período 2000 – 2010 ao nível da bacia.

Variáveis	uso antigo	uso atual	diferencia	%
PRECIP (mm)	1.178,82	1.178,82	0,00	0,00
PET (mm)	1.402,76	1.402,76	0,00	0,00
ET (mm)	562,35	566,88	4,52	0,80
SW (mm)	41,86	41,81	-0,06	-0,14
PERC (mm)	344,53	347,54	3,01	0,87
SURQ (mm)	296,01	288,92	-7,09	-2,39
GW_Q (mm)	312,33	315,07	2,73	0,87
WYLD (mm)	628,93	624,45	-4,47	-0,71
SYLD (t/ha)	2,33	2,35	0,02	0,64

Segundo a análise das médias anuais para o período 2000 – 2010 da simulação na bacia Chambas, conforme Tabela 7.12, obteve-se um valor do escoamento superficial de 296,01 mm e uma produção de sedimentos de 2,33 t/ha para toda a bacia, quando se utiliza o uso da terra antigo. Ao utilizar o uso da terra atual, nota-se que o valor do escoamento superficial diminui levemente e a produção de sedimentos se incrementa.

Conforme dados da Tabela 7.12, a precipitação nos cenários 1 e 2 não mostra variações. O escoamento superficial sofreu uma redução de 2,39% nos cenários 1 e 2 devido a uma diminuição das áreas de cana-de-açúcar e de arroz e aumento das áreas de pastagem, vegetação arbustiva seminatural e culturas permanentes, o que aumenta a retenção superficial e a percolação.

A produção de água na bacia é reduzida em 0,71%, se comparados os cenários 1 e 2. Esta diminuição se deve a uma redução da retenção de superfície e da percolação na contribuição das águas subterrâneas para o fluxo de base. Essa diminuição não é tão significativa, pois o escoamento e a produção de água sofrem um aumento a partir da bacia pelo aumento na vazão de pico.

A produção de sedimentos se incrementa em 0,64% comparando o cenário 1 e o cenário 2 pois se incrementam os solos expostos pelas mudanças de culturas deixando-os vulneráveis à erosão.

Tabela 7.13 Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 3 e 4 período 2011 – 2020 ao nível da bacia.

Variáveis	futuro uso antigo	futuro uso atual	diferencia	%
PRECIP (mm)	1.137,45	1.219,28	81,83	7,19
PET (mm)	2.924,71	2.924,71	0,00	0,00
ET (mm)	796,83	753,78	-43,05	-5,40
SW (mm)	25,86	25,39	-0,47	-1,81
PERC (mm)	242,27	273,49	31,22	12,89
SURQ (mm)	122,85	217,33	94,48	76,91
GW_Q (mm)	209,53	236,91	27,37	13,06
WYLD (mm)	351,23	474,67	123,44	35,14
SYLD (t/ha)	0,75	1,47	0,72	96,15

Nos cenários 3 e 4 de previsão, conforme tabela 7.13, observa-se um aumento de quase todas as variáveis com um grande incremento (96,15 %) dos níveis de erosão; esse incremento pode estar associado com a previsão no incremento do escoamento superficial, no ciclo de crescimento das culturas menos estáveis e na menor cobertura do solo.

Comparando a produção de sedimentos no nível da bacia para todo o período de simulação (20 anos), conforme figura 7.13, observa-se uma tendência geral ao aumento na condição real e hipotética com o uso atual da terra.

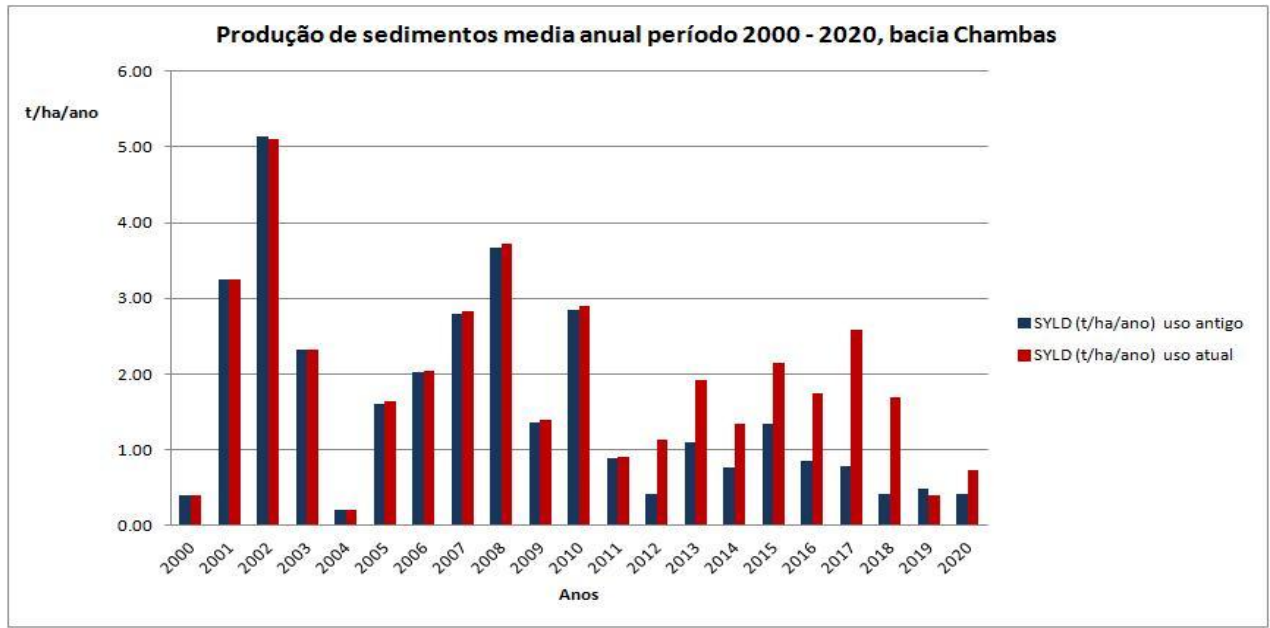


Figura 7.13 Produção de sedimentos no período 2000 - 2020, bacia Chambas.

7.4.1.3 Análise mensal dos resultados de SWAT para a bacia Chambas

Como resultados das simulações realizadas no SWAT na fase terrestre foram gerados cenários do comportamento mensal da hidrosedimentologia na bacia Chambas. As variáveis de saída no SWAT são as mesmas analisadas para a fase terrestre do ciclo hidrológico anual descritas na Tabela 7.7.

Os resumos gerados a partir das médias mensais das variáveis analisadas para a bacia Chambas em cada um dos cenários de estudo (tabelas, 7.14, 7.15, 7.16 e 7.17).

Tabela 7.14 Resumo das médias mensais para o período 2000 - 2010 e uso da terra antigo (cenário 1).

Meses	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
1	14,17	79,90	22,35	37,18	0,63	0,26	10,61	11,10	0,00
2	38,41	88,16	26,21	40,28	6,29	6,35	3,34	10,14	0,08
3	36,20	115,58	36,27	32,73	7,43	5,10	5,22	10,98	0,07
4	58,99	131,83	50,17	23,98	10,56	11,65	5,88	18,24	0,10
5	191,93	146,47	58,64	39,98	52,81	63,90	9,72	76,32	0,42
6	187,36	136,87	76,61	36,77	49,75	63,49	32,62	99,61	0,34
7	106,26	148,20	51,79	46,66	28,31	19,22	39,00	60,17	0,11
8	154,30	147,07	60,95	51,14	53,54	36,00	37,26	76,01	0,24
9	192,92	129,58	64,05	54,88	67,34	55,56	43,35	102,11	0,57
10	117,87	120,84	55,08	53,81	43,29	20,79	51,61	74,88	0,19
11	52,26	83,46	33,75	44,11	19,69	11,32	44,64	57,36	0,20
12	28,13	74,79	26,47	41,86	4,88	2,37	29,08	32,01	0,03

Tabela 7.15 Resumo das médias mensais para o período 2000 - 2010 e uso da terra atual (cenário 2).

Meses	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
1	14,17	79,90	22,36	36,93	0,64	0,22	10,68	11,14	0,00
2	38,41	88,16	26,24	40,05	6,36	6,15	3,35	9,95	0,08
3	36,20	115,58	37,08	31,86	7,55	4,80	5,28	10,73	0,07
4	58,99	131,83	49,88	23,71	10,64	11,18	5,95	17,84	0,10
5	191,93	146,47	58,13	40,04	53,23	62,95	9,84	75,45	0,41
6	187,36	136,87	76,13	36,97	50,43	62,52	32,91	98,92	0,33
7	106,26	148,20	54,05	45,46	28,28	18,14	39,40	59,50	0,10
8	154,30	147,07	62,05	50,67	53,28	33,98	37,41	74,12	0,23
9	192,92	129,58	64,87	54,56	67,39	53,95	43,32	100,45	0,57
10	117,87	120,84	55,61	53,52	43,38	19,85	51,61	73,92	0,19
11	52,26	83,46	33,95	43,78	19,78	10,95	44,68	57,03	0,20
12	28,13	74,79	26,54	41,55	4,93	2,22	29,16	31,93	0,03

Tabela 7.16 Resumo das médias mensais para o período 2011 – 2020 e uso da terra antigo (cenário 3).

Meses	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
1	15,08	232,54	26,46	20,69	0,20	0,02	4,94	5,21	0,00
2	30,92	220,95	30,62	24,24	0,63	0,08	1,86	2,24	0,00
3	40,36	279,02	48,14	18,93	1,72	0,70	1,29	2,50	0,01
4	49,60	300,70	63,06	8,52	1,91	0,34	1,38	2,34	0,00
5	122,00	294,70	96,99	19,71	10,28	5,38	2,97	9,85	0,03
6	203,05	241,94	103,18	46,24	43,46	27,36	9,98	40,44	0,12
7	147,33	283,37	86,61	47,39	41,01	19,22	24,42	46,41	0,09
8	148,36	242,81	89,41	45,23	38,52	23,46	34,17	60,35	0,18
9	185,01	221,69	95,56	49,26	55,04	28,24	36,04	67,42	0,18
10	137,12	202,62	79,59	49,18	41,99	14,40	43,74	60,74	0,08
11	36,67	196,44	45,79	32,25	7,20	3,52	34,94	39,46	0,06
12	21,96	207,94	31,42	25,86	0,30	0,13	13,80	14,27	0,00

Tabela 7.17 Resumo das médias mensais para o período 2011 – 2020 e uso da terra atual (cenário 4).

Meses	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
1	14,68	232,54	24,95	20,79	0,54	0,29	4,69	5,22	0,00
2	33,32	220,95	30,54	25,40	1,43	0,62	2,02	3,01	0,01
3	34,87	279,02	44,88	17,98	1,64	0,92	1,55	2,92	0,01
4	51,01	300,70	59,57	9,00	3,90	1,77	1,82	4,30	0,01
5	145,09	294,70	97,35	26,76	18,09	12,63	4,79	19,26	0,08
6	242,45	241,94	96,93	48,49	59,46	61,59	13,58	78,83	0,29
7	147,94	283,37	77,86	46,36	38,86	34,76	32,53	70,17	0,23
8	155,01	242,81	83,14	44,25	39,87	35,48	39,04	77,42	0,30
9	191,63	221,69	88,76	48,90	55,52	41,11	39,05	83,39	0,30
10	147,99	202,62	72,49	47,45	49,19	26,64	46,55	76,05	0,21
11	33,77	196,44	45,97	31,95	4,77	1,50	37,03	39,49	0,01
12	21,54	207,94	31,35	25,39	0,21	0,03	14,25	14,61	0,00

Mesmo não existindo dados medidos foi possível realizar uma avaliação relativa da variação e distribuição ao longo dos meses no período de 20 anos simulados para a bacia Chambas a partir dos resultados mensais do escoamento e da produção de sedimentos.

Neste contexto, a análise geral dos quatro cenários mostra um comportamento similar na produção de sedimentos. Estes atingem os máximos valores de SYLD nos

meses de maio a outubro que corresponde ao período úmido (precipitações mais intensas). Os valores relativamente altos de escoamento superficial podem estar associados a eventos extremos, como é o caso dos ciclones tropicais. Os valores mínimos se concentram nos meses de novembro até abril coincidindo com os mínimos valores das precipitações e com o escoamento superficial na época de seca. Estas variações podem ser observadas nos histogramas das figuras 7.14 e 7.15.

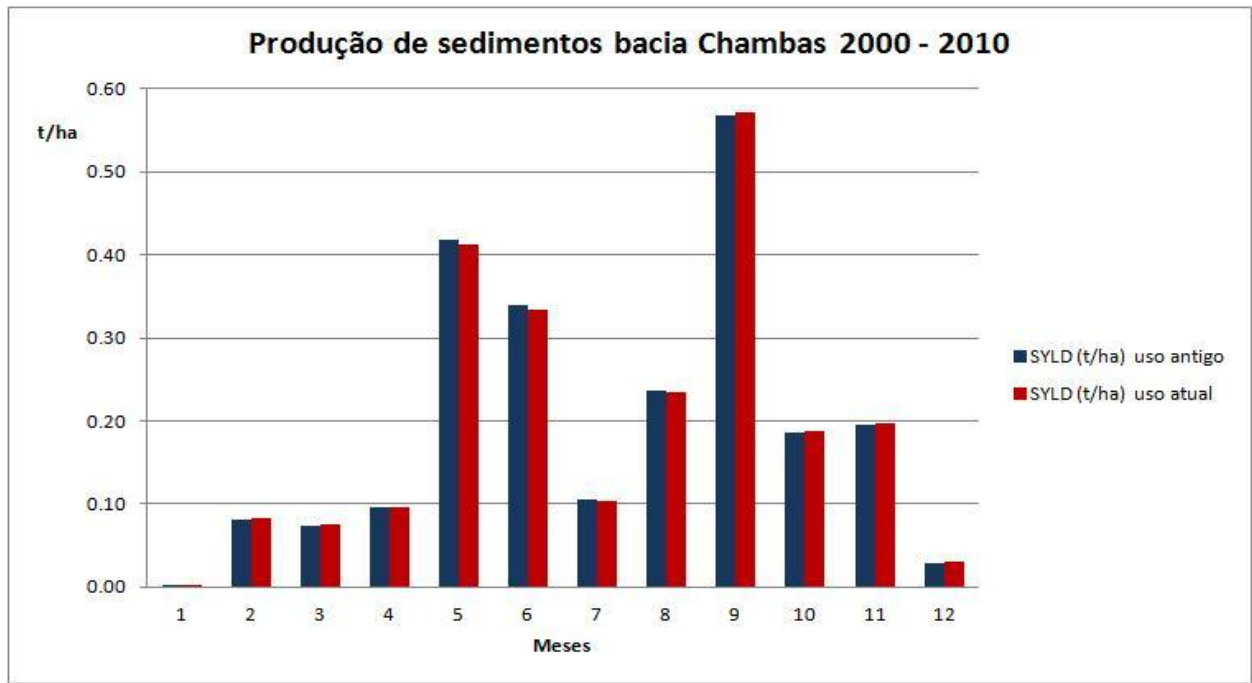


Figura 7.14 Comportamento mensal da produção de sedimentos na bacia Chambas no período 2000 - 2010.

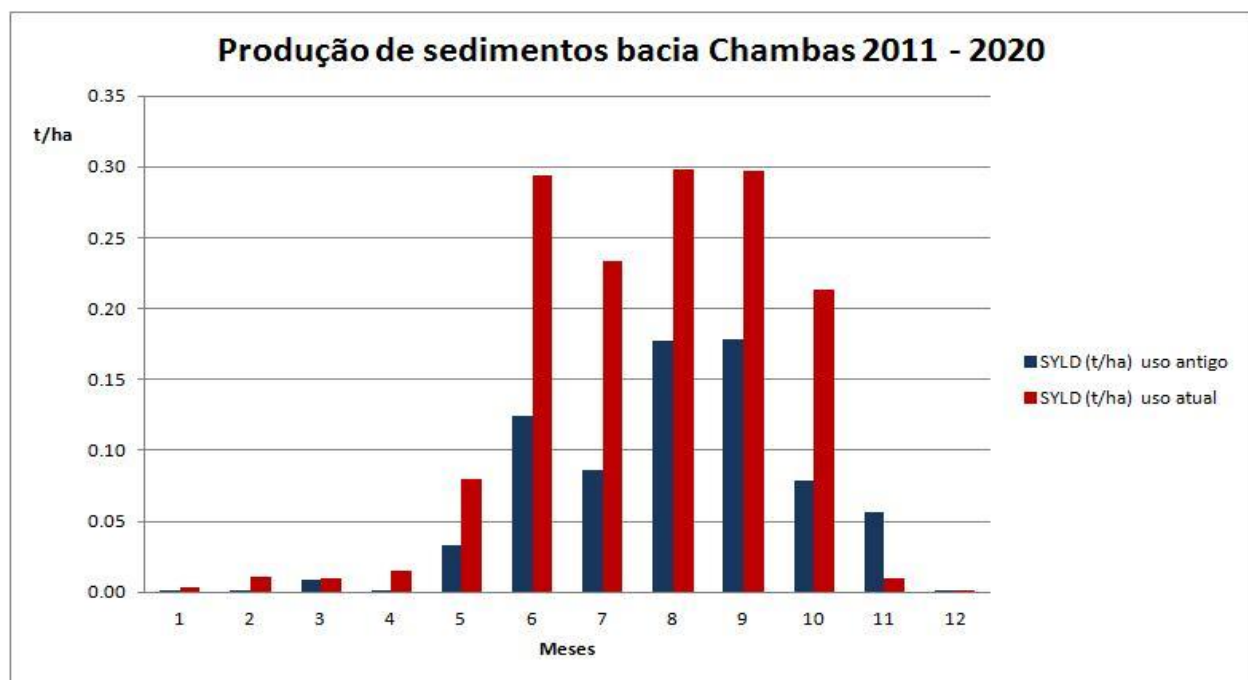


Figura 7.15 Comportamento mensal da produção de sedimentos na bacia Chambas no período 2011- 2020.

A partir da análise das médias mensais nas estações do ano para cada cenário, conforme as tabelas 7.18, 7.19, 7.20 e 7.21, constata-se que nos cenários reais na época da seca (Novembro até Abril) o valor da produção de sedimentos se comporta igual (0,08 t/ha). Na época úmida (Maio até Outubro) acontece o mesmo na produção de sedimentos com 0,31 t/ha para ambos cenários.

Nos cenários futuros o valor da produção de sedimentos na época da seca apresentou-se inalterado para ambos os usos da terra (0,01 t/ha), enquanto para a estação úmida com o atual uso da terra pode-se observar um incremento nas taxas de erosão (0,24 t/ha).

Tabela 7.18 Médias mensais para cada estação do cenário 1, bacia Chambas.

Cenário 1 (Estações)	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
Real uso antigo (seca)	38,03	95,62	32,54	36,69	8,25	6,17	16,46	23,30	0,08
Real uso antigo (úmida)	158,44	138,17	61,19	47,21	49,17	43,16	35,59	81,52	0,31

Tabela 7.19 Médias mensais para cada estação do cenário 2, bacia Chambas.

Cenário 2 (Estações)	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
Real uso atual (seca)	38,03	95,62	32,68	36,31	8,32	5,92	16,52	23,10	0,08
Real uso atual (úmida)	158,44	138,17	61,80	46,87	49,33	41,90	35,75	80,39	0,31

Tabela 7.20 Médias mensais para cada estação do cenário 3, bacia Chambas.

Cenário 3 (Estações)	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
Futuro uso antigo (seca)	32,43	239,60	40,91	21,75	2,00	0,80	9,70	11,00	0,01
Futuro uso antigo (úmida)	157,15	247,85	91,89	42,83	38,38	19,68	25,22	47,54	0,11

Tabela 7.21 Médias mensais para cada estação do cenário 4, bacia Chambas.

Cenário 4 (Estações)	PRECIP (mm)	PET (mm)	ET (mm)	SW (mm)	PERC (mm)	SURQ (mm)	GW_Q (mm)	WYLD (mm)	SYLD (t/ha)
Futuro uso atual (seca)	31,53	239,60	39,54	21,75	2,08	0,85	10,23	11,59	0,01
Futuro uso atual (úmida)	171,68	247,85	86,09	43,70	43,50	35,37	29,26	67,52	0,24

7.4.1.4 Visualização da distribuição espacial dos resultados na produção de sedimentos para cada sub-bacia nos diferentes cenários de estudo.

A visualização das saídas de SWAT pode ser feita em diferentes níveis espaciais e temporais. Na representação espacial podem ser utilizadas as URH, as sub-bacias ou até mesmo os principais rios para cada uma das sub-bacias modeladas. A representação temporal também depende da escala de tempo usada na modelagem. Assim pode ser usado, por exemplo, um período de tempo diário, mensal ou anual.

No caso da bacia Chambas, dada a escala de trabalho e o grande número de URH obtidas, os resultados foram representados ao nível de sub-bacias tomando como base o período anual. Para isso utilizou-se a produção de sedimentos (SYLD), que é a variável mais importante do objeto deste estudo.

Para realizar a representação é preciso ter os dados em ambiente SIG e acessar as bases de dados de saída do SWAT em formato dbf. Em seguida, é necessário fazer

o vínculo entre o banco de dados de atributos com o mapa em formato “shape”, usando as ferramentas de relacionamento de tabelas dos SIG.

É muito importante realizar uma análise estatística dos resultados do SWAT sobre o comportamento da variável em questão e os seus intervalos de valores máximos, mínimos e médios, em cada sub-bacia e para cada ano do período analisado antes do processo de relacionamento das bases de dados e a geometria em SIG. No apêndice 4 é mostrado um resumo dos valores da variável SYLD resultado da simulação em SWAT para todas as sub-bacias de Chambas durante o período de 20 anos. Este constitui a base para sua representação espacial e temporal.

Para fazer a representação da produção de sedimentos foram levados em conta os trabalhos anteriores com as classes sobre as taxas toleráveis de perda potencial de solo em toneladas/ha/ano, de acordo com Renschler (1996) apud Geler (2000), como mostradas na Tabela 7.22.

Neste trabalho assumiu-se que as taxas de erosão toleráveis para um solo renovável é de 5 a 10 toneladas por hectare por ano de acordo com Wischmeier e Smith (1978), que descrevem a quantidade de perda de solo tolerável como um valor representativo dos níveis máximos de erosão dos solos. Isto permitiria uma elevada produtividade nas culturas para que sejam economicamente e indefinidamente sustentáveis. Os fatores mais importantes que determinam o limite de 5 a 10 t/ha como a perda de solo tolerável são: profundidade, propriedades físicas e outras características que afetam o desenvolvimento radicular, prevenção de voçorocas, problemas de sedimentação em campo, perdas das sementes, redução da matéria orgânica no solo e perda de nutrientes (Wischmeier e Smith, 1978).

Tabela 7.22 Classes de perda de solos por erosão segundo Geler (2000).

No.	Valor (tons/ha)	Classes
1	0,0 – 2,00	Muito leve
2	2,01 - 5,00	Leve
3	5,01 – 10,00	Tolerável
4	10,01 – 20,00	Alto
5	> 20,00	Muito alto

Essas classes foram adaptadas utilizando aproximadamente os mesmos intervalos para a representação nas sub-bacias de Chambas para os diferentes cenários, conforme na tabela. 7.23

Tabela 7.23 Classes de perda de solos por erosão para a bacia Chambas.

No.	Valor (tons/ha)	Classes
1	0,0 - 1,92	Muito leve
2	1,93 - 5,72	Leve
3	5,73 – 9,92	Tolerável
4	9,93 – 19,22	Alto
5	19,23 – 35,84	Muito alto

A produção de sedimentos em geral para as sub-bacias de Chambas no período da simulação, conforme as figuras 7.16 e 7.17, mostra uma variação espacial na produção de sedimentos das sub-bacias seguindo uma tendência diferenciada nas três seções da bacia (superior, media e inferior). As sub-bacias localizadas na parte inferior, da 1 até 47 aproximadamente, concentram os valores mínimos de SYLD; já na parte média, das sub-bacias 50 até 76 aproximadamente, concentram-se os valores máximos, enquanto os valores intermediários encontram-se na parte alta da bacia, da sub-bacia 77 até a 115.

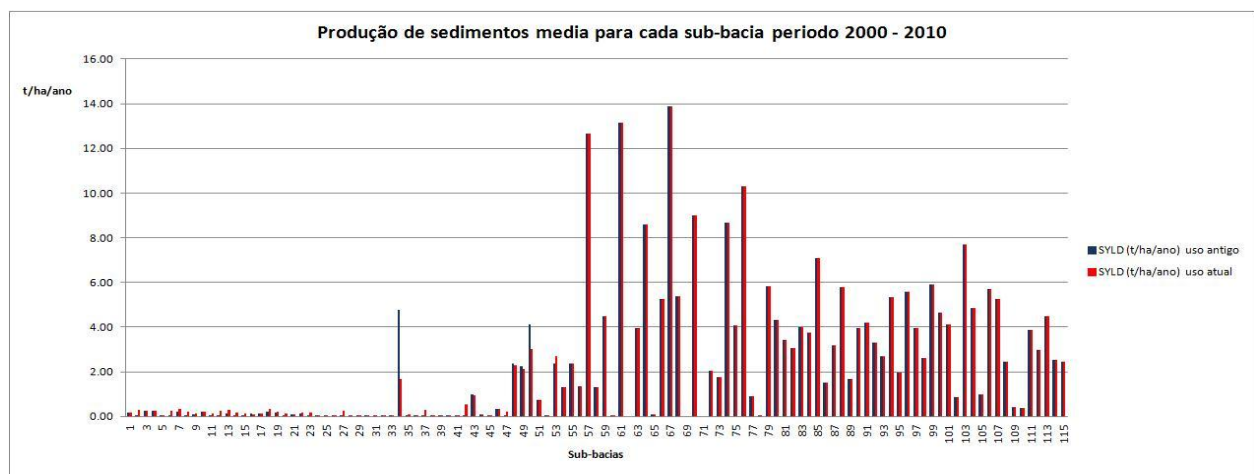


Figura 7.16 Comportamento anual da produção média de sedimentos nas sub-bacias de Chambas no período 2000 - 2010.

Os valores máximos de SYLD, registrados na parte média da bacia, estão associados às sub-bacias 57, 61, 64, 67, 70, 74 e 76, com valores de perda de solo superiores a 5 tons/ha/ano, conforme as figuras 7.16 e 7.17, para o uso da terra atual. Nestas sub-bacias a declividade é superior a 2% devido às serras cársticas (Serra de Jatibonico do Norte) da seção média da bacia. Deste modo podemos afirmar que no aporte de sedimentos nas sub-bacias a declividade das encostas do relevo exerce um grande controle.

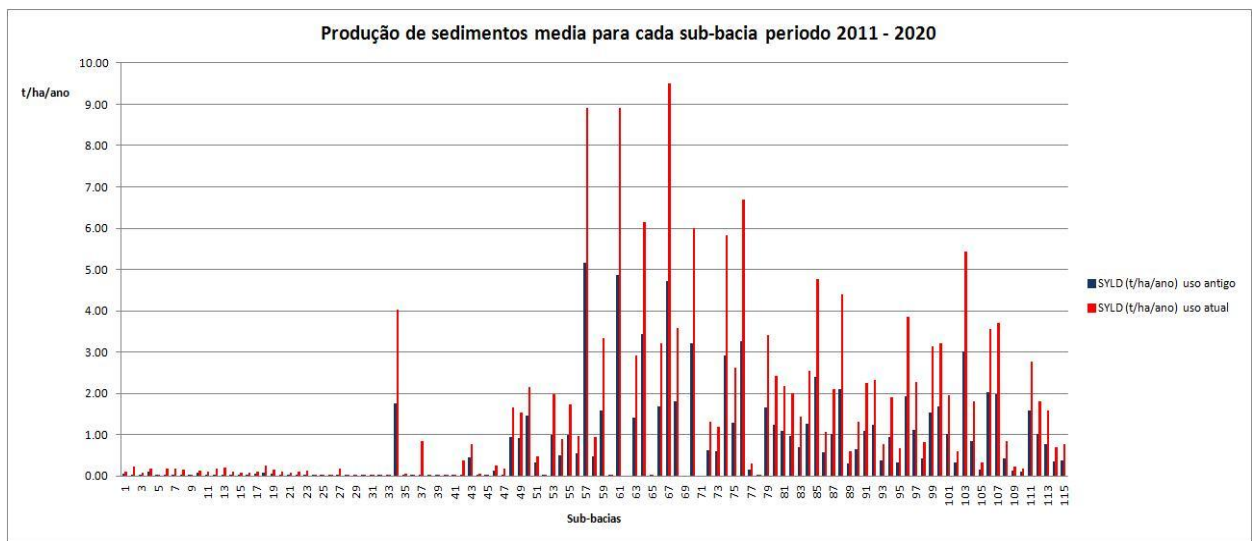


Figura 7.17 Comportamento anual da produção de sedimentos media nas sub-bacias de Chambas no período 2011 - 2020.

A visualização espacial da produção de sedimentos se realizou utilizando os cenários 2 e 4 (figuras 7.18 e 7.19) o que permite algumas constatações. A variação espacial e temporal na produção de sedimentos das sub-bacias segue uma tendência semelhante nos dois cenários.

No cenário 2 no ano 2002 obteve-se os máximos valores absolutos de SYLD espacialmente distribuídos na seção média da bacia. Os mínimos no ano 2004 constituem os mínimos de todo o período da simulação associado com um evento de seca na região e no país em geral (Apêndice 4).

No cenário 4 de previsão os máximos valores de SYLD são esperados em 2017

e os mínimos em 2019. Em correspondência aos cenários anteriores é esperada uma variação espacial semelhante mas que, no geral, a tendência é de diminuição dos valores na produção de sedimentos (Apêndice 4).

Produção de sedimentos no cenário 2 período 2000 - 2010, Bacia Chambas

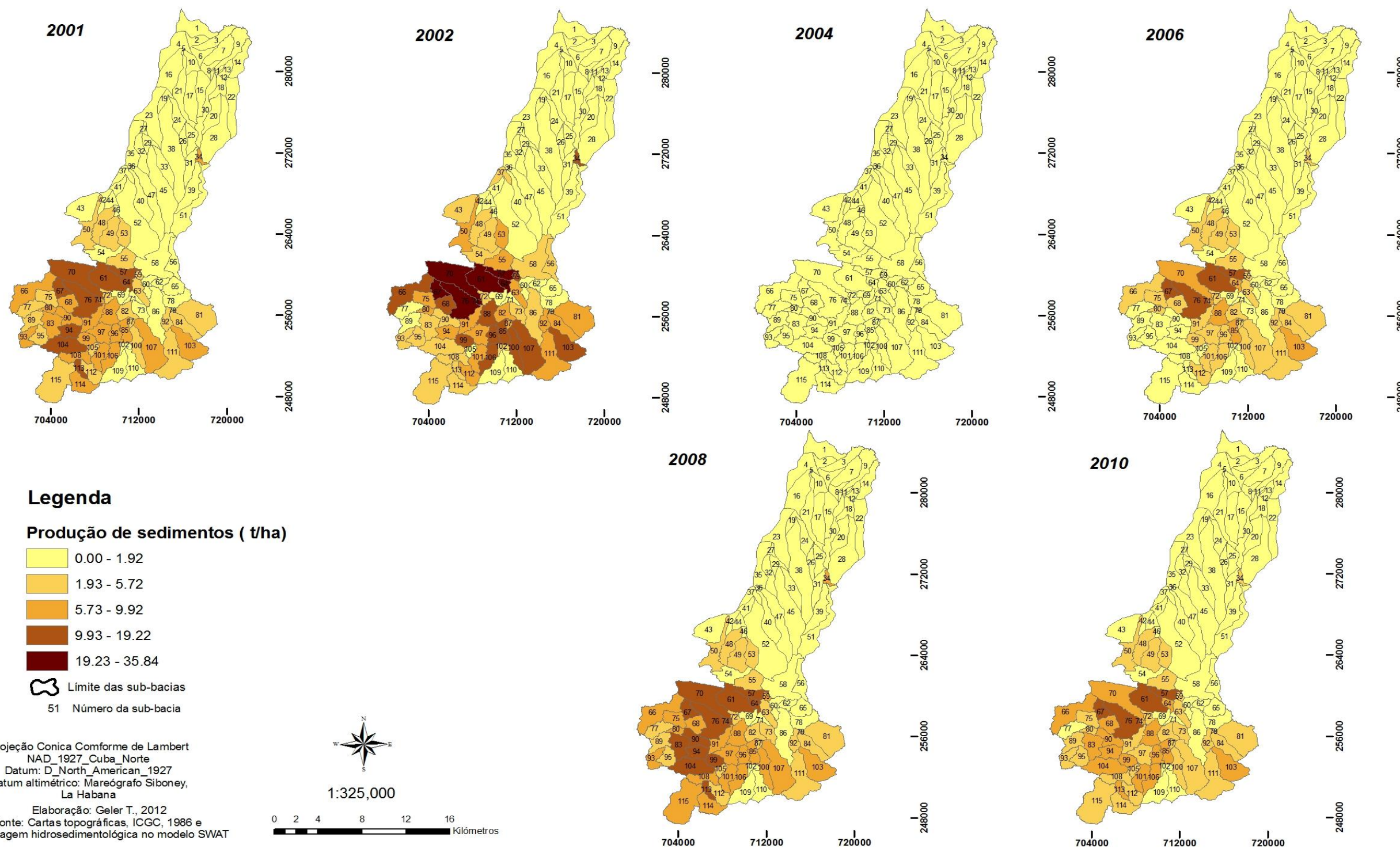


Figura 7.18 Produção de sedimentos no nível de sub-bacias, do cenário 2, bacia Chambas.

Produção de sedimentos no cenário 4 período 2011 - 2020, Bacia Chambas

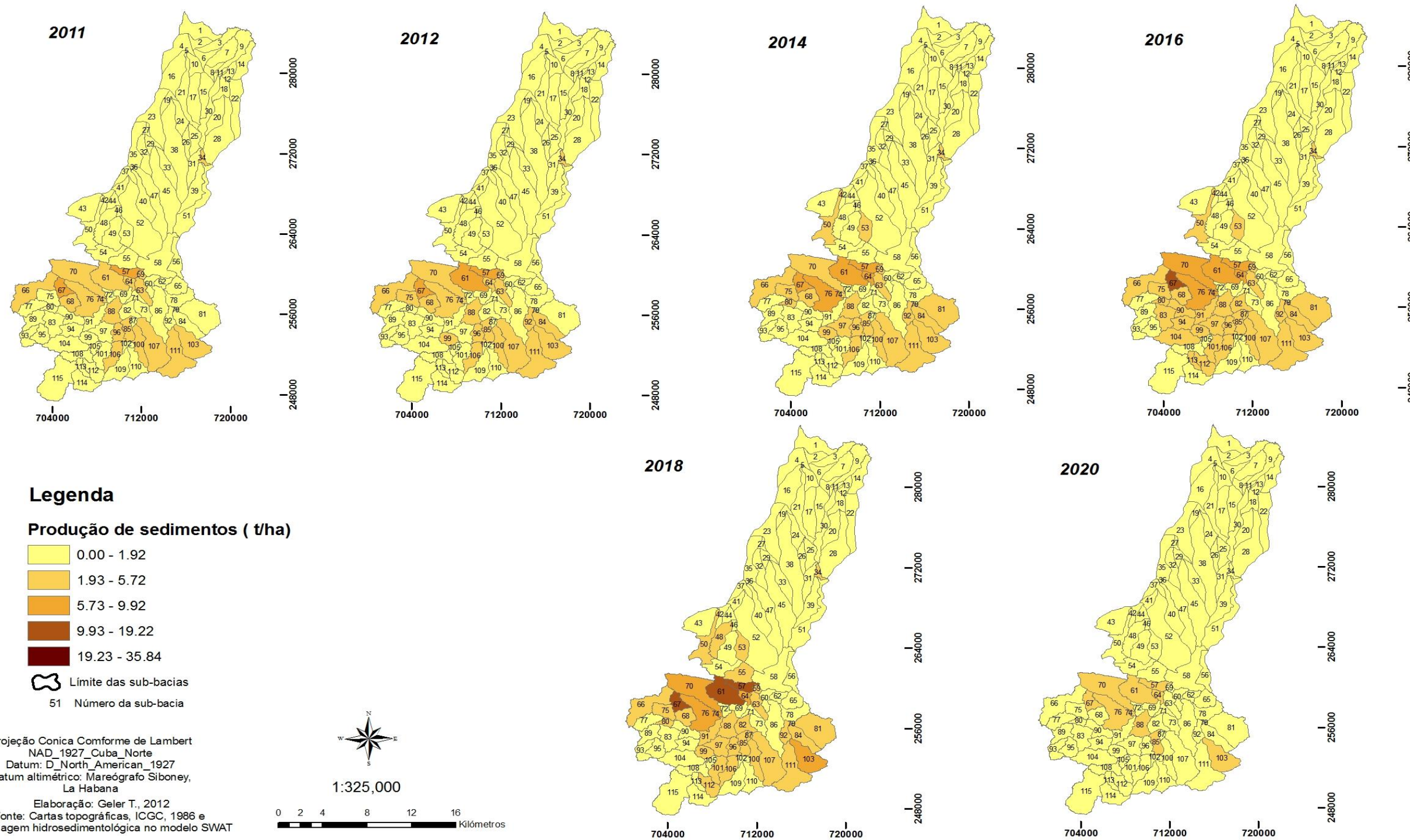


Figura 7.19 Produção de sedimentos no nível de sub-bacias, do cenário 4, bacia Chambas.

7.4.2 Análise dos cenários ao nível dos rios principais

Da mesma maneira que para as sub-bacias, o SWAT oferece um conjunto de variáveis de saída para cada rio principal da bacia como resultado das simulações. Dentre todas as variáveis de saída foram selecionadas aquelas que seriam analisadas na fase de propagação nos canais principais do ciclo hidrológico no SWAT, descritas na Tabela 7.24.

Tabela 7.24 Algumas das variáveis de saída do SWAT para os rios

Nome da Variável	Definição
YEAR	Período de tempo diário: a data Juliana, período do tempo mensal: o mês (1-12) intervalo de tempo anual: ano com quatro dígitos.
FLOW_IN	Vazão média diária que entra ao rio no intervalo de tempo (m ³ /s).
FLOW_OUT	Vazão média diária que sai do rio no intervalo de tempo (m ³ /s).
SED_IN	Sedimentos transportados pela água para dentro do rio no intervalo de tempo (toneladas métricas).
SED_OUT	Sedimentos transportados pela água para fora do rio no intervalo de tempo (toneladas métricas).

7.4.2.1 Análise anual dos resultados de SWAT nos rios principais

Com a finalidade de analisar o comportamento e a distribuição dessas variáveis nos rios principais foram feitos resumos dos valores médios anuais do período simulado e para os diferentes cenários de estudo. As médias anuais da simulação são expostas nas tabelas 7.25, 7.26, 7.27 e 7.28.

Tabela 7.25 Resumo das médias anuais resultado das simulações em SWAT para os rios no período 2000-2010 e uso da terra antigo.

YEAR	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
2000	0,34	0,34	1.364,23	1.338,55
2001	0,75	0,75	12.277,77	12.017,07
2002	1,60	1,60	18.670,86	18.400,17
2003	0,86	0,86	8.435,00	8.286,00
2004	0,21	0,21	710,89	701,50
2005	0,50	0,50	6.098,59	5.997,65
2006	0,84	0,84	7.265,95	7.153,50
2007	1,13	1,13	10.474,59	10.318,27
2008	0,66	0,66	14.082,16	13.803,43
2009	0,54	0,53	5.052,67	4.970,09
2010	0,63	0,63	10.851,51	10.633,89

Tabela 7.26 Resumo das médias anuais resultado das simulações em SWAT para os rios no período 2000-2010 e uso da terra atual.

YEAR	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
2000	0,34	0,34	1.367,23	1.341,36
2001	0,75	0,75	12.297,04	12.035,91
2002	1,60	1,60	18.653,95	18.381,94
2003	0,86	0,86	8.452,03	8.302,46
2004	0,21	0,20	712,89	703,28
2005	0,50	0,50	6.126,54	6.025,14
2006	0,84	0,84	7.268,60	7.156,03
2007	1,13	1,13	10.491,38	10.334,18
2008	0,66	0,65	14.105,58	13.826,45
2009	0,54	0,53	5.066,62	4.983,81
2010	0,63	0,63	10.892,59	10.674,45

Tabela 7.27 Resumo das médias anuais resultado das simulações em SWAT para os rios no período 2011-2020 e uso da terra antigo.

YEAR	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
2011	0,46	0,46	3.208,71	3.155,42
2012	0,29	0,29	1.457,46	1.430,08
2013	0,56	0,56	3.880,09	3.817,67
2014	0,45	0,45	2.831,68	2.786,21
2015	0,57	0,56	4.810,21	4.729,22
2016	0,40	0,40	3.181,83	3.128,47
2017	0,49	0,49	2.819,58	2.776,63
2018	0,31	0,31	1.465,02	1.435,46
2019	0,17	0,16	1.730,20	1.688,92
2020	0,32	0,32	1.503,07	1.477,84

Tabela 7.28 Resumo das médias anuais resultado das simulações em SWAT para os rios no período 2011-2020 e uso da terra atual.

YEAR	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
2011	0,44	0,44	3.072,09	3.015,42
2012	0,44	0,44	3.929,58	3.863,19
2013	0,74	0,74	6.886,62	6.774,55
2014	0,53	0,53	4.764,96	4.683,32
2015	0,79	0,79	7.621,79	7.500,93
2016	0,52	0,52	6.312,98	6.194,29
2017	0,75	0,75	9.284,45	9.124,28
2018	0,65	0,64	5.951,45	5.845,28
2019	0,22	0,22	1.367,03	1.335,60
2020	0,40	0,40	2.580,12	2.535,92

Após realizar a transferência dos sedimentos gerados nas sub-bacias para o canal, inicia-se a propagação destes para fora da bacia hidrográfica, considerada neste estudo como produção de sedimentos no canal (SED_OUT), a descarga que passa pelo ponto de deságue (exutório) de cada sub-bacia.

O modelo SWAT utiliza a equação de Bagnold (1977) segundo NEITSCH et al,

(2005), da Potência do Fluxo para a capacidade de transporte, de modo que a concentração máxima de sedimentos que pode ser transportada pelo fluxo é função direta da velocidade de pico da vazão no canal. A velocidade de pico é estimada pela relação entre a vazão de pico e a área da seção do canal. Contudo, as condições de erosão do leito no canal não permitem uma relação linear entre a vazão e a carga de sedimentos transportada.

A vazão depende de fatores importantes como a declividade do perfil longitudinal, o volume das águas, a forma da seção transversal, e o coeficiente de rugosidade do leito e viscosidade da água, fazendo com que a velocidade das águas tenha variações nos diversos setores do canal no qual ela flui.

A vazão média diária dos rios na bacia ao longo do período simulado, mostra valores mais altos no ano 2002 de 1,60 m³/s e mínimos de 0,21 m³/s no ano 2004, conforme a tabela 7.25.

A carga de sedimentos transportada relaciona-se diretamente com a vazão. O transporte de sedimentos na rede de drenagem é uma função de dois processos, a deposição e a degradação, que agem simultaneamente no canal fluvial. Na bacia estes processos se manifestam com uma distribuição geral similar aos valores de vazão no período simulado, com máximos no ano 2002 de 18.400,17 tons e mínimos no ano 2004 de 701,50 tons, conforme a tabela 7.25 e Figura 7.20.

O modelo também permite a estimativa dos processos de erosão e deposição no canal fluvial. Contudo, o que se observa nas tabelas 7.25, 7.26, 7.27 e 7.28 (variáveis SED_IN e SED_OUT) poderia induzir-nos ao entendimento de que a erosão do leito não acontece – haja vista que não há saída de sedimentos maior que a entrada – e que existe um processo acentuado de assoreamento em alguns segmentos, especialmente no canal fluvial principal, que pode ser observado na análise das figuras 7.25 e 7.26. Este fato também é verificado nos resultados, embora não existam dados observados que possam indicar uma limitação do modelo SWAT, o que necessita de futuros estudos.

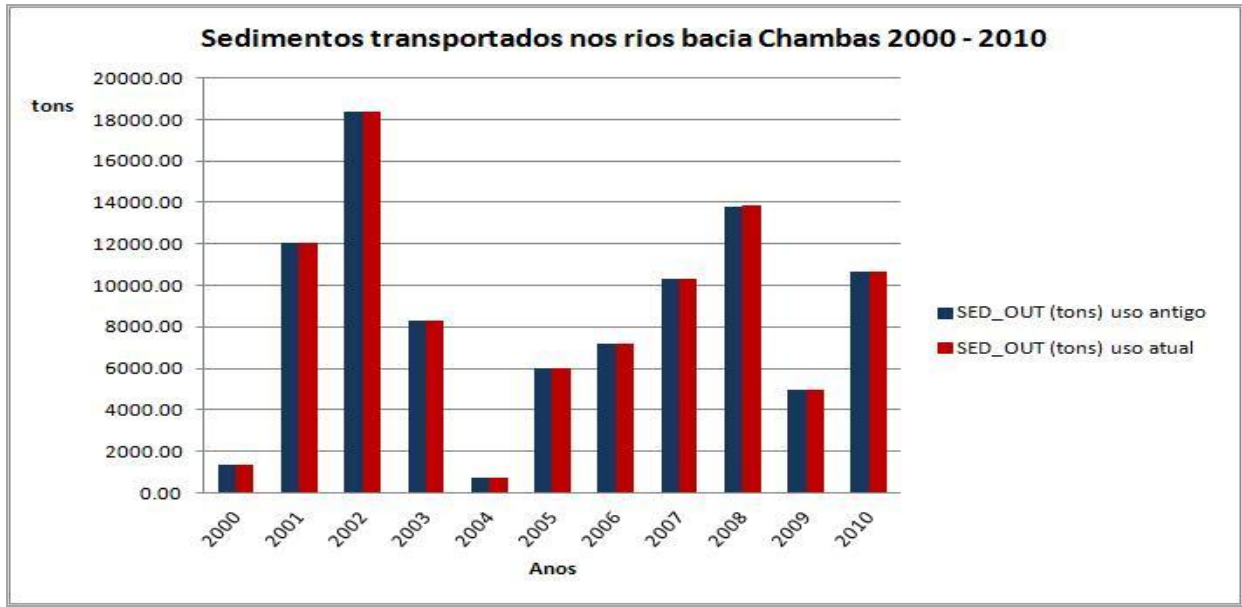


Figura 7.20 Comportamento anual do transporte de sedimentos na bacia Chambas no período 2000 - 2010.

Nos cenários futuros 3 e 4, o transporte de sedimentos nos rios principais, conforme tabela 7.28 e figura 7.21, mostra valores máximos no ano 2017 (9.124,28 tons) e mínimos em 2019 (1.335,60 tons) para o uso da terra atual.

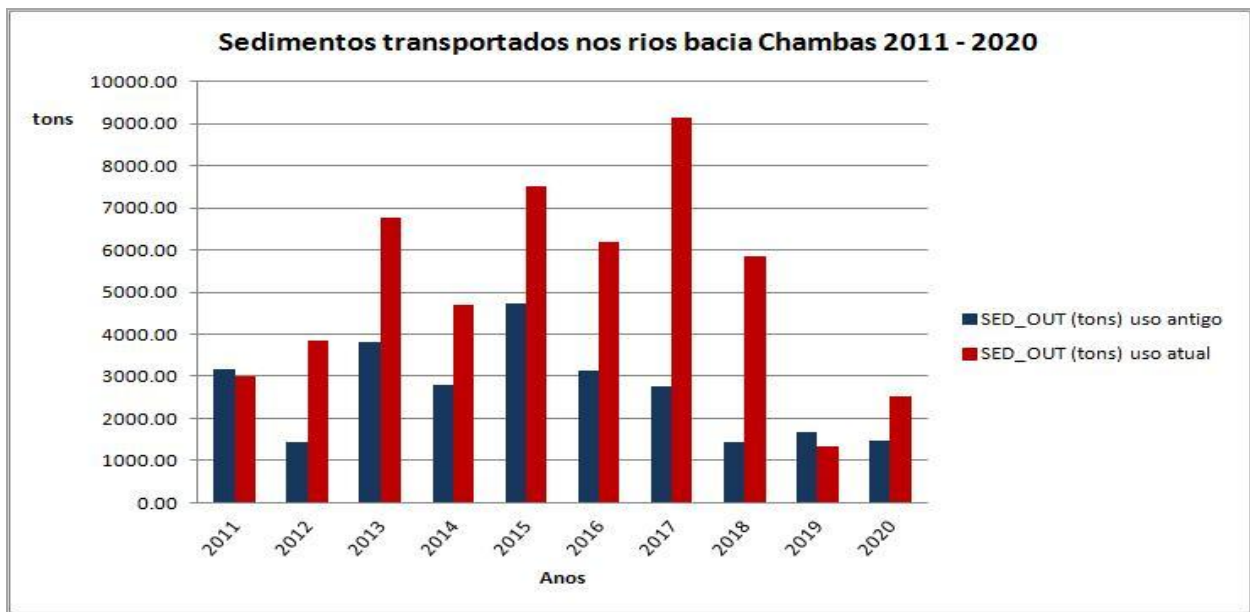


Figura 7.21 Comportamento anual do transporte de sedimentos na bacia Chambas no período 2011 - 2020.

Comparando a vazão média diária de saída e o transporte de sedimentos de saída anual, conforme as Tabelas 7.25, 7.26, 7.27 e 7.28, pode-se constatar a dependência existente entre ambas variáveis, mostrando um comportamento proporcional. Desse modo, a quantidade de sedimentos transportados para fora da sub-bacia é função da velocidade da água no canal.

Também na análise do histograma sobre a distribuição da produção de sedimentos nas sub-bacias, conforme as figuras 7.11 e 7.12 com as figuras 7.20 e 7.21 com o comportamento do transporte de sedimentos nos rios principais, observou-se que a distribuição anual das variáveis analisadas é similar. Isto demonstra uma vez mais o controle das variações climáticas e o regime das precipitações sobre o comportamento anual das variáveis hidro-sedimentológicas.

7.4.2.2 Análise das mudanças entre os cenários.

A análise comparativa da vazão e da produção de sedimentos no canal nos cenários e as mudanças acontecidas entre eles podem ser vistas nas Tabelas 7.29 e 7.30. Neste caso foram consideradas as mudanças que podem estar relacionadas com as transformações no uso e ocupação do território.

Tabela 7.29 Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 1 e 2, período 2000 – 2010 ao nível dos rios principais.

Variáveis	uso antigo	uso atual	diferencia	%
FLOW_IN (m ³ /s)	0,73	0,73	0,00	-0,09
FLOW_OUT (m ³ /s)	0,73	0,73	0,00	-0,09
SED_IN (tons)	8.662,20	8.675,86	13,66	0,16
SED_OUT (tons)	8.510,92	8.524,09	13,17	0,15

Tabela 7.30 Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 3 e 4, período 2011 – 2020 ao nível dos rios principais.

Variáveis	Futuro uso antigo	Futuro uso atual	diferencia	%
FLOW_IN (m ³ /s)	0,40	0,55	0,15	36,30
FLOW_OUT (m ³ /s)	0,40	0,55	0,15	36,45
SED_IN (tons)	2.688,78	5.177,11	2.488,33	92,54
SED_OUT (tons)	2.642,59	5.087,28	2.444,69	92,51

Com relação à fase de propagação da água no canal, representada através da vazão líquida para os cenários, verifica-se na Tabela 7.29 uma leve tendência de diminuição da vazão com as mudanças de uso entre os cenários 1 e 2. Nos cenários futuros de previsão o incremento é muito maior (36,45 %), o que pode estar associado às mudanças no regime das precipitações para este cenário.

Observando os resultados de SED_OUT para os diferentes cenários nas tabelas 7.29 e 7.30 pode-se constatar que existe uma tendência no aumento da produção de sedimentos nos canais entre os cenários 1 e 2, com 0.15% de incremento. Isto é devido à ausência de mata ciliar em segmentos do rio principal Chambas, com solos expostos, o que incrementa as taxas de erosão. Nos cenários de previsão se espera um incremento considerável desta variável em 92.51 % que pode estar relacionada com o incremento das precipitações em geral e, portanto, incremento da vazão num 36.45% no canal. Este aumento também pode ser influenciado por uma menor estabilidade nas etapas de crescimento das culturas que incrementa a velocidade do fluxo.

Fazendo uma análise dos resultados no comportamento anual da produção de sedimentos, tanto na fase de bacia como na fase do canal, conforme as figuras 7.13 e 7.22, nota-se que a transferência dos sedimentos da bacia para dentro do canal é evidente; ou seja, o comportamento da transferência dos sedimentos na tendência anual está mais relacionado às mudanças climáticas e à oscilação dos períodos chuvosos e de seca.

Ao contrário do esperado com as mudanças de uso, sobretudo na seção inferior e média da bacia Chambas, a produção de sedimentos, ou seja, os procesos erosivos, não mostram incrementos consideráveis nos cenários 1 e 2. Isto permite concluir que a redução das áreas de cana-de-açúcar e a sua substituição ou incremento de outras culturas permanentes foi favorável para a estabilidade dos solos na bacia. Pelo contrário, nos cenários futuros de previsão o incremento da erosão esperada é muito grande (92,51%).

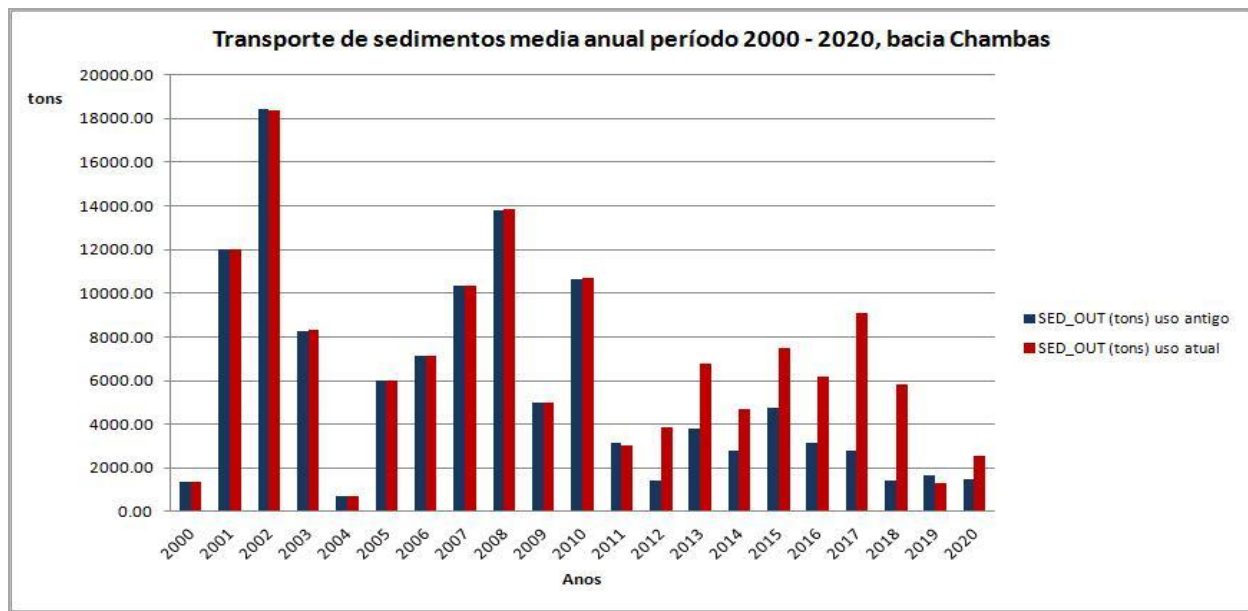


Figura 7.22 Transporte de sedimentos no nível dos rios principais, período 2000 – 2020, bacia Chambas.

Comparando o transporte de sedimentos no nível dos rios principais para todo o período de simulação (20 anos), conforme Figura 7.22, se observa uma tendência geral ao aumento na condição real e hipotética com o uso da terra atual.

7.4.2.3 Análise mensal dos resultados de SWAT nos rios principais

Para a análise das saídas mensais geradas pelo SWAT elaboraram-se os resumos com as médias mensais das variáveis analisadas para os rios principais da bacia em cada cenário de estudo, conforme mostrado nas tabelas 7.31, 7.32, 7.33 e 7.34. As variáveis analisadas são as mesmas da análise anual dos rios principais.

Tabela 7.31 Resumo das médias mensais nos rios principais para o período 2000 - 2010 e uso da terra antigo (cenário 1).

Meses	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
1	0,22	0,22	18,38	19,30
2	0,19	0,19	310,20	302,84
3	0,19	0,19	261,12	254,49
4	0,27	0,27	353,86	345,82
5	0,91	0,91	1.485,66	1.457,31
6	1,34	1,34	1.197,93	1.180,73
7	0,86	0,86	382,04	378,55
8	1,02	1,02	836,07	821,87
9	1,39	1,38	2.206,42	2.163,59
10	1,04	1,04	720,69	710,50
11	0,84	0,84	764,99	750,99
12	0,49	0,49	124,76	124,88

Tabela 7.32 Resumo das médias mensais nos rios principais para o período 2000 - 2010 e uso da terra atual (cenário 2).

Meses	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
1	0,22	0,22	18,40	19,32
2	0,19	0,19	312,55	305,11
3	0,19	0,19	261,78	255,12
4	0,27	0,27	353,12	345,09
5	0,91	0,90	1.478,66	1.450,45
6	1,34	1,34	1.190,11	1.172,94
7	0,86	0,86	379,80	376,35
8	1,01	1,01	833,40	819,22
9	1,38	1,38	2.210,90	2.167,91
10	1,03	1,03	724,38	714,08
11	0,84	0,84	765,35	751,30
12	0,49	0,49	125,22	125,35

Tabela 7.33 Resumo das médias mensais nos rios principais para o período 2011 - 2020 e uso da terra antigo (cenário 3).

Meses	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
1	0,09	0,09	4,50	4,94
2	0,06	0,06	4,57	4,57
3	0,05	0,04	30,64	29,53
4	0,04	0,04	4,58	4,44
5	0,12	0,12	110,12	107,60
6	0,50	0,50	408,30	399,03
7	0,61	0,61	292,55	286,78
8	0,80	0,79	652,92	641,65
9	0,91	0,90	645,43	632,69
10	0,83	0,83	298,86	295,51
11	0,59	0,59	223,82	222,21
12	0,23	0,22	12,50	13,65

Tabela 7.34 Resumo das médias mensais nos rios principais para o período 2011 - 2020 e uso da terra atual (cenário 4).

Meses	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
1	0,12	0,12	15,63	15,88
2	0,09	0,09	37,30	36,15
3	0,07	0,07	31,68	30,52
4	0,08	0,08	46,68	45,24
5	0,25	0,25	266,40	260,86
6	0,97	0,97	972,76	953,72
7	0,93	0,93	795,62	781,84
8	1,03	1,03	1.079,08	1.059,42
9	1,12	1,12	1.068,08	1.048,04
10	1,03	1,03	790,69	777,97
11	0,62	0,62	60,08	63,04
12	0,26	0,25	13,07	14,66

A análise dos resultados mensais da vazão média diária mensal de saída e o transporte de sedimentos de saída dos rios principais permite fazer uma avaliação

relativa da variação e distribuição ao longo dos meses nos quatro cenários simulados para a bacia Chambas.

Neste contexto, a análise geral dos cenários mostra um comportamento similar na produção de sedimentos, conforme as Figuras 7.23 e 7.24. Estes alcançam os máximos valores de SED_OUT nos meses de Maio a Outubro (o período úmido) com valores máximos de 2.167,91 tons no mês de Setembro no cenário 2 (Tabela 7.32) e com previsão de 1.059,42 tons no mês de Agosto do cenário 4 (Tabela 7.34). Em geral, estes valores coincidem com os máximos valores de vazão de cada cenário respectivamente e podem estar associados a eventos extremos, como é o caso dos ciclones tropicais na estação chuvosa no verão.

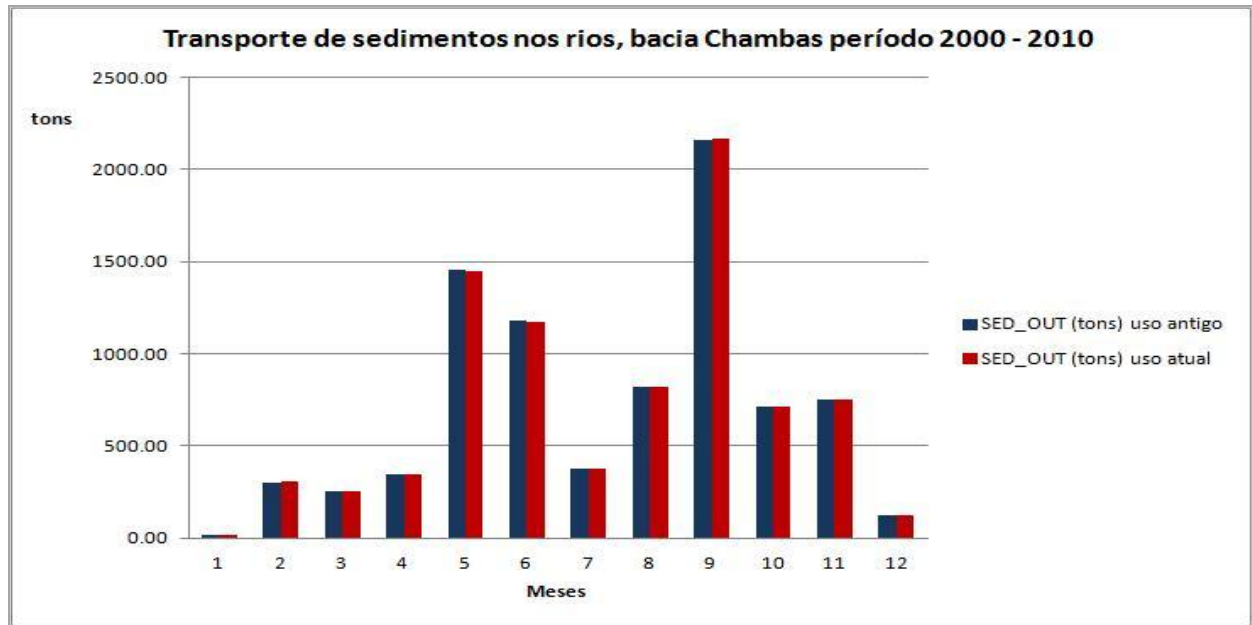


Figura 7.23 Comportamento mensal do transporte de sedimentos de saída dos rios principais na bacia Chambas no período 2000 - 2010.

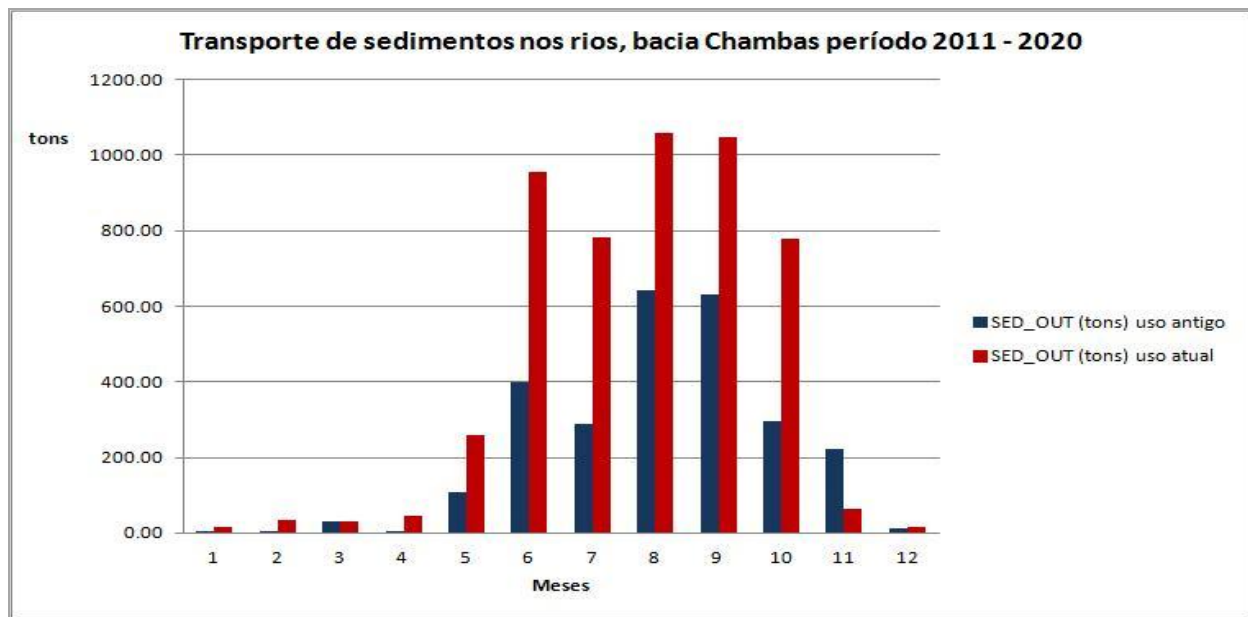


Figura 7.24 Comportamento mensal do transporte de sedimentos de saída dos rios principais na bacia Chambas no período 2011 - 2020.

Comparando os histogramas mensais da produção de sedimentos ao nível de sub-bacias, conforme as Figuras 7.14 e 7.15 e a distribuição do transporte de sedimentos ao nível dos rios principais, das Figuras 7.23 e 7.24, o comportamento das variáveis em cada um dos cenários é similar, o que mostra a influência das mudanças estacionais e alternância dos períodos chuvosos e secos durante o ano.

Analisando as médias mensais dos rios principais nas estações do ano para cada cenário, conforme as tabelas 7.35, 7.36, 7.37 e 7.38, observa-se que nos cenários reais na época da seca o valor do transporte de sedimentos é levemente maior (300,21 tons) no cenário 2 sob uso da terra atual. Em contrapartida, no cenário 1 sob uso da terra antigo, o transporte de sedimentos é levemente maior (1.118,76 tons) na época úmida.

Nos cenários futuros na época seca o transporte de sedimentos se incrementa com o uso da terra antigo (cenário 3) com valor de 46,56 tons, e na estação úmida o cenário 4 com o uso da terra atual sofre um incremento nas taxas de erosão (813,64 tons).

Tabela 7.35 Médias mensais para cada estação do cenário 1, bacia Chambas.

Cenário 1 (Estações)	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
Real uso antigo (seca)	0,37	0,37	305,55	299,72
Real uso antigo (úmida)	1,09	1,09	1.138,13	1.118,76

Tabela 7.36 Médias mensais para cada estação do cenário 2, bacia Chambas.

Cenário 2 (Estações)	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
Real uso atual (seca)	0,37	0,37	306,07	300,21
Real uso atual (úmida)	1,09	1,09	1.136,21	1.116,82

Tabela 7.37 Médias mensais para cada estação do cenário 3, bacia Chambas.

Cenário 3 (Estações)	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
Futuro uso antigo (seca)	0,17	0,17	46,77	46,56
Futuro uso antigo (úmida)	0,63	0,63	401,36	393,88

Tabela 7.38 Médias mensais para cada estação do cenário 4, bacia Chambas.

Cenário 4 (Estações)	FLOW_IN (m3/s)	FLOW_OUT (m3/s)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
Futuro uso atual (seca)	0,21	0,21	34,07	34,25
Futuro uso atual (úmida)	0,89	0,89	828,77	813,64

7.4.2.4 Visualização da distribuição espacial dos resultados no transporte de sedimentos para cada rio principal nos diferentes cenários de estudo.

As saídas da modelagem no SWAT sobre a quantidade de sedimentos que são transportados para fora das sub-bacias pelos rios anualmente podem ser vistas no Apêndice 6, com os valores absolutos para cada ano por cada segmento de rio.

A análise dos valores médios do transporte de sedimentos de saída (SED_OUT), para cada um dos canais principais no período da simulação, mostra uma tendência similar nos cenários de estudo, onde os rios de maior produção de sedimentos estão associados aos segmentos do rio principal de bacia (rio Chambas), conforme as figuras 7.25 e 7.26.

Assim, algumas sub-bacias como a 1, 51, 58, 59, 63 e 64, por exemplo, apresentam valores superiores a 40.000 toneladas anuais, conforme se observa na Figura 7.25. Todas elas estão localizadas na seção média e inferior da bacia Chambas, vinculadas ao rio principal (rio Chambas) e mais antigo. A sub-bacia 58 mostra os máximos valores em todos os anos da simulação com um máximo absoluto de 118.800 toneladas para o ano 2002 (Apêndice 6) onde a vazão de pico é máxima também. Neste caso, o comportamento anual do transporte de sedimentos se deve à localização desta sub-bacia na seção média da bacia onde a declividade apresenta os valores máximos associados às serras cársticas. Além disso, os rios mais caudalosos da bacia Chambas tributam neste segmento do rio principal.

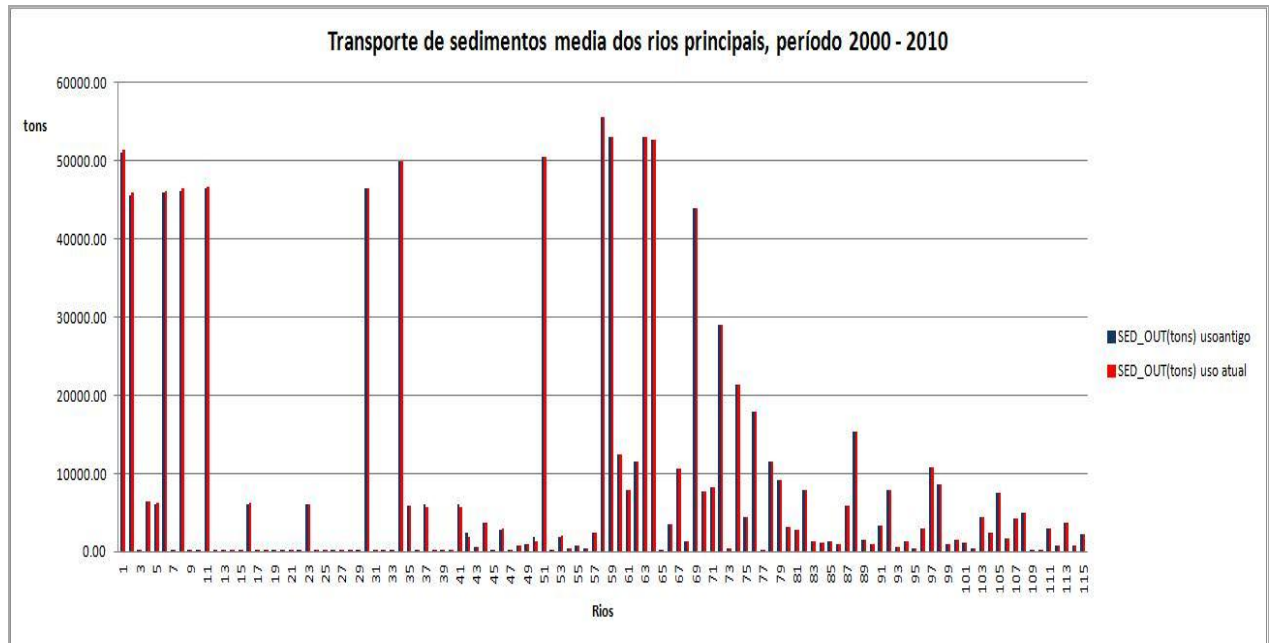


Figura 7.25 Comportamento anual do transporte de sedimentos média nos rios principais da bacia Chambas, no período 2000 - 2010.

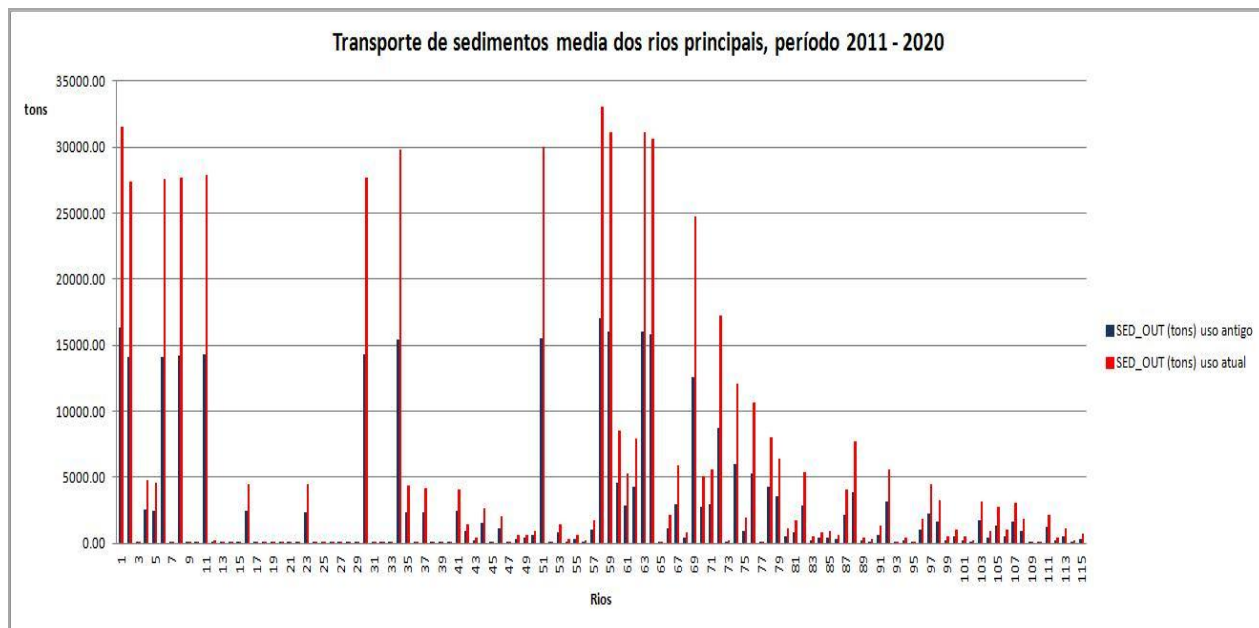


Figura 7.26 Comportamento anual do transporte de sedimentos média nos rios principais da bacia Chambas, no período 2011 - 2020.

Para a representação espacial e temporal da variável transporte de sedimentos de saída dos rios principais na bacia Chambas, foram utilizadas 5 classes a partir da quantidade de sedimentos que transporta cada segmento do rio para os diferentes cenários de estudo (tabela. 7.39).

Tabela 7.39 Classes de perda de solos por transporte de sedimentos nos rios principais para a bacia Chambas.

No.	Valor (tons)	Classes
1	0,0 – 4.091,00	Muito leve
2	4.091,0 – 11.630,00	Leve
3	11.630,01 – 30.850,00	Tolerável
4	30.850,01 – 63.760,00	Alto
5	63.760,01 – 118.800,00	Muito alto

A visualização espacial do transporte de sedimentos foi realizada com base na utilização dos cenários 2 e 4 (Figuras 7.27 e 7.28), o que permite algumas constatações; dentre elas a variação espacial e temporal no transporte de sedimentos

dos rios principais segue uma tendência semelhante nos cenários representados.

No nível de sub-bacias, considerando os processos de produção de sedimentos, tanto na fase terrestre como de canal (Figuras 7.16 e 7.17 com a 7.25 e 7.26), e analisando a distribuição espacial dos processos na produção de sedimentos (Figuras 7.18 e 7.19 com as 7.27 e 7.28), pode-se dizer que o modelo tem um bom desempenho pois descreve os processos hidrosedimentológicos próprios da dinâmica fluvial e, conseqüentemente, aos da natureza. Assim, podemos observar a conexão e a concatenação entre as sub-bacias onde predominam os processos erosivos e as que predominam os processos acumulativos, seguindo a lógica destes processos.

Transporte de sedimentos no cenário 2 período 2000 - 2010, Bacia Chambas

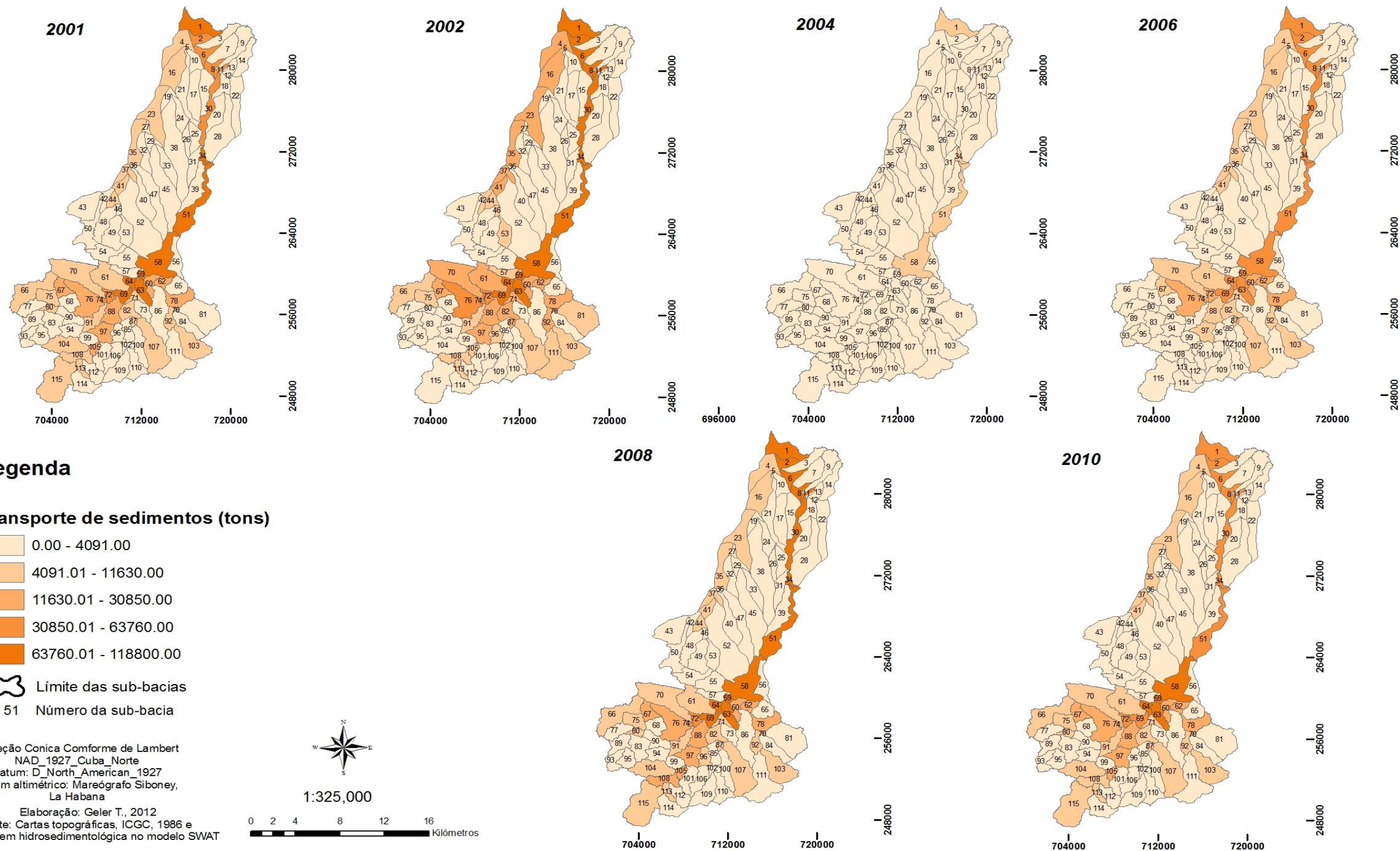


Figura 7.27 Transporte de sedimentos no nível dos rios principais, no cenário 2, bacia Chambas período 2000 - 2010.

Transporte de sedimentos no cenário 4 período 2011 - 2020, Bacia Chambas

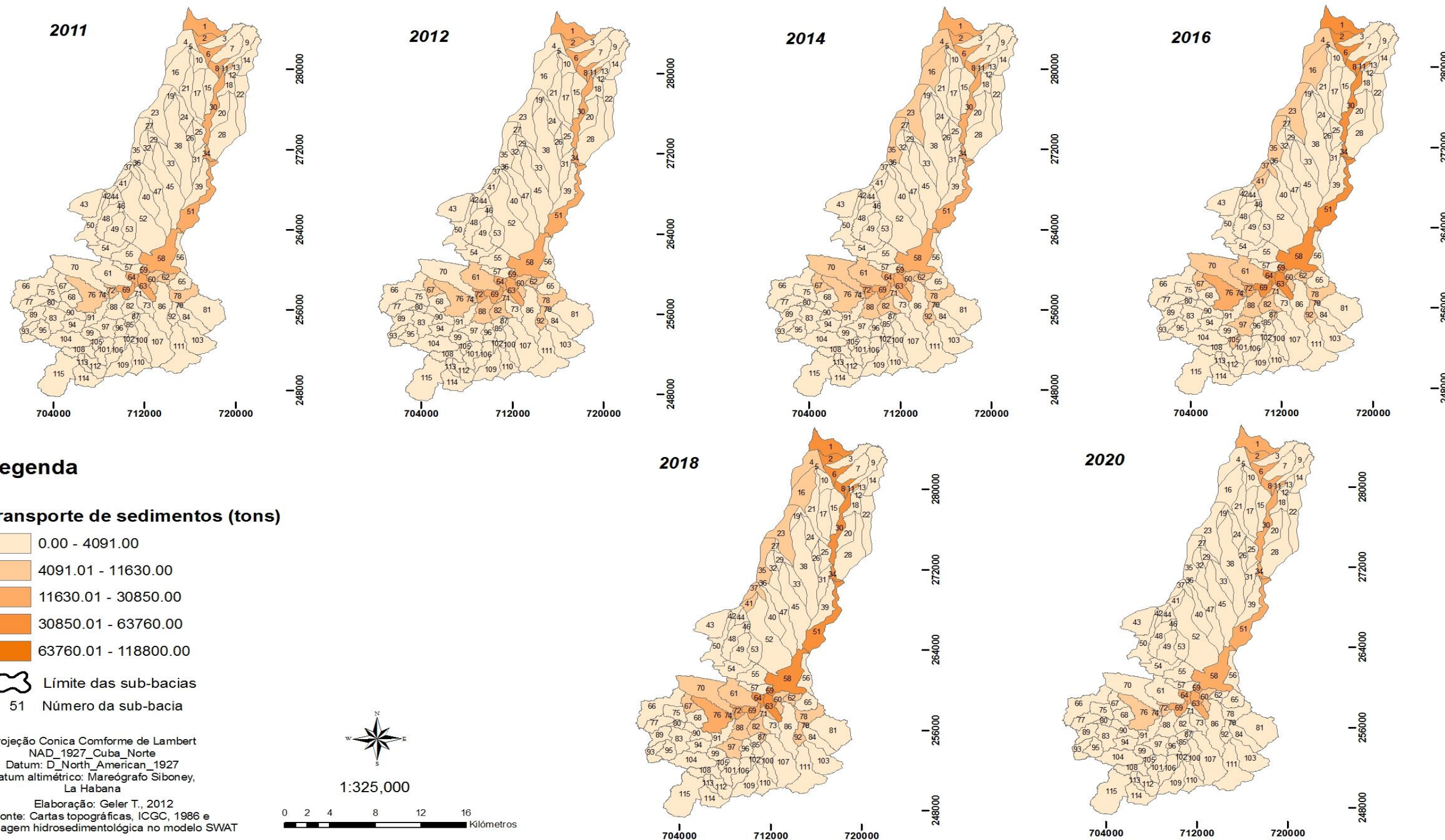


Figura 7.28 Transporte de sedimentos no nível dos rios principais, no cenário 4, bacia Chambas período 2011 - 2020.

7.4.3 Análise de cenários ao nível dos reservatórios

No caso dos reservatórios o SWAT também proporciona um conjunto de variáveis de saída como resultado das simulações. As variáveis de saída que foram selecionadas na nossa análise são mostradas na tabela 7.40.

Tabela 7.40 Algumas das variáveis de saída do SWAT para os reservatórios.

Nome da variável	Definição
RES	Número do reservatório.
YEAR	Período de tempo diário: a data Juliana, período do tempo mensal: o mês (1-12). Intervalo de tempo anual: ano com quatro dígitos.
VOLUME	Volume de água no reservatório no final do intervalo de tempo (m ³ H ₂ O).
FLOW_IN	Vazão média de entrada no reservatório no intervalo de tempo (m ³ /s H ₂ O).
FLOW_OUT	Vazão média de saída do reservatório no intervalo de tempo (m ³ /s H ₂ O).
PRECIP	Precipitação caindo diretamente no reservatório no intervalo de tempo (m ³ H ₂ O).
EVAP	A evaporação a partir do reservatório no intervalo de tempo (m ³ H ₂ O).
SED_IN	Entrada de sedimentos no Reservatório (toneladas métricas). Sedimento transportado para dentro do reservatório no intervalo de tempo.
SED_OUT	Saída de sedimentos do reservatório (toneladas métricas). Sedimento transportado para fora do reservatório no intervalo de tempo.

Destaca-se que, no caso da bacia Chambas, os reservatórios foram incorporados desde o início da simulação para todos os cenários de estudo.

Para a organização do trabalho e das saídas do SWAT os reservatórios são numerados consecutivamente na sua entrada e são relacionados diretamente com a bacia onde está localizado. Para a orientação do leitor foi elaborada a Tabela 7.41, com a identificação dos reservatórios considerados na modelagem de Chambas. A localização espacial dos reservatórios pode ser vista no mapa hidrológico da Figura 7.3.

Tabela 7.41 Identificação dos reservatórios em SWAT

No. em SWAT	Sub-bacia	Nome do reservatório
1	60	Cañada Blanca
2	71	Chambas II

7.4.3.1 Análise anual dos resultados de SWAT nos reservatórios.

Para facilitar a análise dos resultados das saídas para os reservatórios foram confeccionados resumos das variáveis com os valores médios anuais para cada um conforme as tabelas 7.42, 7.43, 7.44, 7.45, 7.46, 7.47, 7.48 e 7.49.

Tabela 7.42 Resumo das médias anuais para o reservatório Cañada Blanca no período 2000-2010 e uso da terra antigo.

RES	YEAR	VOLUME (m ³)	FLOW_IN (m ³ /s)	FLOW_OUT (m ³ /s)	PRECIP (m ³)	EVAP (m ³)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
1	2000	1.000.000,00	0,18	0,16	5.233.000,00	5.926.000,00	1.851,00	15,83
1	2001	4.545.000,00	0,40	0,27	7.347.000,00	7.947.000,00	9.106,00	39,13
1	2002	21.150.000,00	0,83	0,46	16.500.000,00	11.370.000,00	20.810,00	44,74
1	2003	13.480.000,00	0,42	0,60	11.710.000,00	13.790.000,00	8.669,00	24,34
1	2004	434,50	0,07	0,27	2.675.000,00	10.060.000,00	872,70	6,64
1	2005	1.077.000,00	0,25	0,19	4.144.000,00	5.003.000,00	5.469,00	33,30
1	2006	2.000.000,00	0,43	0,38	9.131.000,00	9.743.000,00	8.544,00	31,65
1	2007	8.683.000,00	0,57	0,41	11.860.000,00	10.190.000,00	10.740,00	41,89
1	2008	2.465.000,00	0,32	0,42	6.946.000,00	9.752.000,00	10.280,00	35,01
1	2009	826.200,00	0,26	0,23	4.946.000,00	7.661.000,00	5.197,00	32,47
1	2010	747.500,00	0,31	0,22	6.134.000,00	9.228.000,00	8.474,00	50,86

Tabela 7.43 Resumo das médias anuais para o reservatório Cañada Blanca no período 2000-2010 e uso da terra atual.

RES	YEAR	VOLUME (m ³)	FLOW_IN (m ³ /s)	FLOW_OUT (m ³ /s)	PRECIP (m ³)	EVAP (m ³)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
1	2000	1.000.000,00	0,18	0,16	5.233.000,00	5.926.000,00	1.851,00	15,83
1	2001	4.545.000,00	0,40	0,27	7.347.000,00	7.947.000,00	9.106,00	39,13
1	2002	21.150.000,00	0,83	0,46	16.500.000,00	11.370.000,00	20.810,00	44,74
1	2003	13.480.000,00	0,42	0,60	11.710.000,00	13.790.000,00	8.669,00	24,34
1	2004	434,50	0,07	0,27	2.675.000,00	10.060.000,00	872,70	6,64
1	2005	1.077.000,00	0,25	0,19	4.144.000,00	5.003.000,00	5.469,00	33,30
1	2006	2.000.000,00	0,43	0,38	9.131.000,00	9.743.000,00	8.544,00	31,65
1	2007	8.683.000,00	0,57	0,41	11.860.000,00	10.190.000,00	10.740,00	41,89
1	2008	2.465.000,00	0,32	0,42	6.946.000,00	9.752.000,00	10.280,00	35,01
1	2009	826.200,00	0,26	0,23	4.946.000,00	7.661.000,00	5.197,00	32,47
1	2010	747.500,00	0,31	0,22	6.134.000,00	9.228.000,00	8.474,00	50,86

Tabela 7.44 Resumo das médias anuais para o reservatório Cañada Blanca no período 2011-2020 e uso da terra antigo.

RES	YEAR	VOLUME (m ³)	FLOW_IN (m ³ /s)	FLOW_OUT (m ³ /s)	PRECIP (m ³)	EVAP (m ³)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
1	2011	936.700,00	0,24	0,22	6.133.000,00	6.930.000,00	3.310,00	26,63
1	2012	477.900,00	0,15	0,09	4.274.000,00	6.459.000,00	1.701,00	11,31
1	2013	933.600,00	0,30	0,29	6.999.000,00	6.981.000,00	4.449,00	35,46
1	2014	708.200,00	0,23	0,19	5.957.000,00	7.610.000,00	2.900,00	18,23
1	2015	906.100,00	0,30	0,30	6.906.000,00	6.706.000,00	5.454,00	27,19
1	2016	821.000,00	0,20	0,16	4.744.000,00	5.979.000,00	3.098,00	18,59
1	2017	939.600,00	0,25	0,23	6.782.000,00	7.080.000,00	3.299,00	25,55
1	2018	809.900,00	0,15	0,08	5.555.000,00	7.751.000,00	1.773,00	9,26
1	2019	556.500,00	0,08	0,02	2.510.000,00	4.862.000,00	1.754,00	2,81
1	2020	843.000,00	0,17	0,14	4.765.000,00	5.435.000,00	1.686,00	12,83

Tabela 7.45 Resumo das médias anuais para o reservatório Cañada Blanca no período 2011-2020 e uso da terra atual.

RES	YEAR	VOLUME (m ³)	FLOW_IN (m ³ /s)	FLOW_OUT (m ³ /s)	PRECIP (m ³)	EVAP (m ³)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
1	2011	780.400,00	0,23	0,19	5.476.000,00	6.984.000,00	3.990,00	27,63
1	2012	430.800,00	0,23	0,18	5.000.000,00	6.978.000,00	4.540,00	23,22
1	2013	2.918.000,00	0,40	0,35	8.587.000,00	7.694.000,00	7.398,00	29,12
1	2014	652.400,00	0,27	0,27	5.937.000,00	8.120.000,00	5.193,00	32,74
1	2015	4.910.000,00	0,42	0,32	9.753.000,00	8.644.000,00	8.444,00	32,89
1	2016	742.300,00	0,26	0,32	6.008.000,00	8.450.000,00	6.045,00	25,23
1	2017	3.464.000,00	0,38	0,32	9.639.000,00	8.895.000,00	9.807,00	33,24
1	2018	929.700,00	0,32	0,37	8.630.000,00	9.678.000,00	6.607,00	32,04
1	2019	553.200,00	0,10	0,02	3.543.000,00	6.463.000,00	1.611,00	1,84
1	2020	806.200,00	0,20	0,15	5.113.000,00	6.174.000,00	2.838,00	20,69

Tabela 7.46 Resumo das médias anuais para o reservatório Chambas II no período 2000-2010 e uso da terra antigo.

RES	YEAR	VOLUME (m ³)	FLOW_IN (m ³ /s)	FLOW_OUT (m ³ /s)	PRECIP (m ³)	EVAP (m ³)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
2	2000	4.878.000,00	0,43	0,28	6.196.000,00	7.024.000,00	3.099,00	18,75
2	2001	19.280.000,00	0,91	0,49	7.597.000,00	6.314.000,00	14.300,00	36,39
2	2002	29.840.000,00	1,85	1,73	14.400.000,00	7.632.000,00	30.850,00	300,10
2	2003	29.810.000,00	0,97	1,03	9.358.000,00	7.669.000,00	13.470,00	96,48
2	2004	11.690.000,00	0,19	0,60	3.085.000,00	8.088.000,00	1.312,00	18,19
2	2005	9.851.000,00	0,57	0,58	5.359.000,00	6.788.000,00	8.181,00	32,01
2	2006	24.490.000,00	1,00	0,60	9.169.000,00	7.118.000,00	12.810,00	30,15
2	2007	29.660.000,00	1,29	1,27	11.330.000,00	6.921.000,00	16.450,00	85,13
2	2008	29.720.000,00	0,73	0,76	8.184.000,00	7.276.000,00	15.550,00	45,55
2	2009	28.590.000,00	0,61	0,60	6.429.000,00	7.940.000,00	7.743,00	20,16
2	2010	28.700.000,00	0,73	0,72	7.661.000,00	7.754.000,00	13.070,00	46,60

Tabela 7.47 Resumo das médias anuais para o reservatório Chambas II no período 2000-2010 e uso da terra atual.

RES	YEAR	VOLUME (m ³)	FLOW_IN (m ³ /s)	FLOW_OUT (m ³ /s)	PRECIP (m ³)	EVAP (m ³)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
2	2000	4.882.000,00	0,43	0,28	6.192.000,00	7.009.000,00	3.099,00	18,77
2	2001	19.240.000,00	0,91	0,49	7.475.000,00	6.228.000,00	14.300,00	36,43
2	2002	29.850.000,00	1,85	1,72	13.900.000,00	7.371.000,00	30.850,00	294,60
2	2003	29.820.000,00	0,97	1,02	9.016.000,00	7.389.000,00	13.470,00	95,96
2	2004	11.860.000,00	0,19	0,60	2.986.000,00	7.827.000,00	1.312,00	18,18
2	2005	9.862.000,00	0,57	0,59	5.307.000,00	6.701.000,00	8.181,00	32,07
2	2006	24.450.000,00	1,00	0,60	8.916.000,00	6.916.000,00	12.810,00	30,13
2	2007	29.670.000,00	1,29	1,26	10.920.000,00	6.674.000,00	16.450,00	83,77
2	2008	29.730.000,00	0,73	0,76	7.899.000,00	7.020.000,00	15.550,00	44,26
2	2009	28.650.000,00	0,61	0,60	6.203.000,00	7.657.000,00	7.743,00	20,15
2	2010	28.710.000,00	0,73	0,72	7.384.000,00	7.472.000,00	13.070,00	46,55

Tabela 7.48 Resumo das médias anuais para o reservatório Chambas II no período 2011-2020 e uso da terra antigo.

RES	YEAR	VOLUME (m ³)	FLOW_IN (m ³ /s)	FLOW_OUT (m ³ /s)	PRECIP (m ³)	EVAP (m ³)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
2	2011	7.666.000,00	0,57	0,41	7.067.000,00	8.967.000,00	5.296,00	23,60
2	2012	877.100,00	0,36	0,44	5.608.000,00	9.966.000,00	2.814,00	25,60
2	2013	9.826.000,00	0,69	0,38	7.417.000,00	8.129.000,00	6.758,00	29,09
2	2014	5.677.000,00	0,55	0,57	7.029.000,00	10.410.000,00	4.809,00	28,22
2	2015	12.180.000,00	0,69	0,42	7.997.000,00	10.130.000,00	8.261,00	25,62
2	2016	6.032.000,00	0,48	0,53	6.331.000,00	10.770.000,00	4.993,00	26,82
2	2017	8.723.000,00	0,61	0,46	8.002.000,00	10.010.000,00	5.282,00	23,21
2	2018	1.190.000,00	0,39	0,52	6.461.000,00	9.749.000,00	2.757,00	26,54
2	2019	813.200,00	0,23	0,14	4.030.000,00	7.301.000,00	2.610,00	16,41
2	2020	4.178.000,00	0,41	0,26	5.702.000,00	7.116.000,00	2.760,00	20,33

Tabela 7.49 Resumo das médias anuais para o reservatório Chambas II no período 2011-2020 e uso da terra atual.

RES	YEAR	VOLUME (m ³)	FLOW_IN (m ³ /s)	FLOW_OUT (m ³ /s)	PRECIP (m ³)	EVAP (m ³)	SED_IN (tons)	SED_OUT (tons)
2	2011	6.069.000,00	0,54	0,49	6.593.000,00	10.230.000,00	6.105,00	27,49
2	2012	5.617.000,00	0,55	0,45	6.628.000,00	10.290.000,00	6.975,00	27,91
2	2013	18.250.000,00	0,91	0,47	8.830.000,00	9.913.000,00	11.260,00	33,16
2	2014	15.550.000,00	0,63	0,60	7.788.000,00	11.540.000,00	8.054,00	22,99
2	2015	26.510.000,00	0,98	0,60	10.650.000,00	11.540.000,00	12.780,00	24,05
2	2016	22.250.000,00	0,61	0,60	7.648.000,00	12.220.000,00	9.160,00	18,46
2	2017	28.880.000,00	0,91	0,67	10.850.000,00	11.760.000,00	14.750,00	27,32
2	2018	28.540.000,00	0,76	0,71	9.946.000,00	11.800.000,00	10.080,00	29,17
2	2019	11.510.000,00	0,25	0,60	5.765.000,00	11.800.000,00	2.403,00	15,01
2	2020	4.940.000,00	0,47	0,57	6.314.000,00	9.875.000,00	4.335,00	26,66

Os reservatórios têm uma função importante no abastecimento de água e no controle de enchentes. Na modelagem em SWAT não existe diferenciação entre as estruturas naturais e as feitas pelo homem.

Neste ponto, verifica-se que a vazão que entra e sai de cada sub-bacia é diretamente influenciada pela existência dos açudes. Os açudes retêm água que normalmente escoaria, e levaria consigo os sedimentos.

Na bacia Chambas não foi feita uma simulação sem a presença de reservatórios, o que com certeza mudaria os valores de entrada e saída das sub-bacias onde estão localizados e as que estão à jusante dos reservatórios.

A vazão e concentração de sedimentos no reservatório podem originar-se através dos canais dos rios a montante, ou do escoamento superficial dentro da sub-bacia.

Embora neste trabalho não tenham sido considerados os dados observados sobre a deposição de sedimentos no reservatório, este modelo permitiu gerar dados, quantificar os processos que estão agindo nos reservatórios da bacia Chambas e fazer uma análise dos resultados da modelagem em geral.

Observando os valores médios anuais do reservatório Cañada Blanca, conforme tabelas 7.42, 7.43, 7.44 e 7.45, constata-se que a vazão líquida de entrada é superior à de saída para quase todos os anos, com a exceção dos anos 2003, 2004 e 2008 nos

cenários reais, e nos cenários de previsão nos anos 2016 e 2018. Esta constatação está em função das variações climáticas em todo o período simulado ou eventos extremos, como ciclones tropicais, por exemplo.

Tendo em conta que a carga de sedimentos transportada relaciona-se diretamente com a vazão no reservatório Cañada Blanca, conforme as figuras 7.29 e 7.30, os valores médios anuais de transporte de sedimentos dentro do reservatório respondem a uma distribuição similar aos valores máximos e mínimos de vazão de entrada observados nas tabelas 7.42 a 7.45. No caso dos valores de saída todos são muito menores que os valores de entrada, o que aponta a ocorrência de assoreamento neste reservatório. Segundo a previsão para o futuro este processo será mantido, porém com uma leve redução.

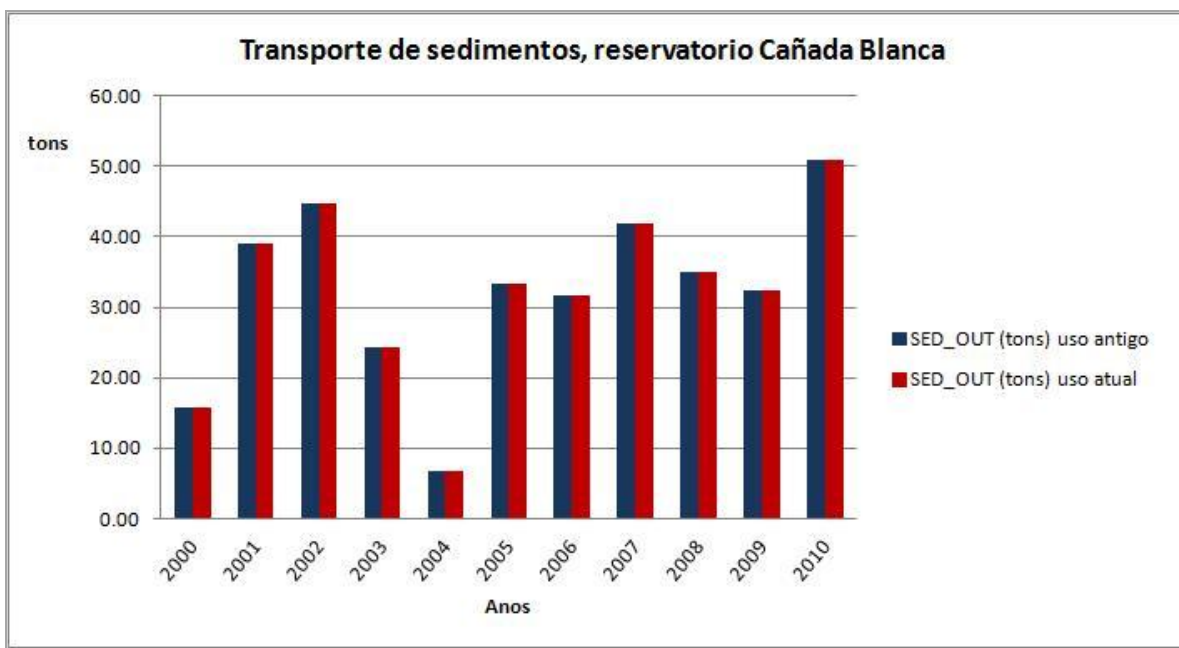


Figura 7.29 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Cañada Blanca no período 2000 - 2010.

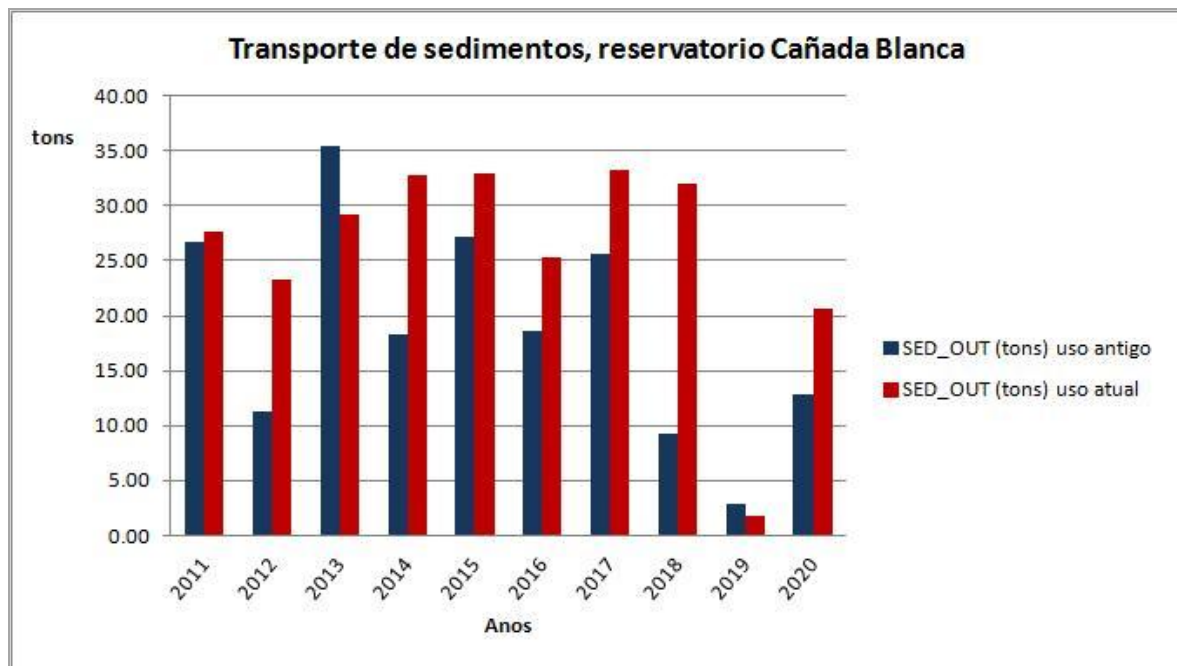


Figura 7.30 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Cañada Blanca no período 2011- 2020.

A análise dos valores médios anuais do reservatório Chambas II, conforme as tabelas 7.46, 7.47, 7.48 e 7.49, mostra que a vazão líquida de entrada e de saída tem um comportamento similar ao do reservatório Cañada Blanca. Em quase todos os anos a vazão de entrada é superior à de saída, com exceção do ano 2003, 2004 e 2008 e no cenário de previsão nos anos 2019 e 2020. Isto se relaciona com as variações climáticas em todo o período simulado ou eventos extremos como ciclones tropicais.

Analisando a carga de sedimentos transportados para fora do reservatório Chambas II, conforme as figuras 7.31 e 7.32, os valores médios anuais de transporte de sedimentos dentro do reservatório respondem a uma distribuição similar ao reservatório Cañada Blanca, mas com valores superiores. Os valores de saída de sedimentos são todos muito menores que os valores de entrada, também similares aos do reservatório Cañada Blanca.

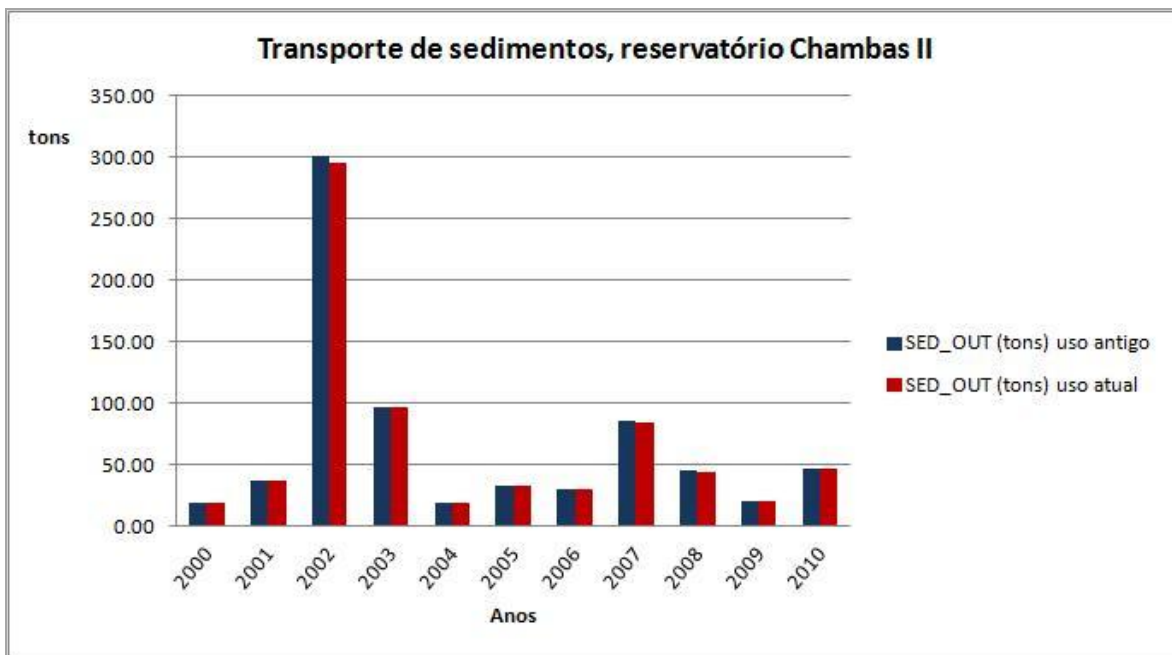


Figura 7.31 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Chambas II no período 2000 - 2010.

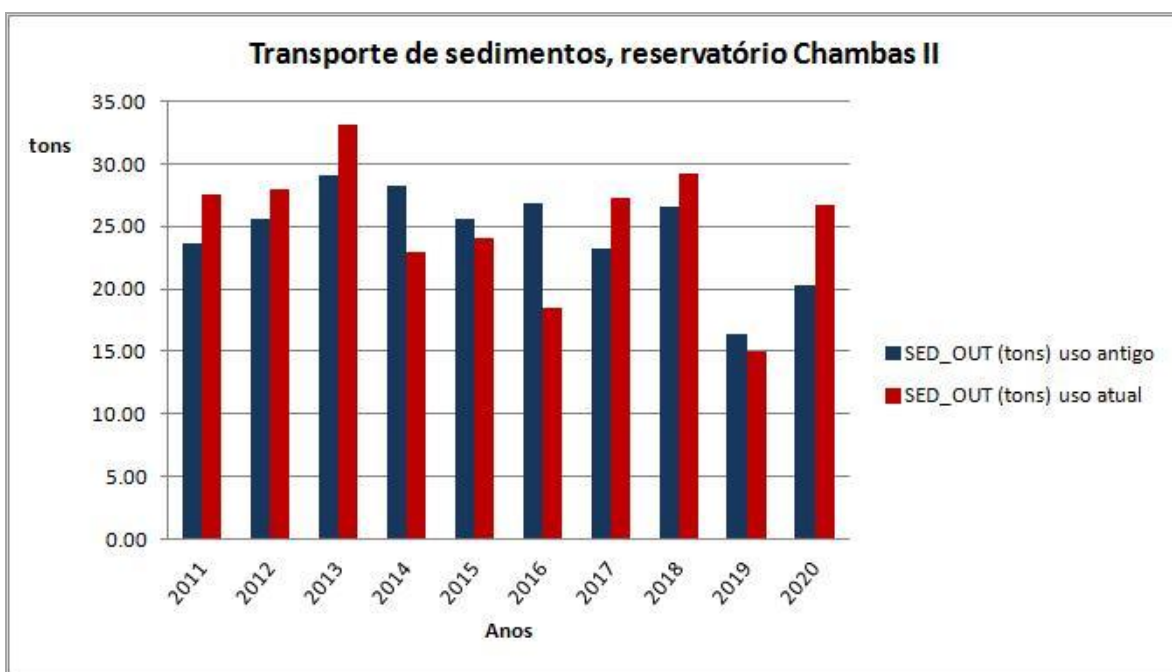


Figura 7.32 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Chambas II no período 2011- 2020.

7.4.3.2 Análise das mudanças entre os cenários.

Na análise dos valores médios anuais do reservatório Cañada Blanca para os diferentes cenários (tabelas 7.50 e 7.51), não se observam diferenças entre as variáveis nos cenários 1 e 2.

Tabela 7.50 Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 1 e 2 para o reservatório Cañada Blanca, período 2000 – 2010.

RES 1	Uso antigo	Uso atual	diferença	%
VOLUME (m ³)	5.088.557,68	5.088.557,68	0,00	0,00
FLOW_IN (m ³ /s)	0,37	0,37	0,00	0,00
FLOW_OUT (m ³ /s)	0,33	0,33	0,00	0,00
PRECIP (m ³)	7.875.090,91	7.875.090,91	0,00	0,00
EVAP (m ³)	9.151.818,18	9.151.818,18	0,00	0,00
SED_IN (tons)	8.182,97	8.182,97	0,00	0,00
SED_OUT (tons)	32,35	32,35	0,00	0,00

Em relação ao cenário de previsão estes percentuais sofrem um aumento, conforme mostra a Tabela 7.51, o que seria conveniente monitorar. Esta alta porcentagem, tendo em conta as mudanças de uso da terra, indica que é essencial realizar uma análise do está acontecendo nas sub-bacias a montante do reservatório e o manejo adequado das culturas, assim como, a conservação da faixa hidro-reguladora do reservatório.

Tabela 7.51 Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 3 e 4 para o reservatório Cañada Blanca, período 2011 – 2020.

RES 1	Futuro uso antigo	Futuro uso atual	diferença	%
VOLUME (m ³)	793.250,00	1.618.700,00	825.450,00	104,06
FLOW_IN (m ³ /s)	0,21	0,28	0,07	36,16
FLOW_OUT (m ³ /s)	0,17	0,25	0,08	44,97
PRECIP (m ³)	5.462.500,00	6.768.600,00	1.306.100,00	23,91
EVAP (m ³)	6.579.300,00	7.808.000,00	1.228.700,00	18,68
SED_IN (tons)	2.942,40	5.647,30	2.704,90	91,93
SED_OUT (tons)	18,79	25,86	7,08	37,68

A análise do comportamento do transporte de sedimentos para o reservatório Cañada Blanca nos quatro cenários, conforme a Figura 7. 33, mostra um incremento na quantidade de sedimentos de saída do reservatório (SED_OUT) para o cenário de previsão quando é utilizado o uso da terra atual.

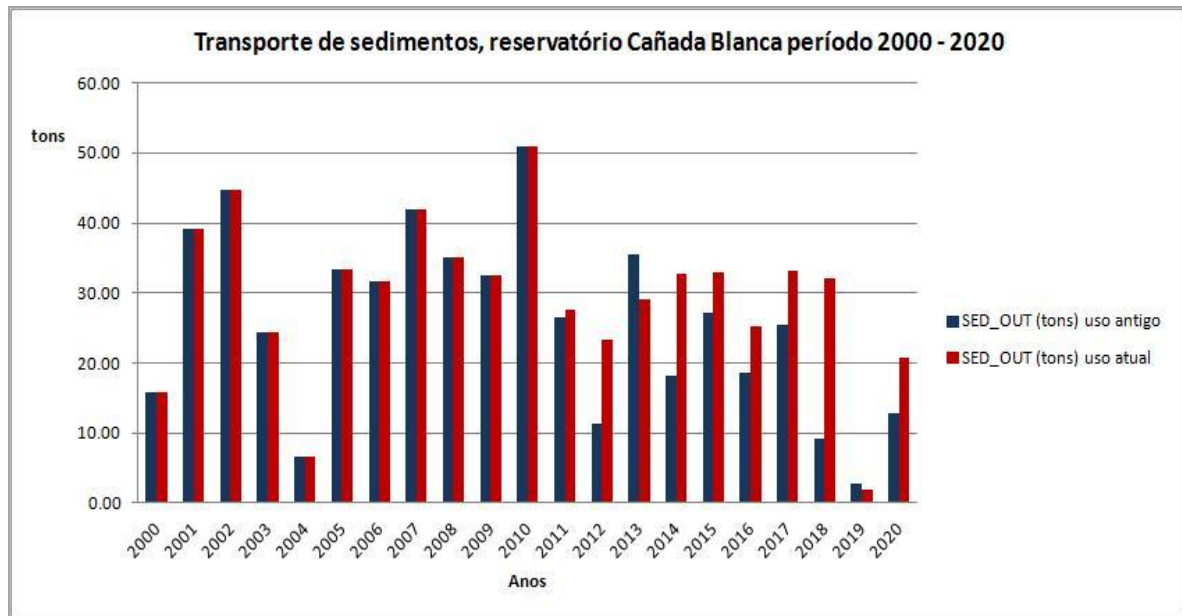


Figura 7.33 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Cañada Blanca no período 2000 - 2020.

Na análise dos valores médios anuais do reservatório Chambas II para os cenários 1 e 2 (condições reais), conforme Tabela 7.52, se observa uma diminuição de todos os valores da vazão e da produção de sedimentos, comparando os cenários 1 e 2. Tendo em conta as mudanças de uso da terra, este fato indica que existe uma conservação do reservatório. Isto é favorável para a vida útil do mesmo e representa uma medida de que o manejo das culturas a montante do reservatório Chambas II está sendo adequado e muito melhor do que no outro reservatório.

Tabela 7.52 Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 1 e 2 para o reservatório Chambas II, período 2000 – 2010.

RES 2	Uso antigo	Uso atual	diferença	%
VOLUME (m³)	22.409.909,09	22.429.454,55	19.545,45	0,09
FLOW_IN (m³/s)	0,84	0,84	0,00	0,00
FLOW_OUT (m³/s)	0,79	0,79	0,00	-0,11
PRECIP (m³)	8.069.818,18	7.836.181,82	-233.636,36	-2,90
EVAP (m³)	7.320.363,64	7.114.909,09	-205.454,55	-2,81
SED_IN (tons)	12.439,55	12.439,55	0,00	0,00
SED_OUT (tons)	66,32	65,53	-0,79	-1,18

Em relação aos cenários de previsão 3 e 4 estes percentuais sofrem um incremento, conforme mostra a Tabela 7.53. Este fato indica que a continuidade do uso atual preve condições desfavoráveis para a conservação da vida útil deste reservatório, caso não sejam tomadas medidas adequadas no manejo das culturas.

Tabela 7.53 Análise comparativa das variáveis hidrosedimentológicas entre os cenários 3 e 4 para o reservatório Chambas II, período 2011 – 2020.

RES 2	Futuro uso antigo	Futuro uso atual	diferença	%
VOLUME (m³)	5.716.230,00	16.811.600,00	11.095.370,00	194,10
FLOW_IN (m³/s)	0,50	0,66	0,16	32,70
FLOW_OUT (m³/s)	0,41	0,57	0,16	39,26
PRECIP (m³)	6.564.400,00	8.101.200,00	1.536.800,00	23,41
EVAP (m³)	9.254.800,00	11.096.800,00	1.842.000,00	19,90
SED_IN (tons)	4.634,00	8.590,20	3.956,20	85,37
SED_OUT (tons)	24,54	25,22	0,68	2,76

Em análise ao comportamento do transporte de sedimentos para o reservatório Chambas II em todos os cenários de estudo, conforme a Figura 7. 34, observa-se um incremento na quantidade de sedimentos de saída do reservatório (SED_OUT) para o cenário futuro de previsão quando é utilizado o uso da terra atual.

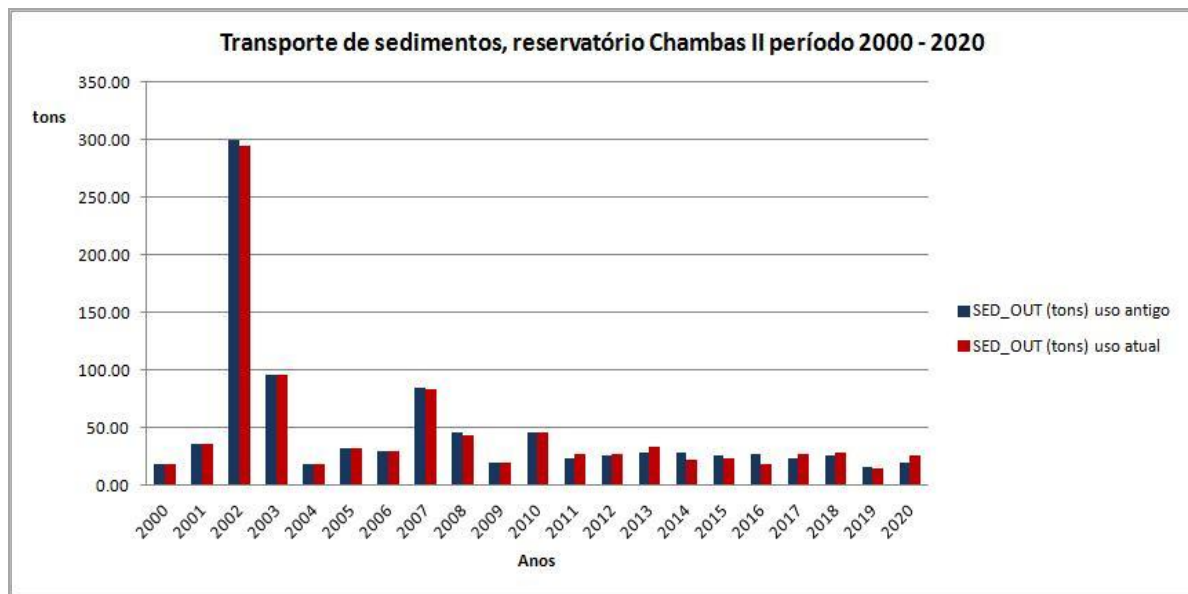


Figura 7.34 Transporte de sedimentos de saída no reservatório Chambas II no período 2000 - 2020.

De maneira geral, dada as incertezas destes resultados, seria conveniente monitorar ambos os reservatórios. No entanto, é importante ressaltar que o modelo SWAT foi capaz de representar a retenção de água e sedimentos ao longo dos reservatórios.

7.5 Vantagens e desvantagens da aplicação do modelo SWAT

O modelo SWAT foi desenvolvido como um modelo de respostas de longos períodos e não é capaz de detalhar respostas para eventos isolados (Arnold et al., 1998)

O modelo SWAT é considerado, entre os modelos disponíveis para a modelagem dos processos hidrosedimentológicos, o modelo que apresenta, ao mesmo tempo, maior complexidade (mais completo), envolvendo um maior número de componentes simulados. Ele fornece estimativas dos mais variados parâmetros, possibilitando o entendimento de um maior número de processos na bacia hidrográfica.

Este modelo conta com uma interface “amigável” por ter disponível toda a documentação para os usuários, as publicações científicas e as informações para solução dos problemas.

Diversos trabalhos, em muitas partes do mundo, confirmaram que o modelo SWAT pode simular com precisão o escoamento superficial e as cargas de sedimentos em micro-bacias hidrográficas. Com o uso do modelo pode-se identificar espacialmente as sub-bacias críticas com processos erosivos mais acentuados. Estes resultados podem ser utilizados, de maneira eficaz, no desenvolvimento de planos de manejo de bacias hidrográficas com priorização destas áreas críticas, favorecendo a tomada de decisão com medidas locais e mais eficientes.

O SWAT permite a predição quantitativa no tempo e no espaço do transporte de sedimentos, facilitando assim o planejamento da rede de monitoramento sedimentométrico e a frequência das campanhas de medição.

Ele também possibilita estimar as variações na carga de sedimentos devido a alterações no uso do solo previstas no futuro com diferentes finalidades de manejo de bacias, e avaliar impactos de determinados usos agrícolas.

Uma das maiores vantagens da utilização dos modelos de simulação está associada ao seu baixo custo. Na maioria das aplicações, o custo para executar um programa computacional é relativamente menor do que o custo correspondente relativo à investigação experimental. Este aspecto adquire maior importância à medida que o problema real estudado apresenta dimensões e complexidade elevadas, como em uma bacia hidrográfica; além dos custos operacionais mais elevados relativos às pesquisas de campo.

A necessidade da pesquisa de campo não é eliminada, uma vez que esta prática auxilia na realização de experimentos que aportam maior quantidade de informações novas e relevantes ao conhecimento científico.

Uma das vantagens mais importantes da utilização deste modelo está na sua capacidade de simulação de cenários de vários tipos, o que permite a alteração das configurações dos parâmetros de entrada do modelo para a obtenção de condições virtuais, levando a uma visualização antecipada de conseqüências futuras, causadas por determinados fatores hipoteticamente inseridos, dando-lhe um potencial considerável para o planejamento territorial.

A principal dificuldade observada durante a implementação do modelo SWAT foi o grande número de parâmetros, o que pode limitar a sua aplicação. Já sua calibração

é ainda mais complexa.

Outra dificuldade foi encontrar dados disponíveis e representativos para o desenvolvimento e calibração do modelo; ou então, o emprego de relações simplificadas entre as variáveis intervenientes, devido à complexidade dos fenômenos representados ou por limitações computacionais.

A aplicação do modelo na bacia Chambas demonstrou a capacidade do modelo para representar os processos hidro-sedimentológicos numa bacia hidrográfica diante das mudanças de uso e ocupação do território. Além disso, permitiu gerar informação útil e ampliar os conhecimentos que existiam sobre a bacia.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos sobre a bacia Chambas permitiram o cálculo inédito para a região de estudo dos parâmetros hidrológicos e morfométricos a partir do processamento do MDE.

O processo de discretização da bacia Chambas utilizando técnicas automatizadas e/ou semi-automáticas resultou na diferenciação de 115 sub-bacias com suas redes de drenagem principal e os pontos de descarga de cada sub-bacia, para uma área total de 385, 26 Km².

O uso de técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto contribuiu para a compreensão e monitoramento do espaço geográfico. Estas técnicas de mapeamento são de fundamental importância para a definição das políticas de planejamento do uso da terra do solo, independentemente da escala, proporcionando um apoio importante para o monitoramento dos recursos naturais.

Foi desenvolvido um sistema de classificação baseado em conceitos e sistemas utilizados em outros países, o qual foi empregado para definir a cobertura e uso da terra da área de estudo de acordo com as necessidades específicas de qualquer usuário em aplicações de mapeamento, independente da escala e fontes dos dados utilizados. Este sistema abrange todos os tipos existentes de cobertura da área de estudo, com um número adequado de classes, é totalmente hierárquico e pode ser usado em múltiplas escalas.

A padronização dos objetos/classes correspondente à área de estudo permitiu a identificação de 18 categorias diferentes de cobertura e uso da terra na bacia do rio Chambas e a sua cartografia detalhada com uma resolução espacial de 10 m. As classes identificadas são: silvicultura, zona de empréstimo, zona urbanizada, arroz, floresta semi-decídua degradada, floresta semi-decídua densa, cana de açúcar,

reservatórios, lagoas costeiras, manguezais, vegetação secundária (Marabú), mosaico de culturas, pastagem semi-natural e cultivada, apicum, solo exposto, vegetação arbustiva semi-natural, vegetação esclerófila e espinhosa (Cuabal) e tabaco.

O mapeamento de solos da bacia Chambas foi feito utilizando a Nova Versão de Classificação Genética dos Solos de Cuba, ao nível dos tipos e subtipos. O resultado foi um mapa digital com um total de 11 tipos e 23 subtipos de solos para a região de estudo.

Foi criado um banco de dados de solos para a entrada no modelo SWAT, vinculado ao mapa digital com 346 unidades cartográficas ao nível de subtipos de solo e 150 campos caracterizados por 15 parâmetros do solo para os seis horizontes pedológicos.

A geração do banco de dados com os parâmetros do solo foi um dos passos mais importantes na geração de informações para a bacia. Pelo fato dos dados de solo utilizados pelo modelo SWAT não serem calculados para Cuba no mesmo formato de USDA, um desafio que se apresentou foi o desenvolvimento de um método para adaptá-los ao formato empregado pelo modelo. Vencido esse desafio foi possível alcançar resultados representativos das características dos solos na bacia hidrográfica.

Foram calculadas 14 variáveis climáticas para cada mês do ano no período de 2000 a 2010 e criado um banco de dados para duas estações meteorológicas na bacia Chambas, para posterior entrada no gerador do clima do modelo SWAT.

Este modelo foi utilizado como ferramenta para avaliar o escoamento superficial e a produção de sedimentos pela erosão através da simulação destes processos na bacia Chambas. O acoplamento da interface ArcSWAT em ambiente SIG (ArcGIS) proporcionou a geração de vários tipos de saídas cartográficas, que permitiram a visualização de diversas informações morfométricas e dos resultados da simulação de processos hidrosedimentológicos. Estes mapas são a grande vantagem das tecnologias dos SIG e podem ser explorados através do modelo SWAT. Este fato baseia-se nas possibilidades dos SIG para modelagem constituindo um elemento de integração pelas capacidades para a funcionalidade dinâmica (espaço/tempo). As suas capacidades para manipulação, análise de dados, relacionamento de objetos e processos, assim como, a representação gráfica dos resultados.

As mudanças na cobertura e uso da terra na bacia foram analisadas em dois momentos diferentes, antes das reformas e re-ordenamento da indústria açucareira e depois desta, quando houve redução das áreas de plantações de cana-de-açúcar.

A simulação dos cenários permitiu a averiguação dos processos hidro-sedimentológicos de maneira bastante objetiva, tornando possível a análise da influência da cobertura vegetal na geração de parâmetros do escoamento superficial e produção de sedimentos. Assim, a aplicação de diferentes cenários de uso e ocupação da terra com base na projeção das tendências atuais mostrou um incremento progressivo na produção de sedimentos na bacia. Esses resultados mostram claramente a necessidade da adoção de ações para mitigar os efeitos do processo de degradação da cobertura, com a conseqüente erosão a que é submetida uma parte considerável da bacia.

O emprego de diferentes cenários de uso da terra permitiu concluir que, para reduzir a produção de sedimentos na bacia, é necessário aumentar substancialmente as áreas de cobertura de floresta nativa, mata ciliar e vegetação arbustiva.

Comparando a produção de sedimentos no nível das sub-bacias e o transporte de sedimentos nos rios principais em todo o período de simulação (20 anos) se observa uma tendência geral ao incremento com o uso da terra atual tanto na condição real como a hipotética.

A análise das médias mensais na bacia constatou a diferenciação existente entre a época seca (Novembro até Abril) e a úmida (Maio até Outubro) em todas as variáveis hidrosedimentológicas especialmente na produção e o transporte de sedimentos.

As simulações mostram também que a produção e o transporte de sedimentos na bacia Chambas têm fortes diferenças espaciais, tanto ao nível de sub-bacias como dos rios principais. Esta variabilidade espacial nas sub-bacias segue uma tendência diferenciada nas três seções da bacia (superior, média e inferior). As sub-bacias localizadas na parte inferior concentram os valores mínimos de SYLD; na parte média predominam os valores máximos e na parte alta da bacia os valores são intermediários.

No nível dos rios principais a diferenciação espacial está dada pelos máximos que se localizam na seção média e inferior da bacia Chambas, vinculados ao rio principal (rio Chambas) e mais antigo. Na seção superior da bacia predominam os

valores baixos. Os máximos estão nas sub-bacias 1, 51, 58, 59, 63 e 64, com valores superiores a 40.000 toneladas anuais.

Em áreas com informação limitada, a aplicação do modelo SWAT é pouco eficaz, uma vez que este requer uma grande quantidade de parâmetros de entrada. Esta foi a principal limitação observada na implementação do modelo SWAT. Foi necessário o uso de outros modelos como o *Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator (SWC)* para estimar parâmetros do solo exigidos por SWAT.

Um modelo não nos dá soluções, mas abordagens a certas mudanças; eles representam uma aproximação da situação real do problema em consideração e melhoram nossa habilidade de compreensão dos processos observados em campo. Modelos permitem formular idéias a respeito da dinâmica do sistema em questão, constituindo um importante instrumental para auxiliar no processo desafiador da tomada de decisões. O SWAT é um modelo que fornece boa quantidade e qualidade de dados de saída para bacias não calibradas, como é o caso da bacia Chambas. A modelagem hidrológica pode-se tornar um importante instrumento para auxílio no planejamento e gestão de uma bacia hidrográfica particular.

Assim, apesar de não contar com um modelo adequadamente calibrado, todos os resultados obtidos para a bacia são satisfatórios. O estudo é, portanto, de grande importância, pois avaliou, de maneira inédita para uma bacia hidrográfica de Cuba as vantagens e limitações do uso do modelo SWAT para a gestão hidro-sedimentológica da bacia Chambas.

8.2 RECOMENDAÇÕES

A necessidade de uma maior quantidade e melhor distribuição espacial de estações meteorológicas e hidrológicas na área de estudo mostrou-se latente durante o desenvolvimento da pesquisa aqui proposta. Por esse motivo, considera-se necessário projetar uma rede que seja capaz de capturar a informação adequada para conhecimento dos fenômenos que ocorrem na bacia com mais precisão.

Propõe-se também a construção de um banco de dados para a cobertura do solo que represente adequadamente as características próprias do país.

Recomenda-se a aplicação do 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.

Para estudos futuros de simulação de cenários, a calibração por sub-bacias deveria ser considerada, pois poderia resultar em um melhor ajuste e, conseqüentemente, em resultados mais fidedignos dos fatores simulados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, M.B., BATHURST, J.C., CUNGE, J.A., O'CONNELL, P.E. and RASMUSSEN J. An introduction to the European hydrological system - Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. **Journal of Hydrology**, 87, 45-49. 1986.

ACOSTA, M. M. L.; LAU, Q. A.; SCHIETTECATTE, W.; RUIZ, M.E y PONCE DE LEÓN, D. Uso del suelo y su relación con los gastos sólidos en la cuenca V Aniversario y La Güira (río Cuyaguaje). **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, Vol. 16, No. 3, 2007, pp. 28-32.

ADRIOLO, M. V.; SANTOS, I.; GIBERTONI, R. C.; CAMARGO, A. S. G. Calibração do Modelo SWAT para a Produção e Transporte de Sedimentos. Comitê Brasileiro de Barragens, VI SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, Belo Horizonte - MG, 21 a 25 de Abril De 2008. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/artigos/1a5dcad9f8dc09cfa88f6c5ceaeb7ff4.pdf>

ALATORRE, L. C. y BEGUERÍA, S. **Los Modelos de Erosión: Una Revisión**. Rev. C&G, 23 (1-2) ISSN: 0214-1744, 2009.

ALMOZA, Y.H.; Medina, H.G.; SCHIETTECATTE, W.; RUIZ, M.E y ALONSO, B.G.R. Las precipitaciones como factor erosivo en la cuenca del río Cuyaguaje **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, Vol. 16, No. 3, 2007. pp. 84-89.

ALMOZA Y.H.; Medina, H.G.; SCHIETTECATTE, W.; ALONSO, B.G.R. y RUIZ, M.E. El uso de datos pluviométricos para la determinación del factor erosividad de las precipitaciones en el modelo RUSLE. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, Vol. 17, No. 1, 2008. pp. 38-43.

ALONSO, B.G.R., RUIZ, M.E, SCHIETTECATTE, W.; DÍAZ J. S. y ALMOZA Y. H. Estimación del riesgo de erosión laminar y en surcos en la subcuenca La Güira del río Cuyaguaje. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, Vol. 16, No. 4, 2007, pp. 41-45.

ALVES, M. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Universidade Federal de Viçosa, 2da Edição. 2004, 307 pag.

ANDERSON, J. R.; HARDY E. E.; ROACH, J. T and WITMER, R. E. **A Land Use and Land Cover Classification System for use with Remote Sensor Data**. Geological Survey Professional Paper 964, 1976.

ARNOLD, J.G., J.R. WILLIAMS, A.D. NICKS, AND N.B. SAMMONS. **SWRRB**: A basin scale simulation model for soil and water resources management. Texas A&M Univ.

Press, College Station, TX. 1990.

ARNOLD, J. G., R. SRINIVASAN, AND B. A. ENGEL. Flexible watershed configurations for simulation models. **Hydrological Science and Technology**. 30(1-4): 5-14. 1994. Disponível em: <http://ssl.tamu.edu/media/12031/flexible%20watershed%20configuration%20for%20simulation%20models.pdf>

ARNOLD, J. G., R. SRINIVASAN, R. S. MUTTIAH, AND J. WILLIAMS. Large area hydrologic modeling and assessment: Part I - model development. **Journal of American Water Resources Association**. 34(1): 73-90. 1998. Disponível em: <http://ssl.tamu.edu/media/11951/large%20area%20hydrologic%20modeling%20and%20assessment%20part%201.pdf>

BAI ZG, JONG R DE, VAN LYNDEN GWJ. **An update of GLADA - Global assessment of land degradation and improvement**. ISRIC report 2010/08, ISRIC – World Soil Information, Wageningen. 2010.

BAI ZG and DENT DL. **Land degradation and improvement in Cuba. 1. Identification by remote sensing**. Report 2007/04, ISRIC – World Soil Information, Wageningen. 2007. Disponível em: http://www.isric.org/sites/default/files/Report%202007_04_Land_Degr_Cuba_REV_Aug%202008.pdf

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 em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005. Disponível em: <http://www.cipedya.com/FileDetails.aspx?IDFile=162602>

BALMASEDA, E. C.; PONCE DE LEÓN, L. D. Documentación de la Calidad de la Información Edafológica Digital: Exactitud Temática del Mapa Nacional de Suelos (Serie Habana). **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, año/vol. 16, número 004 Universidad Agraria de La Habana. La Habana, Cuba, 2007, ISSN (Versión impresa): 1010-2760, pp. 79-83

BALMASEDA, C. **Contribución metodológica para la inserción de información edafológica en Infraestructuras de Datos Espaciales. Estudio de Caso: Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25 000**, 98 pp., Tesis de Doctorado, Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2006.

BALTOKOSKY, V. **Modelo SWAT 2005 aplicado às sub-bacias dos Rios Conrado e Pinheiros – Pato Branco / PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR: UNIOESTE, 138p. 2008. Disponível em: http://tede.unioeste.br/tede/tde_arquivos/1/TDE-2008-12-03T093801Z-280/Publico/Valmir%20Baltokoski.pdf

BALTOKOSKY, V.; TAVARES, M. H. F.; MACHADO R. E. & OLIVEIRA, M. P. Calibração de Modelo para a Simulação de Vazão e de Fósforo Total nas Sub-Bacias dos Rios Conrado e Pinheiro – Pato Branco (PR). **R. Bras. Ci. Solo**, 34:253-261, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n1/a26v34n1.pdf>

BATHURST, J.C. Physically-based distributed modelling of an upland catchment using the Systeme Hydrologique Europeen. **Journal of Hydrology**, 87, 79-102. 1986.

BARRIOS, A. G. y URRIBARRI, L.A. Aplicación del modelo SWAT en los Andes venezolanos: Cuenca alta del río Chama. **Revista Geográfica Venezolana**, Vol. 51(1) 2010, 11-29. 2010. Disponível em: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/32000/1/articulo%201.pdf>

BEASLEY, D.B., AND HUGGINS, L.F. **ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Simulation) - User's Manual**. Department of Agricultural Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1980.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2008 - 6ta edição (Coleção Brasil Agrícola). 355p, 2008.

BETRIE, G. D., Y. A. MOHAMED, A. VAN GRIENSVEN, AND R. SRINIVASAN. Sediment management modelling in the Blue Nile Basin using SWAT model. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 15, 807-818. doi:10.5194/hess-15-807-2011. Disponível em: <http://ssl.tamu.edu/media/34453/hess-15-807-2011.pdf>

BLAINSKI, É.; ARAÚJO, I. S.; BORGES, R. C.; DORTZBACH, D. e PÉRTILE, E. Aplicação da Modelagem Hidrológica para a Gestão do Uso da Água em Rizicultura na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá – SC. XL CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA 2011 – Cuiabá-MT, Brasil, 24 a 28 de julho 2011. Disponível em: http://intranetdoc.epagri.sc.gov.br/producao_tecnico_cientifica/DOC_3984.pdf

BOSSARD, M., FERANEC, J., OTAHEL, J. **Corine land cover technical guide — Addendum 2000**, Technical Report No 40, EEA, Copenhagen. 2000. Disponível em: <http://www.eea.eu.int>, Acesso em: 15/05/2009

BOSCH, D. et al. **Instrucciones Metodológicas para la Cartografía Pedológica en La República Bolivariana de Venezuela**. Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras. (Segunda Revisión). Instituto Nacional de Tierras. Republica Bolivariana de Venezuela. Instituto de Suelos. MINAGRI, Cuba, 48pp. 2007.

BOUVET, M., GORYL, P., CHANDER, G., SANTER, R. & SAUNIER, S. Preliminary radiometric calibration assessment of ALOS AVNIR-2. **Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007**. IEEE International, 2673-2676, 2007.

BRÍGIDO, F.O.; GANDARILLA, B.J.E. Evaluación Preliminar del Potencial del Uso de la

Técnica del Cesio-137 para Estimar las Tasas de Erosión en Suelos Cultivables de la Granja “La Victoria I” en la Provincia de Camagüey, Cuba. Proceedings of the II INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NUCLEAR AND RELATED TECHNIQUES IN AGRICULTURE, INDUSTRY AND ENVIRONMENT. II WORKSHOP ON NUCLEAR AND RELATED TECHNIQUES IN ENVIRONMENT. La Habana, Cuba, October 26-29, 1999. ISBN 959-7136-04-X.

BURNS, I.S., SCOTT, S., LEVICK, L., HERNANDEZ, M., GOODRICH, D.C., MILLER, S.N., SEMMENS, D.J. & KEPNER, W.G. **Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA) – A GIS–Based Hydrologic Modeling Tool**: Documentation and User Manual Version 1.4, 2004. Disponible em <http://www.tucson.ars.ag.gov/agwa/>

CALERO .O; MONTERO R; CASTILLO J.L. **Banco datos pedológicos (versión 1.3 2000-2001), Sistema para el control de datos pedológicos, en formato digital**. Instituto de Suelos, Dirección Camagüey, Cuba. 2001.

CAPOTE, R. P. y R. BERAZAÍN. Clasificación de las Formaciones Vegetales de Cuba. **Rev. Jardín Bot. Nac.** V(2): 27 75. 1984.

CARLSON P.J. y E. RONCEROS. **La Agroforestería en la Sierra Ecuatoriana**. Memoria del Segundo Seminario-Taller de Agroforestería para la Sierra, Loja, Ecuador, Setiembre 21-26, 1987 Cuerpo de Paz, Oficina para el Apoyo al Entrenamiento y Programación in Washington, D.C. 1987. Disponible em: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABH825.pdf

CARVALHO NETO, JOSÉ GUIMARÃES DE. **Simulação hidrossedimentológica 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. 218 pp., 2011. Disponible em: http://www.hidro.ufcg.edu.br/dissertacoes/Neto_Fevereiro_2011.pdf

CASANOVA, M.P.; VERA, W. E.; LUZIO, W. L.; SALAZAR, O. G. **Edafología, Guía de Clases Prácticas**. Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 2004. Disponible em: http://www.agronomia.uchile.cl/web/manuel_casanova/MANUAL%20EDAFOLOGIA%20_2004.pdf

CEPAL. **Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales**. ISBN 92-1-322790-6, Libros de la CEPAL Nº 87, Diciembre 2005, 267 pp. Disponible em: <http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/8/24268/P24268.xml&xsl=/ddpe/tpl/p9f.xsl&base=/tpl/top-bottom.xslt>

CERDAN, O.; SOUCHÈRE, V.; LECOMTE, V.; COUTURIER, A.; LE BISSONNAIS, Y. Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff and erosion model STREAM (Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management), **Catena**, 46: 189-205. 2001.

CHANDER, G., MARKHAM, B.L., HELDER, D.L. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. **Remote Sensing of Environment**, 113 (2009) 893–903, 2009.

CHANDER, G., & MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, 41(11), 2674–2677, 2003.

CHAVEZ JR., P. S. Image-based atmospheric correction — Revisited and improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 62(9), 1025–1036, 1996.

CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

CHIEW, F.H.S. AND SCANLON, P.J. **Estimation of Pollutant Concentrations for EMSS Modelling of South-East Queensland Region**. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Report 02/2. 2001.

CHORLEY, R. J. e HAGGETT, P. **Modelos físicos e de informação em geografia**. Tradutor Arnaldo Viriato de Medeiros; revisores técnicos Antonio Olivio Ceron e Antonio Christofolletti. Livros Técnicos e Científicos, São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo, 1975. 260p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Editora Edgard Blucher LTDA.. 236p. 1999.

CITMA. **Evaluación de la Degradación de Tierra Secas (LADA): Área Piloto Cuba**, INFORME FINAL. CITMA/FAO/GEF. La Habana Cuba, 2010. Disponível em: http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=87&Itemid=165&lang=en

CITMA/PNUMA/AMA. **Geo Cuba, Evaluación del Medio Ambiente Cubano**. Agencia de Medio Ambiente (AMA), Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) La Habana Cuba, ISBN 978-959-300-002-4, 2009. Disponível em: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/GeoCuba2008.pdf>

CITMAa. **Estrategia Ambiental Nacional 2007/2010**. Anexo Único de la Resolución No. 40 / 2007. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. 2007. Disponível em: <http://www.educambiente.co.cu/images/Documentos/Estrategia%20Ambiental%202007-2010.pdf>

CITMAb. **Proyecto LADA, Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas, Informe de línea base, Área Piloto**: Cuba. CITMA/FAO/CIGEA, La Habana,

Cuba, Marzo, 2007. Disponible em:
http://www.ama.cu/SNMA/!%C3%ADnea%20base%20%20LADA%20Cuba_pdf.pdf

CITMA, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. **Programa Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía en la República de Cuba**. Grupo Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía bajo la coordinación del Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA), Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. (CCD), la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). Editorial Academia. Soporte digital ISBN 959-270-034-6. 2003.

CITMA-UMA. **Situación ambiental de la provincia Ciego de Ávila**. (CARDOSO, G.P). 1997.

COMISIÓN NACIONAL DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS. **Guía Técnica de Buenas Prácticas**. Recursos Naturales Agua, Suelo, Aire y Biodiversidad. Subsecretaría de Agricultura. Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. 2008. p.104. Disponible em:
<http://beta1.indap.cl/ObservatoriodeMercados/Documents/Buenas%20Pr%C3%A1cticas/Guia%20Tecnica%20de%20Buenas%20Practicas%20Recursos%20Naturales.pdf>
Acesso em: 25 de agosto de 2011.

CONSEJO DE CUENCA TERRITORIAL (CCT), Ciego de Ávila. **Informe de Evolución Ambiental de la Cuenca Chambas 2003-2008**. Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas. 2009.

CORINE. **CORINE Soil erosion risk and important land resources - in the southern regions of the European Community**. Publicado: 31 Dec. 1994. Disponible em:
<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-soil>

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagem de Sensoriamento Remoto**. Campinas São Paulo: IG/UNICAMP, 4ta reimpressão, 2002, 154 pag.

CROSS (Online Satellite Images Search & Order System) Disponible em:
<https://cross.restec.or.jp/cross/jsp/indexEn.html>. Acesso em: 30 de octubre de 2009.

CRUZ DÍAZ, R. O.; VANTOUR C. A.; PÁEZ, M. M.; MARTÍN, M. G; Y CAPOTE L. R. P. **Evaluación de la degradación de los suelos apoyado en los Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección para el manejo de la agricultura en Cuba**. Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados (GEPROP), CITMA. 2008. Disponible em:
http://uteeda.isch.edu.cu/documentos/presentaciones_eventos/4.3%20Trabajo%20a%200Cartagena-%20Desertificacion%20de%20Cuba-%20Orlay.pdf

CUADRADO, E. L. **Gestión Ambiental dirigida a la conservación y mejoramiento de los suelos en un sector de la cuenca hidrográfica del río Guanabo.** La Habana 83 h. Tesis (en opción al título de master en ciencias en gestión ambiental). Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. 2005.

CUELLO ESPINOSA, M. **Estimación de la Producción y Transporte de Sedimentos en la Cuenca Alta del Río Yaque del Norte y del Río Guanajuma República Dominicana.** Tesis para optar al grado de: Magister Scientiae, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE, Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación, Turrialba, Costa Rica, 2003. Disponible em: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0749E/A0749E.PDF>

DE ROO, A.P.J., WASSELING, C.G., CREMERS, N.H.D.T., VERZANDVOORT, M.A., RITSEMA, C.J. & OOSTINDE, K. LISEM – A physically based model to simulated runoff and soil erosion in catchments: model structure. In: **Geomorphic hazards** (O. Slaymaker, ed.). John Wiley, New York. 1996.

DE ROO, A. P. J. & OFFERMANS, R. J. E. LISEM: A physically-based hydrology and soil erosion model for basin scale water and sediment management: sensitivity analysis, calibration and validation. In: **Modelling and Management of Sustainable Basin-Scale Water Resource Systems** (ed. by S. P. Simonovic, Z. Kundzewicz, D. Rosbjerg & K. Takeuchi) (Proc. Boulder Symp., July 1995), 399-407. IAHS Publ. no. 231. 1995.

DE ROO, A. P. J., WESSELING, C. G., CREMERS, N. H. D. T., OFFERMANS, R. J. E., RITSEMA, C. J. & OOSTINDIE, K. LISEM: a new physically- based hydrological and soil erosion model in a GIS-environment: theory and implementation. In: **Variability in Stream Erosion and Sediment Transport** (ed. by L. J. Olive, R. J. Loughran & J. A. Kesby) (Proc. Canberra Symp., December 1994), 439-448. IAHS Publ. no. 224. 1994.

DE ROO, A.P.J. **Modelling Surface Runoff and Soil Erosion in Catchments Using Geographical Information Systems.** Utrecht University, The Netherlands, Ph.D. Thesis. 128p. 1993.

DLWC. **Integrated Quantity–Quality Model (IQQM), Reference Manual.** DLWC Report No. TS94.048, NSW, Parramatta (Australia), 1995.

Danish Hydraulic Institute (DHI). **MIKE 11 - User Guide and Technical Reference Manual.** 1998.

Danish Hydraulic Institute (DHI). **Soil Erosion Assessment Using GIS, SEAGIS v. 1.0:** Documentation and user's manual. 1999.

DÍAZ, R.J.R.; PÉREZ, C.D.; RODRÍGUEZ, Á.Y.; FEBLES, G.J.M. Determinación de Índices de Erosión de Suelos Aplicando Análisis SIG para la Localidad de San Andrés en la Provincia de Pinar del Río. **Revista Chapingo.** Serie ciencias forestales y del ambiente, enero-junio, año/vol. 14, número 001, Universidad Autónoma Chapingo,

Chapingo, México pp. 15-19, ISSN (Versión impresa): 0186-3231, 2008.

DI GREGORIO, A. & L. JANSEN. **Land Cover Clasification System: Clasification concepts and User Manual**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998. ISBN:92-5-10421. 1998.

DOMINGOS PEREIRA J. C. **Aplicação do Modelo Hidrosedimentológico AVSWAT na Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Cachoeirinha – MG**. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, 2010.

ELWELL H.A. Y STOCKING M.S. Developing a simple yet practical method of soil-loss estimation. **Tropical Agriculture** (Trinidad) 59(1):43-47. 1982.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2da Edição. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

EWEN, J., PARKIN, G. AND O'CONNELL, P.E. SHETRAN: Distributed River Basin Flow and Transport Modelling System. **Journal Hydrologic Eng.**, 5, 250-258. 2000.

EWEN, J. **Basis for the subsurface contaminant migration components of the catchment water flow, sediment transport, and contaminant migration modelling system SHETRAN-UK**. NSS/R229, UK Nirex Limited. 1990.

ESRI. **Cell-based Modelling with Grid 6.1**. ESRI, Inc. 1992.

FAO. **Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030**, Informe resumido. © FAO 2002 ISBN 92-5-304761-5. 2002. Disponível em: <http://www.fao.org/DOCREP/004/Y3557S/Y3557S00.HTM>

FAO **Terrastat database**. Land resource potential and constraints statistics at country and regional level. © FAO AGL (2003). Última actualización: 6 Febrero 2003. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/land/information-resources/terrastat/en/> Acesso em: 20 de Agosto de 2011.

FAOSTAT. **Estadísticas de la FAO** | © FAO Statistics Division 2011, Actualizada: 21 Julio 2011. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/377/DesktopDefault.aspx?PageID=377#anchor> Acesso em: 13 de Setembro de 2011.

FAO. **Guía para la descripción de suelos**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 4ta Edición, Roma, 2009.

FAO. **Data Sets, Indicators and Methods to Assess Land Degradation in Drylands**. World Soil Resources Report 100. Editora FAO ISSN 0532-0488, Soporte digital, 2003.

FAO, **Land and Water Development Division. Land Resource Potential and Constraints at Regional and Country Levels.** 2000. Roma. Disponible em <http://www.fao.org/nr/land/information-resources/glasod/en/>

FAO. **Zonificación agro-ecológica, Guía general.** Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de suelos Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, FAO. ISBN 92-5-303890-X, Roma, 1997. Disponible em: <http://www.fao.org/docrep/W2962S/w2962s00.htm#Contents>

FAO. **Planning for sustainable use of land resources: towards a new approach,** W.G. Sombroek and D. Sims. Land and Water Bulletin 2, FAO, Rome. 1995.

FAOa. **Monitoreo y evaluación de logros en proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas.** Roma, Italia. 1993. Disponible em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/t0749s/t0749s00.htm#cont>

FAOb. **Erosión de suelos en América Latina.** Oficina Regional para América Latina y el Caribe. ISBN 92-854-3001-5, 1993. Disponible em: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm#Contents>

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Guidelines for soil description.** Rome, Italy. 1990.

FAUSTINO, J.; JIMÉNEZ, F.; VELÁSQUEZ, S.; ALPÍZAR, F.; PRINS, C. **Curso Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas.** CATIE- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 2006. Disponible em: <http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/Manejo%20de%20Cuencas%20I/Documentos%20complementarios/CURSO%20GESTION%20CUENCAS-CALI%20CVC.pdf>

FEBLES, J. M.; VEGA, M. B. AND FEBLES, G. Integrating system of qualitative and quantitative methods to assess the erosion of the soils in the karstic regions of cattle rearing use in Cuba. **Cuban Journal of Agricultural Science**, Volume 42, Number 3, Pp315-319. 2008.

FEBLES, J. M., A. TOLON & M. B. VEGA. Edaphic indicators for assesment of soil erosion in karst regions, province of Havana, Cuba. **Land Degradation & Development** 20: 522–534 (2009). Published online 17 June 2009 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/ldr.929

FELICÍSIMO, ÁNGEL M. (1994). **Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales.** Oviedo: Pentalfa. Disponible em: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf>

FOHRER, N., ECKHARDT, K., HAVERKAMP, S. Y FREDE, H.-G. Applying the SWAT

Model as a Decision Support Tool for Land Use Concepts in Peripheral Regions in Germany. em Stott, D. E., Mohtar, R. H., y Steinhardt, G. C. (Coor.): Sustaining the Global farm. Selected papers from the 10TH INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION MEETING held May 24-29, 1999, West Lafayette, IN. West Lafayette, IN., International Soil Conservation Organization in cooperation with the USDA and Purdue University., pp. 994-999, 2001. Disponible em: <http://tucson.ars.ag.gov/isco/isco10/SustainingTheGlobalFarm/P072-Fohrer.pdf>

GÁLVEZ, V; RIVERO, L; OTERO, A; MÁRQUEZ, E. y otros. **Informe final del Proyecto "Aplicación práctica de un Sistema Automatizado a la conservación y mejoramiento de los suelos y del Medio Ambiente, en la Empresa de Cultivos Varios de Consolación del Sur"**. Instituto de Suelos, 28 pp. Inédito. 2005.

GALVÁN, L.; OLÍAS, M.; FERNÁNDEZ DE VILLARÁN, R. y DOMINGO-SANTOS, J.M. Aplicación del modelo hidrológico SWAT a la cuenca del río Meca (Huelva, España). **Geogaceta**, 42 (2007), 63-66, ISSN: 0213683X. 2007. Disponible em: <http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/Geo42/Art16.pdf>

GALVÁN, L.; OLÍAS, M. Modelización hidrológica de las cuencas de los ríos Múrtigas y Caliente (Huelva, España). Calidad de los datos de aforos. **Geogaceta**, 48 (2010), 123-126, ISSN: 0213-683X , Sociedad Geológica de España, 2010. Disponible em: www.geogaceta.com

GARCÍA, D. E.; DELGADO, R. D.; ROJAS, Y. A.; MILLÁN, G. T.; PEÑALVER, L. et al. **Mapa Geológico Digital de La República de Cuba a Escala 1:100000**. Cuba Central (Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spiritus). Mapa geológico a escala 1:100 000 actualizado y generalizado en 1999 – 2000. Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica. 2001.

GAREA, E. Una aproximación al Sistema de Información de Suelos para regiones montañosas de Cuba. Publicación Electrónica, GEOMATICA' 2002. Ciudad de La Habana, 2002.

GAREA, E. **Métodos para el manejo de la información de suelos en las regiones montañosas de Cuba mediante técnicas digitales**. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas; Instituto Técnico Militar "José Martí"; La Habana; 114 pp. Inédito.2003.

GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GRENN, C. H.; ARNOLD, J. G. **The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions**. Soil & Water Division of ASABE. SW, v. 6726, p. 1211- 1250, 2007. Disponible em: http://www.card.iastate.edu/environment/items/asabe_swat.pdf

GELER, T.R. **Prediction soil erosion hazards caused by lands use changes**. Centre for Geo-information, Wageningen University and International institute for aerospace Survey and Earth Sciences, The Netherlands. MSc. Thesis. 55p. 2000.

GELER, T.R.; LIGTENBERG, A. AND DE BY, R. Modelo para el pronóstico de la dinámica de erosión en los suelos debido a los cambios en el uso de la tierra. **Mapping Revista de Cartografía, Sistemas de Información Geográfica, Teledetección y Medio Ambiente** (ISSN: 1.131-9.100) No. 94 Mayo, 2004.

GELER, T. R.; CRÓSTA, A. P.; PEREZ FILHO, A.; RIVERO L.R. Cartografía preliminar de la cobertura y uso de la tierra en la cuenca del río Chambas, utilizando imágenes del satélite ALOS. INFORMATICA 2011. CITMATEL Editora (ISBN 978-959-7213-01-7) La Habana, Cuba. 2011.

GELER, T. R.; CRÓSTA, A. P.; PEREZ FILHO, A.; LOPEZ, S.S. Criação da informação de base e dos parâmetros de entrada no modelo SWAT, bacia do rio Chambas, Cuba. Memórias do V CONGRESSO DE USO E MANEJO DO SOLO. Campinas/SP, Brasil. 2011.

GIL, C.R.; PERALTA, J. L.; CARRAZANA, J.; RIVEROL, M.; PEÑA, F.; CABRERA, E. Aplicación de las Determinaciones de ¹³⁷Cs Para Evaluar Niveles de Erosión en Suelos Agrícolas en Cuba. Agencia de Eneria Nuclear y Tecnologias de Avanzadas, CITMA. **Revista Nucleus**, No.36, ISBN 0864-084X, 2004. Disponible em: <http://www.cphr.edu.cu/public/pub2004.htm>

GÓMEZ JIMÉNEZ, I., ROMERO CALCERRADA, R. Y BENEITEZ LÓPEZ, J. M. Consideración de la dinámica espacio-temporal para la definición de actuaciones defensivas contra la erosión. **GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica** (Artículos), nº 7, p. 1-22. ISSN: 1578-5157. 2007. Disponible em: www.geo-focus.org

GONZÁLEZ, T. M. M. **Modelación Hidrológica como Base para el Pago por Servicios Ambientales en la Microcuenca del Río Magdalena, Distrito Federal.** Tesis en opción al grado de Maestro en Gestión Integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro, México, 2008. Disponible em: http://aeropuerto.uaq.mx/maestrias/Web%20Magik%20MOD/UAQ_MGIC/alumnos_files/generacion04/Gonzalez%20Martinez%20Teresa%20Margarita/Gonzalez%20Martinez%20Teresa%20Margarita.pdf

GUZMÁN, E.; BONINI, J., MATAMOROS, D. Aplicación del Modelo Hidrológico SWAT (Soil & Water Assessment Tool) para la Predicción de Caudales y Sedimentos en una Cuenca Hidrográfica Caso de Estudio: Cuenca del Río Chaguana. **Revista Tecnológica**. Vol. 17, No.1. , pp. 152-161, Junio 2004.

HATTERMAN, F. F., V. KRYSANOVA, A. HABECK, AND A. BRONSTERT. Integrating wetlands and riparian zones in river basin modeling. **Ecol. Model.** 199(4): 379-392, 2006.

HERNÁNDEZ, C. A. J. **Dinámica del Uso de la Tierra y de la Oferta Hídrica en la Cuenca del Río Guacerique, Tegucigalpa, Honduras.** Tesis para optar al grado de:

Magister Scientiae- Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE. Turrialba, Costa Rica, 2003. Disponible em: <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0130E/A0130E.PDF>

HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.M.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; et al. Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Inst. Suelos, MINAG, **AGRINFOR**, Ciudad de La Habana, ISBN: 959-246-022-1, 1999, 64p.

HERNÁNDEZ, B. E. **Monitoreo y evaluación de logros en proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas**. GUIA DE CONSERVACION 24, ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO), Roma, 1993. Disponible em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/t0749s/t0749s00.htm#cont>

IAC (Instituto Agronómico de Campinas). Programa en Excel del factor K del modelo USLE. São Paulo, Brasil. 2010.

IBGE. **Manual técnico de uso da Terra**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2da Edição. ISBN 85-240-3866-7. Rio de Janeiro, 2006. 91p.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2da Edição. ISBN 85-240-3723-7. Rio de Janeiro. 2007. 316p.

IBGE. **Imagens do satélite ALOS**. Disponible em: <http://www.ibge.gov.br/alos> . Acceso em: 30 de outubro de 2009.

ICGC. **Hojas Cartográficas, a escala 1: 25 000**. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. La Habana. Cuba. 12 hojas. 1986.

INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN FÍSICA (IPF). **Caracterización de la cuenca Chambas**. Delegación Provincial de Planificación Física (DPPF), Ciego de Ávila, 1997.

INSTITUTO DE SUELOS. **II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba**. Serie Suelos No. 23, 25 pp. La Habana, Cuba. 1975.

INSTITUTO DE SUELOS. **Modelo de Campo, descripciones originales de los perfiles de suelo**. Instituto de Suelos, Dirección Ciego de Ávila, Cuba. 1982.

JAIMEZ, S.E.; CAMPOS, D.M.; GARCÍA, R.A.; GUERRA, O.M.; et al. Diagnóstico ambiental e interpretación paleoambiental de los suelos de las provincias habaneras, Cuba. **Rev. Electrónica Ciencias de la Tierra y el Espacio**, No. 5. Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA (ISSN 1729 3790). 2004.

JAIMEZ, S.E.; GUERRA, O.M.; ALCALDE, O.J.; GUTIÉRREZ, P.B.; et al. Diagnostico Ambiental de los Suelos de la Cuenca de Ariguanabo. **Rev. Electrónica Ciencias de la**

Tierra y el Espacio, No. 4. Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA (ISSN 1729 3790). 2003.

JAKEMAN, A. J., AND G. M. HORNBERGER. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model?. **Water Resources Research**, 29: 2637-2649. 1993.

JAKEMAN, A.J., I.G. LITTLEWOOD, AND P.G. WHITEHEAD. Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments. **Journal of Hydrology**, 117: 275-300. 1990.

JARAMILLO, D. **Introducción a la ciencia del suelo**. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín. 2002. p. 619. Disponível em: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf> Acesso em: 10 de Março de 2009.

JAXA. **ALOS Data Users Handbook**. Revision C. Earth Observation Research and Application Center Japan, Aerospace Exploration Agency. March 2008. Disponível em: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/fdata/ALOS_HB_RevC_EN.pdf

JIMÉNEZ, R. **Cooperativas Agrícolas en Cuba y su Relación con el Desarrollo Local**. Universitas Forum, Vol. 1, No. 1, December, 2008. Disponível em: http://hdrnet.org/454/1/Jimenez_Guethon.pdf

JOHANSEN, N.B., J.C. IMHOFF, J.C. KITTLE, AND A.S. DONIGIAN,. **Hydrological Simulation Program - FORTRAN (HSPF): Users Manual Release 8**, EPA-600/3-84-066, USEPA, Athens, GA. 1984.

JOHANSON, R.C., IMHOFF, J.C., DAVIS, H.H. **Users Manual for the Hydrologic Simulation Program—Fortran (HSPF) version No. 5.0**, EPA-600/9-80-105. USEPA Environmental Research Laboratory, Athens, GA. 1980.

JULIEN, P. Y., AND SAGHAFIAN, B. **CASC2D user's manual - A two dimensional watershed rainfall-runoff model**. Civil Eng. Report, CER90-91PYJ-BS-12, Colorado State University, Fort Collins, Fort Collins, CO. 1991.

KIRKBY, M.J., BAIRD, A.J., LOCKWOOD, J.G., MCMAHON, M.D., MITCHELL, P.J., SHAO, J., SHEEHY, J.E., THORNES J.B. AND WOODWARD, F.I. **MEDALUS Project A1: Physically based process models**: Final report (part of MEDALUS I final report, edited J B Thornes). 1993.

KIRKBY, M.J. AND NEALE, R.H. A soil erosion model incorporating seasonal factors. **International geomorphology, II**, John Wiley, 289-210. 1987.

KNISEL, W.G. **CREAMS: A Field scale Model for Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems**. USDA, Science and Education Administration, Conservation Report No. 26 Government Printing Office, Washington

D.C., 640pp. 1980.

KNISEL, W. G. (ED.). **GLEAMS Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems, Version 2.10**. Dept. Publication No. 5, Biological & Agricultural Engineering Department, University of Georgia-Coastal Plain Experiment Station, Tifton. 260 pp. 1993.

KRYSANOVA, F. WECHSUNG, J. ARNOLD, R. SRINIVASAN, J. WILLIAMS. **PIK Report Nr. 69 "SWIM (Soil and Water Integrated Model), User Manual"**, 239p. SWIM_Manual. 2000. Disponível em: <http://www.pik-potsdam.de/research/climate-impacts-and-vulnerabilities/models/swim>

KRYSANOVA, V.; A. BRONSTERT & D.-I. MÜLLER-WOHLFEIL. Modelling river discharge for large drainage basins: from lumped to distributed approach, **Hydrological Sciences Journal**, 44:2, 313-331, 1999. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/loi/thsj20>

LAL, R. Degradation and resilience of soils. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. B** (1997) 352, 997-1010 The Royal Society Printed in Great Britain. 1997. Disponível em: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1691981/pdf/1AAT7A9H68PMH2FL_352_997.pdf

LAL, R. Soil degradation by erosion. School of Natural Resources, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA. **Land Degradation & Development** 12: 519-539 (2001) DOI: 10.1002/ldr.472. 2001. Disponível em: http://www.solos.ufmt.br/docs/solostrop/1sem.02_2008.pdf

LEAL, Z.C.; DÍAZ J.S.; SCHIETTECATTE, W.; RUIZ, M.E y ALMOZA Y.H. Efecto de la cobertura vegetal de cultivos agrícolas principales sobre el proceso de erosión en suelos de la cuenca del río Cuyaguajeje **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, Vol. 16, No. 3, 2007, pp. 76-83.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L. A. Modelagem hidrosedimentologica de bacia hidrográfica na região sudeste do Brasil, utilizando o SWAT. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, vol. 5, núm. 2, pp. 158-174, 2010, ISSN = 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X, Universidade de Taubaté, Brasil. Disponível em: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=92815026016>

LEONARD, R.A., W.G. KNISEL, AND D.A. STILL. GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems. **Trans. ASAE** 30:1403-1418. 1987.

LILLESAND, T. KIEFER, R. & CHIPMAN, J. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, Fifth Edition, 2004, 763 pag. ISBN 0-471-15227-7.

LINARD, J.I., WOLOCK, D.M., WEBB, R.M.T., AND WIECZOREK, M.E. **Identifying hydrologic processes in agricultural watersheds using precipitation-runoff**

models: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2009–5126, 22 p. 2009. Disponible em: <http://pubs.usgs.gov/sir/2009/5126/pdf/SIR09-5126.pdf>

LITTLEBOY, M., SILBURN, D.M., FREEBAIRN, D.M., WOODRUFF, D.R. AND HAMMER, G.L. PERFECT. **A computer simulation model of Productivity, Erosion, Runoff Functions to Evaluate Conservation Techniques.** Queensland Department of Primary Industries, Bulletin QB89005, 119 pp. 1989.

LOGREIRA A. R. **Metodologías técnicas en el ámbito biofísico para la determinación y monitoreo de los servicios ambientales relacionados con regulación hídrica y control de sedimento, y su relación con el uso del suelo.** Convenio de Asociación No. 116 de 2008. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) – Patrimonio Natural-Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas, Republica de Colombia. 2009. Disponible em: http://www.patrimonionatural.org.co/cargaarchivos/centroDoc/informe_regulaci%C3%B3n-h%C3%ADdrica.pdf

LOPES, Nadia Hidemi Yano. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais utilizando o modelo SWAT.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 164p. 2008. Disponible em: http://www.labhidro.ufsc.br/Projetos/TCC/Disserta%E7%E3o_NadiaHidemi.pdf

LÓPEZ, S. **Aplicación de la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba a la cuenca del río Chambas.** Instituto de Suelos de Ciego de Ávila. MINISTERIO DE LA AGRICULTURA. 2011 (Informe Técnico)

LÓPEZ, S.; RIVERO, L.; ORTEGA, H.; GELER, T.R. Creación de un Sistema de Toma de Decisiones para la Cuenca Chambas. Memorias del CONGRESO 45 ANIVERSARIO DEL INSTITUTO DE SUELOS Y VII CONGRESO DE LA SOCIEDAD CUBANA DE LA CIENCIA DEL SUELO. Ciudad de la Habana, Cuba. 2010.

LÓPEZ, S.; RIVERO, L.; ORTEGA, H.; GELER, T. et al. Informe Final del Proyecto Creación de un Sistema de Toma de Decisiones para la Cuenca Chambas código PT-1308. Instituto de Suelos de Ciego de Ávila, MINAGRI. Cuba. 2008. 50 p. (Informe Técnico)

LÓPEZ, S.; PÉREZ, O.; CASTELLANOS, J. Informe del mapa genético de suelos escala 1: 25 000. Municipio Florencia. Dpto. Prov. de Suelos y Fertilizantes, Ciego de Ávila, Cuba. Manuscrito. 882 p. 1983.

LÓPEZ, F.; GIRON, E. **Análisis Biofísico (Modelo SWAT) Parte 2:** Subcuencas Asunción, Llapa, Pallac y Ayambla. Cuenca del Río Jequetepeque, Cajamarca, Perú. Proyecto Pago por Servicios Ambientales para Generar una Nueva Dinámica de Desarrollo Rural en Los Andes, 2007. Disponible em: http://condesan.org/apc-aa-files/1158f3a999a05a0de98536b388d23d2a/Analisis_SWAT_Jequetepeque_Parte_2.pdf

LUBITZ, E. **Avaliação da Aplicação do Modelo Hidrológico SWAT à Bacia do Ribeirão Concórdia – Lontras, SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau – FURB. 2009. Disponível em: http://proxy.furb.br/tede/tde_arquivos/5/TDE-2010-08-30T065816Z-618/Publico/Diss%20Emerson%20Lubitz.pdf

MACHADO, R. E. **Simulação de Escoamento e Produção de Sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 166p. 2002. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-10072002-161200/pt-br.php>

MELO, H. A.; NÓBREGA, R. L. B.; RUFINO, I. A. A. Interfaces de integração entre modelos hidrológicos e sistemas de informação geográfica (SIG): avanços e desafios. In: IV Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 2008, Aracaju. Anais do IV SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 2008. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr4/arquivos/oral/33.swf>

MERRITT, W.S., LETCHER, R.A. & JAKEMAN, A.J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, 18, 761–799. 2003.

MIDDLETON, N. AND D. THOMAS. **World Atlas of Desertification.** Published for UNEP by Arnold Publ. 2nd. Edition. London. 1997. 182 p.

MINOTI, RICARDO TEZINI. **Abordagens Qualitativa e Quantitativa de Micro-Bacias Hidrográficas e Áreas Alagáveis de um Compartimento do Médio Mogi-Superior/SP.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.cipedya.com/web/FileDetails.aspx?IDFile=168282>

MITAS, L. & MITASOVA, H. Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention. **Water Resource Research**, 34, 505–516. 1998.

MITASOVA, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M. & IVERSON, L.R. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, 10 (5), 629–641. 1996.

MITASOVA H. AND L. MITAS. **Process Modeling and Simulations.** NCGIA Core Curriculum in GIScience. NCGIA GISCC Unit130.1998. Disponível em: <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u130/u130.html>

MOLINA, U. A. Mejoramiento de los Suelos en un Sector de la Cuenca Hidrográfica Almendares-Vento y su Contribución a la Gestión Ambiental. Ciudad La Habana. Cuba. **Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio.** 2010. Disponível em: http://www.iga.cu/publicaciones/revista/cte_11/Art_2_11/art_2_11c.html

MOORE, I.D. et al. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, Vol. 5, 3-30 p 3-30. 1991.

MORENO DÍAZ, ALONSO; RENNER, ISABEL (Editores). **Gestión Integral de Cuencas, La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas**. Centro Internacional de la Papa (CIP), Peru, ISBN: 978-92-9060-297-2, 2007. Disponível em: www.condesan.org/cuencasandinas

MORGAN, R.P.C., MORGAN, D.D.V. & FINNEY, H.J. A predictive model for the assessment of erosion risk. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 30, 245–253. 1984.

MORGAN, R.P.C. QUINTON, J.N., SMITH, R.E., GOVERS, G., POESEN, J.W.A., AUERSWALD, K., CHISCI, G., TORRI, D. & STYCZEN, M.E. **The European soil erosion model (EUROSEM):** a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 527–544, 1998.

MORGAN R.P.C. A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan–Morgan–Finney model. **Catena** 44: 305–322. 2001.

MORO, M. **A utilização da interface SWAT-GIS no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-05042006-151112/pt-br.php>

NACHTERGAELE, FREDDY O. **Land Degradation Assessment Indicators and the LADA Project**. Land and Water development Division, FAO, Italy, 2005. Disponível em: <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/scape/uploads/113/Nachtergaele.pdf>

NACHTERGAELE, FREDDY O.; MONICA PETRI; RICCARDO BIANCALANI; GODERT VAN LYNDEN AND HARRIJ VAN VELTHUIZEN. **Global Land Degradation Information System (GLADIS)**. An Information database for Land Degradation Assessment at Global Level. Technical report n. 17 of the LADA FAO / UNEP Project. FAO/ISRIC/LADA/IIASA/IFPRI, 2010. Disponível em: http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=26&Itemid=165&lang=en

NEITSCH, S.L. J.G. ARNOLD, J.R.KIRINY, R.SRINIVASAN, J.R.WILLIAMS. **Soils and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation, Version 2005**. Grassland, Soil and Water Research Laboratory.Agricultural Research Service. Temple Texas. 2005. Disponível em: <http://swatmodel.tamu.edu/documentation> Acesso em: 20 de Março de 2008.

NEITSCH, S.L. J.G. ARNOLD, J.R.KIRINY, R.SRINIVASAN, J.R.WILLIAMS. **Soils and**

Water Assessment Tool. INPUT/OUTPUT file Documentation, Version 2005. Grassland, Soil and Water Research Laboratory. Agricultural Research Service. Temple Texas. 2004. Disponível em: <http://swatmodel.tamu.edu/documentation> Acesso em: 15 de Março de 2008.

NDOMBA, P.M.; PRICE. R.; NOBERT, J.; MUNISHI-KONGO, S.; MAGONA, D.; ROBERT, B.; et al. **Sediment Yield Modeling Using SWAT Model in Tropical Regions.** Cases of Rugezi, Koka Reservoir, Simiyu and Pangani Catchments in Rwanda, Ethiopia, Tanzania. Nile Basin Capacity Building Network (NBCBN-SEC) office. Hydraulics Research Institute, Cairo, Egypt. 2010. Disponível em: http://www.nbcbn.com/Project_Documents/Progress_Reports_2010/GIS_Modeling_Application_Cluster/GIS_Modeling_Application_SWAT.pdf?phpMyAdmin=1e796e9e294108ca4f0d0ff59673cc7e

NKONYA, E. ;GERBER, N.; BAUMGARTNER, P.;VON BRAUN, J. ; DE PINTO, A. ; GRAW, V.;KATO, E. ; KLOOS, J. ; WALTER, T. **The Economics of Desertification, Land Degradation, and Drought.** Toward an Integrated Global Assessment. IFPRI and ZEF. ISSN: 1436-9931 , Bon Germany, 2011, 184p. Disponível em http://www.unccd.int/knowledge/docs/EDLDD%20zef_dp_150.pdf

OLDEMAN, L. R. & M. FRÉRE. **A study of the agroclimatology of the humid tropics of South-East Asia.** WMO Technical Note No. 179, Geneva, 229 pp. 1982.

OLDEMAN, L.R., R.T.A. HAKKELING, AND W.G. SOMBROEK. **World map of the status of human-induced soil degradation:** An Explanatory note. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen. United Nations Environment Programme (UNEP), in cooperation with Winand Staring Centre, International Soil Science Society, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC). Netherlands. 1991. Disponível em: <http://library.wur.nl/isric/index2.html?url=http://library.wur.nl/WebQuery/isric/13883>

OLIVEIRA, Luís Gonçalves Longo de. **CALIBRAÇÃO RADIOMÉTRICA DE SENSORES ÓPTICOS.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2009.

OLIVERA, F.; VALENZUELA, M.; SRINIVASAN, R.; CHOI, J.; CHO, H.; KOKA, S. AND AGRAWAL A. **ARCGIS-SWAT:** A Geodata Model and Gis Interface for SWAT. Journal of the American Water Resources Association, JAWRA. 295-309 pp., 2006. Disponível em: <http://ssl.tamu.edu/media/11541/arcgis%20swat%20a%20geodata%20model%20and%20gis%20interface%20for%20swat.pdf>

OÑATE-VALDIVIESO, F. Y AGUILAR, N. G. Aplicación del Modelo SWAT para la Estimación de Caudales y Sedimentos en la Cuenca Alta del Rio Catamayo. TERCER CONGRESO LATINOAMERICANO DE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICA, 8 – 13 de junio, 2003. Arequipa, Perú. Disponível em: http://sig.utpl.edu.ec/sigutpl/Staftpro/hidrologia/swat_catamayo.pdf

OÑATE-VALDIVIESO, F. **Modelamiento Semidistribuido, con Información Escasa, de una Cuenca Hidrográfica para su Planificación Territorial.** Tesis en opción al grado científico de Doctor, DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA, Universidad de Alcalá, Madrid, España, 2009. Disponible em: <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?fichero=15039>

OTERO et al. **Nueva Metodología de Evaluación de la salinidad de los suelos de Cuba.** Instituto de Suelos. MINAGRI. La Habana, Cuba. 2005. Informe Técnico.

OTERO, M. A.; RIVERO, R.L.; GÁLVEZ, V. V.; BAS, V. E.; CABRERA, C. E. **Base informativa para la evaluación de los principales componentes del medio ambiente que afectan al cultivo del tabaco en la llanura sur de Pinar del Río.** Centro de Información y Gestión Tecnológica (CIGET), CITMA, Pinar del Río Vol.8 No.1 enero-marzo 2006 ISSN1562-3297. 2006. Disponible em: <http://www.ciget.pinar.cu/Revista/No.2006-1/base.htm>

OVANDO, ALEX. **Potenciales impactos del cambio climático en el ciclo hidrológico de la cuenca del Río Comarapa.** Fundación Amigos de la Naturaleza. PROAGRO Unidad Regional Valles, Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable. 2010. Disponible em http://cedoin-gtz.padep.org.bo/upload/rio_comarapa.pdf

PAIM, J.B.; MENEZES, J.T. Estimativa do Balanço Sedimentar da Bacia do Rio Tijucas (SC-Brasil) a Partir da Aplicação do Modelo Hidrológico SWAT. **Rev. Geogr. Acadêmica** v.3, n.2 Dezembro de 2009 (5-14) (xii.2009) ISSN 1678-7226. Disponible em: <http://www.rga.ggf.br>

PANEQUE, J.; MESA, S.; PODKRUGLIAT et al. **Base técnicas para la Cartografía de los suelos.** Dpto. de suelos y Agroquímicas. Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, La Habana, Cuba. Informe técnico. Pp 89-90. 1977.

PLANAS, G. **Pérdidas por erosión hídrica de los suelos de Cuba.** Instituto de Hidroeconomía, 60 pp. 1986.

PEÑA F., RIVEROL M., HERNÁNDEZ C., CABRERA E., ALFONSO C. A., LLANES J. M., LEÓN G., CASTRO N., AGUILAR Y. **Manejo de las coberturas como parte de un sistema integrado de lucha contra la erosión de los suelos en Cuba.** Disponible em: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/Ecosolar01/HTML/Articulo05.htm>

PEREIRA, JULIO CESAR DOMINGOS. **Aplicação do modelo hidrossedimentológico AVSWAT na bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeirinha-MG.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. 134pp., 2010. Disponible em: <http://adm-net-a.unifei.edu.br/phl/pdf/0037074.pdf>

PNUMA / ISRIC / FAO / ISSS. **Global and National Soils and Terrain Digital Databases (SOTER) Procedures Manual.** Land and Water Development Division. FAO

1995. Disponíbel em:
http://www.isric.org/sites/default/files/SOTER_Procedures_Manual_1995.pdf

PNUMA. Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe, GEO ALC 3. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ISBN: 978-92-807-2956-6, 2010. Disponíbel em:
<http://www.pnuma.org/geo/geoalc3/Doc%20COMPLETO/GEO%20ALC%203%20WEB%20VERSION%20C.pdf>

PNUMA. Perspectivas del medio ambiente mundial GEO 4, medio ambiente para el desarrollo. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ISBN: 978-92-807-2838-5, 2007. Disponíbel em: http://www.unep.org/geo/GEO4/report/GEO-4_Report_Full_ES.pdf

PNUMA. Geo - América Latina y el Caribe, Perspectivas del Medio Ambiente. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ISBN: 92-807-2295-6, 2003. Disponíbel em: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/GEO%20ALC%202003-espanol.pdf>

PNUMA. Geo - América Latina y el Caribe, Perspectivas del Medio Ambiente. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ISBN: 92-807-1845-2+, 2000. Disponíbel em: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/GEO%20ALC%20%202000-espanol.pdf>

POHLERT, T.; HUISMAN, J. A.; BREUER, L. AND FREDE, H.-G. Modelling of point and non-point source pollution of nitrate with SWAT in the river Dill, **Germany Advances in Geosciences**, 5, 7–12, 2005 SRef-ID: 1680-7359/adgeo/2005-5-7, European Geosciences Union, 2005. Disponíbel em: <http://www.adv-geosci.net/5/7/2005/adgeo-5-7-2005.pdf>

PONCE DE LEÓN, D. **Las reservas de carbono orgánico de los suelos minerales de Cuba. Aporte metodológico al cálculo y generalización espacial.** [inédito], tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. 2004.

PONCE DE LEÓN, D. Y BALMASEDA C. Exactitud Posicional y Temática de la Versión Digital del Mapa Nacional de Suelos de Cuba Escala 1:25000 (Serie Pinar del Río). **Mapping Interactivo, Revista Internacional de Ciencias de la Tierra.** ABRIL - MAYO ISSN: 1.131-9.100, 2008.

PONCE, D.; A. RENDA; J. P. MUKANDAMA ; T. PLACENCIA. **Estudio del Comportamiento Erosivo en el Pinar Con Asocio y Sin Asocio de Cultivos.** 1999. Disponíbel em: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/1068/cuf0116s.pdf>

PONVERT-DELISLES DÁMASO R. Leyenda de categorías de ocupación del suelo para Cuba, una herramienta imprescindible para abordar la cartografía de las coberturas

terrestres por teledetección. III CONGRESO NACIONAL GEOMÁTICA. 2002.

PRADO, Thais Barbosa Guarda. **Evolução do uso das terras e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jundiá-Mirim**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) Instituto Agronômico de Campinas. 2005. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/PoslAC/pdf/pb1803803.pdf>

PROAÑO, M.; GAVILANES, C.; VALENZUELA, P.; CISNEROS, C. **Aplicación del Modelo SWAT en la Subcuenca del Río Ambato**. Informe Técnico. Proyecto Cuencas Andinas – CODESAN - GTZ, 2006. Disponível em: http://www.condesan.org/apc-aa-files/1158f3a999a05a0de98536b388d23d2a/Informe_Final_SWAT.pdf

PROSSER, I. P., RUTHERFURD, I. D., OLLEY, J. M., YOUNG, W. J., WALLBRINK, P. J. AND MORAN, C. J. Large-scale patterns of erosion and sediment transport in river networks, with examples from Australia. **Marine and Freshwater Research** 52(1): 81-99. 2001.

PULIDO, J.; BOCCO, G. ¿Cómo se Evalúa la Degradación de Tierras? Panorama Global y Local. **INTERCIENCIA**, vol. 36, núm. 2, febrero, 2011, pp. 96-103. Asociación Interciencia Caracas, Venezuela. 2011. Disponível em http://www.interciencia.org/v36_02/096.pdf

RAHMAN AS-SYAKUR, A. et al. Medium Spatial Resolution Satellite Imagery to Estimate Gross Primary Production in an Urban Area. **Remote Sensing** 2010, 2, ISSN 2072-4292, 1496-1507. 2010. Disponível: www.mdpi.com/journal/remotesensing Acesso em: 22 de Março de 2009

RENARD, K.G., G.R. FOSTER, G.A. WEESIES, AND J.P. PORTER. **RUSLE**: Revised universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.* 46(1): 30-33. 1991.

RENARD, K.G., G.R. FOSTER, D.C. YODER, AND D.K. MCCOOL. **RUSLE revisited**: Status, questions, answers, and the future. *J. Soil Water Conserv.* 49(3): 213-220. 1994.

RENARD, K.G., G.R. FOSTER, G.A. WEESIES, D.K. MCCOOL, AND D.C. YODER. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Agriculture Handbook 703. Washington, D.C.: USDA, Agricultural Research Service, 384 p. 1997.

REICH, P.; ESWARAN, H. AND BEINROTH, F. **Global dimensions of vulnerability to wind and water erosion**. USDA Natural Resources Conservation Service, Washington DC, and University of Puerto Rico, Mayaguez, PR.. 2001. Disponível em: <http://soils.usda.gov/use/worldsoils/landdeg/papers/ersnpaper.html>

REYES, G. Diseño de una aplicación para el cálculo de la Ecuación de Universal de Pérdida de Suelos (USLE). En IV CONGRESO INTERNACIONAL DE GEOMÁTICA, La Habana, Memorias. [CD ROM] ISBN 959-237-117-2, 2004.

RICHARDS, J. AND MADRAMOOTOO, C. A. An investigation into the feasibility of using SWAT at the sub-basin level for simulating hydrologic conditions in Jamaica. Presented at the 5TH CARIBBEAN ENVIRONMENTAL FORUM, Jamaica, June 21-25, 2010. Disponível em:

http://www.mcgill.ca/files/cariwin/CEF2010_Richards_SWAT_paper.pdf

RIVERO, R. E. **Workbook of Climate Change Impacts Assessments in Agriculture: Basic Knowledge, Methodologies and Tools**, CCCCC / INSMET / Commonwealth Secretariat, Belmopan, 148 pp. 2008.

RIVERO, L.; SÁNCHEZ, I.; OTERO, L.; NAVARRO, N.; GÁLVEZ, V. Resultados de la aplicación de un Sistema de Información, Monitoreo y Soluciones Tecnológicas en áreas agrícolas de la cuenca Guantánamo-Guaso afectadas por la salinidad. **Rev. Cultivos Tropicales**, 23(4), 2002, p. 23-26.

RIVERO, L.; GÁLVEZ, V.; GAREA, E.; SÁNCHEZ, I.; OTERO, L.; OTERO, A.; ORTÍZ, C.; PÉREZ, B.; LABAUT, M. Y ESTRADA, J. **Sistema Integrado para la Toma de Decisiones, Dirigidas a la Conservación y Mejoramiento de los Suelos y del Medio Ambiente en Cuencas Hidrográficas y Unidades de Producción Agropecuaria**. Instituto de Suelos del MINAGRI. 2004.

RIVEROL, M. **La erosión potencial de los suelos de Cuba y los métodos para su mapiificación**. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". 1985. (inédito)

RIVEROL, M.; CASTRO, N. Y SHEPASHENKO, G. Mapa de erosión actual de los suelos de Cuba escala 1:2000000, en **Nuevo Atlas Nacional de Cuba**. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Geodesia y Cartografía, 1989. IX 1-4.

ROJAS, R. AND JULIEN, P. Y. Modeling sediment transport with CASC2D-SED. Procs. 22th AGU Hydrology Days, Colorado State University, Fort Collins, CO, 233-244. 2002.

ROQUE, A. R. **La sequía dentro de la problemática ambiental de la provincia de Camagüey**. La Habana. Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias Meteorológicas) – Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. 2006. 62 p. (inedito).

ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; LIMA, E.F.; SIQUEIRA, C.A.; MACEDO, D. Elaboração de uma Base Cartográfica e Criação de um Banco de Dados Georreferenciados da Bacia do rio Araguari - MG. In: **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari - rumo ao desenvolvimento sustentável**. Lima, S.C.; Santos, R.J. (Org.). Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/ Instituto de Geografia; Brasília; CNPq, 2004.

ROSA, ROBERTO. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia, USP**, 16 (2005) 81-90. 81 Disponível em:

<http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/article/viewFile/55/45>

ROSE, C. W., COUGHLAN, K. J., CIESIOLKA, C. A. A., AND FENTIE, B. Program GUEST (Griffith University Erosion System Template). In `A New Soil Conservation Methodology and Application to Cropping Systems in Tropical Steplands'. (Eds K. J. Coughlan and C. W. Rose.) pp. 34-58. ACIAR Technical Report No. 40. (ACIAR: Canberra.) 1997.

RUIZ, M.E., UTSET, A. Uso del modelo SWACROP para determinar las necesidades hídricas de la papa. I. Fundamento teórico. **Ciencias Tec. Agrop.** 7(1):23-30. 1998. Disponible em: <http://www.isch.edu.cu/grupos/giaf/Paginas/Principales%20PublicacionesDoc.htm>

RUIZ, M.E. **Utilización del modelo SWACROP en la simulación del uso del agua y el rendimiento de la papa (Solanum Tuberosum L. Cv. Desiree) en suelos Ferralíticos Rojos.** Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. La Habana, 100 pp. 1998.

RUIZ, M.E., UTSET, A. Uso del modelo SWACROP para determinar las necesidades hídricas de la papa.II. Propiedades hidráulicas del suelo. **Ciencias Tec. Agrop.** 8(1):61-65. 1999. Disponible em: <http://www.isch.edu.cu/grupos/giaf/Paginas/Principales%20PublicacionesDoc.htm>

RUIZ, M.E.; UTSET, A.; MEDINA, H.R.; FERRER, J.; DEL VALLE, A.; GARCÍA, J.; FLEITAS, E. A simple SWAP model version for estimating sugar cane yields under rainfed conditions. In: **Soils and Soil Physics in Continental Environment.** Allied Publishers, Chennai. India. 2003. Disponible em: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/932/93211107.pdf>

RUIZ, M. E.; W. SCHIETTECATTE; J. DÍAZ; W. M. CORNELIS; D. GABRIELS, et al. Aplicación de Rusle en la Cuenca V Aniversario (Río Cuyaguaje) en la zona occidental de Cuba. En VI CONGRESO DE LA SOCIEDAD CUBANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, La Habana, Memorias, CD – ROM Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, ISBN 959-7023-35-0, 2006.

RUIZ, M. E.; LÓPEZ, T.; MEDINA, H.; FERRER, M. y GARCÍA, J. **Aplicación de modelos agro hidrológicos para predecir el uso del agua y el rendimiento de cultivos.** Revisión. Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Grupo de Investigaciones Agrofísicas. Apdo. 18, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. 2006. Disponible em: http://www.isch.edu.cu/rcta/rcta_esp_2006/14emariaelenaruizUNAH_2006.htm

SÁMANO, M.L. **Desarrollo e Integración de Modelos Numéricos de Calidad del Agua en un Sistema de Información Geográfica.** Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, Santander, 2011. Disponible em: <http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/35687/9de9.MLSCreferencias.pdf?sequence=14>

SÁNCHEZ, C.M.A.; GELER, R.T., ROQUE, M.A.R.; RIBOT, G.M.; BATISTA, S.J.L.; MOLINA, U.A.; CUADRADO, E.L. y LONGUEIRA, L.A. **Estado del Arte del Uso de la Tecnología en la Gestión del Riesgo de Desastres "Naturales" en la Agricultura a Escala Nacional (Monografía)**. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTEC). Red Iberoamericana "Uso de las Tecnologías Espaciales Apoyadas en las TICs para la Evaluación, Monitoreo y Manejo de Desastres Naturales en la Agricultura (UTEEDA)" La Habana, Cuba, 2006. Disponível em: <http://uteeda.isch.edu.cu/Publicaciones-UTEEDA-CYTED/cuba/M3.swf>

SANCHEZ ORTA S. **Caracterización Morfométrica y Simulación del Balance de la Cuenca Tres Valles, S.L.P.** Tesis presentada para optar al grado de Maestro en Hidrociencias-Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Edo de México. 2010. Disponível em: http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/160/1/Sanchez_Orta_S_MC_Hidrociencias_2010.pdf

SANTHI, C., R. S. MUTTIAH, J. G. ARNOLD, AND R. SRINIVASAN. A GIS-Based Regional Planning Tool For Irrigation Demand Assessment and Savings Using SWAT. **Transactions of the ASAE**. 48(1): 137-147. 2005. Disponível em: <http://ssl.tamu.edu/media/11671/sw40721.pdf>

SANTHI, C., ARNOLD, J.G., WILLIAMS, J.R., DUGAS, W.A., SRINIVASAN, R., HAUCK, L.M. Validation of the SWAT Model on a Large River Basin with Point & Non-Point Sources. **Journal of the American Water Resources Association**, Vol. 37, No. 5, 1169-1188pp. October 2001. Disponível em: <http://ssl.tamu.edu/media/11881/validation%20of%20the%20swat%20model%20on%20a%20large%20river%20basin%20with%20point%20and%20nps.pdf>

SANTOS, RODRIGO DE OLIVEIRA. **Avaliação da produção de sedimento na bacia hidrográfica do rio Potengi através do modelo SWAT**. Dissertação (mestrado em Engenharia Sanitária.) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Natal, RN, 186 f, 2010. Disponível em: http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesdesimplificado//tde_arquivos/32/TDE-2011-04-06T065732Z-3335/Publico/RodrigoOS DISSERT 1-90.pdf

SANTOS, L. L. MODELOS HIDRÁULICOS-HIDROLÓGICOS: Conceitos e Aplicações. RBGF- **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, Vol.2, n.03, set-dez, 2009, 01-19. 2009. Disponível em: <http://www.ufpe.br/rbge/index.php/revista/article/viewFile/50/58>

SAXTON, K.E.; RAWIS, W.J. **Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions**. SOIL SCI. SOC. AM. J., VOL. 70, SEPTEMBER–OCTOBER, 2006.

SAXTON, K.E. **Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator (SWC)**. United States Department of Agriculture. Washington State University. Disponível em <http://hrsl.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>, Acesso em: 4 de Abril de 2009.

SCHMIDT, J.; SCHMIDT, W.; WERNER, M.V. AND A. MICHAEL. Actions against Soil Erosion at the Single Field and the Catchment Scale Guided by Computer Simulation. Pages 973-978. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds). 2001. Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10TH INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION MEETING held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. Disponible em: <http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco10/SustainingTheGlobalFarm/P118-Schmidt.pdf>

SCHOUTE, J.F.TH.et al. **Scenario Studies for the Rural Environment**. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 1995, 11-13p.

SELLERS, W. D. **Physical Climatology**. Instituto del Libro, La Habana, 272 pp. 1970.

SETEGN, S. G.; SRINIVASAN, R.; DARGAHI, B. AND MELESSE, A. M. Spatial delineation of soil erosion vulnerability in the Lake Tana Basin, Ethiopia. **Hydrol. Process**. Published online in Wiley InterScience DOI: 10.1002/hyp.7476. 2009. Disponible em: http://ssl.tamu.edu/media/11311/10.1002_hyp.pdf

SHARPLEY, A.N., AND WILLIAMS, J.R. **EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator**. USDA, Agricultural Research Service, Technical Bulletin No. 1768, Washington, D.C., 235 p., 1990.

SILVA, Oscar. El modelo SWAT en una cuenca pequeña de altas pendientes: Simulación de la producción de agua. **Agronomía Tropical**. [online]. vol.54, no.3, Maracay jul. 2004, p.275-291. ISSN 0002-192X. Disponible em http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-92X2004000300002&lng=es&nrm=iso

SILVA, Oscar. Evaluación del modelo hidrológico SWAT en la cuenca media del río Pao en Venezuela. **Rev. Fac. Agron. (UCV)** 36 (3): 134-145. 2010. Disponible em: www.revistaagronomiaucv.org.ve

SIVAPALAN, M., J.K RUPRECHT AND N.R. VINEY,. Water and salt balance modelling to predict the effects of land-use changes in forested catchments. 1. Small catchment water balance model, **Hydrological Processes**, 10, 393-411, 1996a.

SMITH, R.E., D.C. GOODRICH, AND J.N. QUINTON. Dynamic, distributed simulation of watershed erosion: The KINEROS2 and EUROSEM models, **Journal of Soil and Water Conservation**, 50(5):517-520. 1995.

SOLANO O, R., VÁZQUEZ, C. MENÉNDEZ, M., GONZÁLEZ, T. y GUTIÉRREZ,. **Evaluación científica de los riesgos asociados a la ocurrencia de la sequía meteorológica y agrícola en Cuba y la república Dominicana**. Informe final del Taller del proyecto Desarrollo Adaptación al Cambio Climático. República de Cuba. 2006. Disponible em: <http://uteeda.isch.edu.cu/Publicaciones-UTEEDA->

[CYTED/cuba/M3.swf](#)

SOIL SURVEY STAFF. **Claves para la Taxonomía de Suelos**. USDA. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Décima Edición. 2006.

SOIL SURVEY STAFF. (SSS). **Soil Taxonomy**. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2a. Ed. USDA. Agriculture Handbook N° 436. Soil Survey Staff. Washington D. C. 869 p. 1999.

SRINIVASAN, R., X. ZHANG, J. ARNOLD. SWAT Ungauged: Hydrological Budget and Crop Yield Predictions in the Upper Mississippi River Basin. **Transactions of the ASABE**. Vol. 53(5): 1533-1546. 2010. Disponible em: <http://ssl.tamu.edu/media/30657/umrb-ungaged.pdf>

SRINIVASAN, R., T. S. RAMANARAYANAN, J. G. ARNOLD AND S. T. BEDNARZ. Large area hydrologic modeling and assessment: Part II - model application. **Journal of American Water Resources Association**. 34(1): 91-102. 1998. Disponible em: <http://ssl.tamu.edu/media/11971/large%20area%20hydrologic%20modeling%20and%20assessment%20part%202.pdf>

SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G. Integration of a Basin-Scale Water Quality Model with GIS. **Water Resources Bulletin**, V.30, N.3, P.453-462, 1994.

STOCK, J. AND MONTGOMERY, D.R. Geologic constraints on bedrock river incision using the stream power law. **Journal of Geophysical Research**, 104: 4983-4993. 1999.

STOCKING, M.; CHAKELA, Q. & ELWELL, H. An Improved Methodology for Erosion Hazard Mapping Part I: The Technique Geografiska Annaler. **Series A, Physical Geography** Vol. 70, No. 3 (1988), pp. 169-180. 1988.

SULSOFT. Guia do ENVI em Português, 2010: Disponible: www.Sulsoft.com.br

TEILLET, P. M., BARKER, J. L., MARKHAM, B. L., IRISH, R. R., FEDOSEJEVS, G., STOREY, J. C. Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets. **Remote Sensing of Environment**, v. 78, p. 39-54, 2001a.

THORNES, J.B. The ecology of erosion. **Geography** 70: 222- 235. 1985.

TORRES-BENITES, E.; FERNÁNDEZ-REYNOSO, D.S.; OROPEZA-MOTA, J. L.; Y MEJÍA-SAENZ, E. Calibración del Modelo Hidrológico SWAT en la Cuenca “El Tejocote”, Atlacomulco, Estado de México. Redalyc, Sistema de Información Científica, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, **TERRA Latinoamericana**, Vol. 22, Núm. 4, octubre-diciembre, 2004, pp. 437-444 Universidad

Autónoma Chapingo México. ISSN (Versión impresa): 0187-5779. 2004. Disponible em: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57311096007>

TSVETSINSKAYA, E. A., C. B. SCHAAF, F. GAO, A. H. STRAHLER, R. E. DICKINSON, X. ZENG, AND W. LUCHT. Relating MODIS-derived surface albedo to soils and rock types over Northern Africa and the Arabian peninsula. **Geophysical Research Letters**, VOL. 29, NO. 9, 1353, 10.1029/2001GL014096, 2002.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN). **Estrategia Mundial para la Conservación**. 1980. Disponible em: <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/WCS-004-Es.pdf> Acceso em: 24/08/2011

USDA. **ArcSWAT interface for SWAT (Soils and Water Assessment Tool)**. Disponible em: <http://swatmodel.tamu.edu/software/arcswat>, Acceso em: 20 de Março de 2008.

USDA. **National Soil Survey Handbook. Part 618-Soil Properties and Qualities**. (430-VI-NSSH, Amend, 19, November 2010). Disponible em: <http://soils.usda.gov/technical/handbook/contents/part618.html#04>

URIBE, R. N. y QUINTERO M. **Aplicación del Modelo Hidrológico SWAT (Soil And Water Assessment Tool) a la Cuenca del Rio Cañete**. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali, Colombia. 2011. Disponible em: http://www.minam.gob.pe/valoracion/application/webroot/imgs/archivos/modelo_hidrologico_swat.pdf

UTSET, A.; RUIZ, M.E.; MEDINA, H.; DEL VALLE, A. y GAREA, E. A modeling-GIS approach for estimating sugar-cane yields in some Cuban soils. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, vol. 11, número 001, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba pp. 33-45, 2002. ISSN (Versión impresa): 1010-2760. Disponible em: <http://intranet.isch.edu.cu/grupos/giaf/CVMER.htm>

UZEIKA, Talita. **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. Disponible em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/19124/000717244.pdf?sequence=1>

VALERO, F. L. y GONZÁLEZ, R. A. **Caracterización Hidrológica de la Cuenca Chambas**. Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos, Ciego de Ávila. 2001.

VALLEJO, O. y A. MARTÍNEZ. Metodología para la cartografía digital de la erosión hídrica del suelo en un sector del municipio de Moa. **Revista Minería y Geología** Volumen 17 Número 3-4, 2000 p. 11-17. Disponible em: <http://opac.univalle.edu.co/cgi-olib?infile=details.glu&loid=572013&rs=2589853&hitno=-1>

VAN DEN BERG, M. & P. TEMPEL.,. **SWEAP**: A computer program for water erosion assessment applied to SOTER: Documentation version 1.5 SOTER Report 7. International Society of Soil Science, ISSS-UNEP-ISRIC, Wageningen. 1995.

VAN GRIENSVEN, A.; MEIXNER, T.; GRUNWALD, S.; BISHOP, T.; DILUZIO, M.; SRINIVASAN, R. A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models. **Journal of Hydrology** 324 (2006) 10–23. Disponível em: http://soils.ifas.ufl.edu/faculty/grunwald/home/PDFs/Hydrology_globsens_2006.pdf

VAN GRIENSVEN, A. **Sensitivity, auto-calibration, uncertainty and model evaluation in SWAT2005**. Artigo técnico. 2005. Disponível em: http://biomath.ugent.be/~ann/swat_manuals/SWAT2005_manual_sens_cal_unc.pdf

VAN LYNDEN, G.W.J.; MANTEL, S.; OOSTRUM, A. VAN. **Guiding Principles for the Quantitative Assessment of Soil Degradation. With a focus on salinization, nutrient decline and soil pollution**. FAO/ISRIC. Rome, 2004. Disponível em: http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=44&Itemid=166&lang=en

VAN LYNDEN, G.W.J. **Guidelines for the Assessment of Soil Degradation in Central and Eastern Europe**. FAO and ISRIC. Report 97/08b (Revised edition) 2000, 22p.

VAN LYNDEN, G.W.J.; OLDEMAN, LR. **The Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation in South and Southeast Asia**. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, Holanda. 1997, 35 p.

VAN OOST, K., GOVERS, G., DESMET, P. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage, **Landscape Ecology**, 15: 577-589. 2000.

VANTOUR, A.; SOTO, F.; GAREA, E. Y MARTÍN, G. **Las Características Edafoclimáticas y las Zonas Agroecológicas de la Cordillera de Guaniguanico**. Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados (GEPROP), Cuba. 2009. Disponível em: http://www.cenatav.co.cu/doc/PapersGarea/2009/05_2009.pdf

VÁZQUEZ MONTENEGRO R. **Sistema de seguimiento temporal y espacial de índices agrometeorológicos novedosos en Cuba**. La Habana. Tesis (en opción al título de Máster en Protección Vegetal) – Universidad de La Habana. 2000. 74 p. (inédito)

VEGA, MARINA. **Evaluación de la Erosión de los Suelos en las Regiones Cársicas de La Habana Mediante el Nuevo Método EVERC**. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Geociencias. La Habana, 2006, 175p. inédita.

VERNIER, F.; BORDENAVE, P.; CHAVENT, M.; LECCIA, O.; PETIT, K. Modelling scenarios of agriculture changes on freshwater uses and water quality at a large watershed scale – the case of the Charente watershed (France). International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs) 2010 INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL MODELLING AND SOFTWARE MODELLING FOR ENVIRONMENT'S SAKE, FIFTH BIENNIAL MEETING, Ottawa, Canada. Disponível em: <http://www.iemss.org/iemss2010/index.php?n=Main.Proceedings>

VERTESSY, R.A., WATSON, F.G.R., RAHMAN, J.M., SEATON, S.P., CHIEW, F.H., SCANLON, P.J., MARSTON, F.M., LYMBURNER, L., JEANELLE, S. AND VERBUNT, M. New software to aid water quality management in the catchments and waterways of the south-east Queensland region. Proceedings of the THIRD AUSTRALIAN STREAM MANAGEMENT CONFERENCE, Brisbane, August 2001, CRC for Catchment Hydrology, Volume 2, pp. 611-616. 2001.

WAGENER, T.; WHEATER, H.; GUPTA, H. V. **Rainfall-Runoff modeling in gauged and ungauged catchments**. Imperial College Press. 306 p. 2004.

WHIPPLE, K. X., AND G. E. TUCKER,. Dynamics of the stream power river incision model: Implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales and research needs, **J. Geophys. Res.**, 104, 17,661– 17,674, 1999.

WILKINSON SN, PROSSER IP, OLLEY JM, READ A. Using sediment budgets to prioritize erosion control in large river systems. In: Batalla RC and Garcia C. (eds) **Geomorphological Processes and Human Impacts in River Basins**, IAHS Red Book Publ. no. 299: 56-64. 2005.

WILLIAMS, J.R., C.A. JONES, AND P.T. DYKE. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. **Trans. ASAE** 27:129-144. 1984.

WILLIAMS, J.R. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. p. 244-252. In PRESENT AND PROSPECTIVE TECHNOLOGY FOR PREDICTING SEDIMENT YIELD AND SOURCES: Proceedings of the sediment yield workshop, USDA Sedimentation Lab., Oxford, MS, November 28-30, 1972. ARS-S-40. 1975.

WILLIAMS, J.R., A.D. NICKS, AND J.G. ARNOLD. Simulator for water resources in rural basins. **Journal of Hydraulic Engineering** 111(6): 970-986. 1985.

WILSON, J.P., LAM, C.S. and DENG, Y.X. Comparison of performance of flow-routing algorithms used in Geographic Information Systems, **Hydrological Processes**, 21: 1026–1044. 2007. Disponível em: http://spatial.usc.edu/Users/christineslam/Wilson_et_al_2007.pdf

WINCHELL, M., R. SRINIVASAN, M. DI LUZIO, J. ARNOLD. **ArcSWAT interface for SWAT 2005**. User's Guide. Blackland Research Center. Texas Agricultural Experiment

Station. 2007.

WISCHMEIER, W.H. AND D.D. SMITH. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**. Agriculture Handbook 282. USDA-ARS. 1965.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting Rainfall Erosion Losses – a Guide to Conservation Planning**. Agriculture Handbook No. 537. U.S.D.A., Washington, D.C., United States of America. 1978.

WOOLHISER, D.A., R.E. SMITH AND D.C. GOODRICH. **KINEROS, A kinematic runoff and erosion model**: documentation and user manual. USDA-Agricultural Research Service, ARS-77,pp 130. 1990.

XAVIER, FERNANDA VIEIRA. **Contribuições Metodológicas ao Estudo da Produção e Distribuição Espacial de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do rio Manso, Utilizando o Modelo AVSWAT**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, 166pp, 2009. Disponível em: http://pgfa.ufmt.br/index.php?option=com_docman&Itemid=236&limitstart=20

XIAONING GONG, LARS GUNNAR MARKLUND, & SACHIKO TSUJI. **Land Use Classification**. Proposed to Be Used in the System of Integrated Environmental and Economic Accounting (SEEA). (Draft Version). FAO. 2009. Disponível em: http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/londongroup/meeting14/LG14_10a.pdf

YANG, J.; P. REICHERT; K.C. ABBASPOUR; J. XIA; H. YANG. Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. **J. Hydrol.** 358: 1-23. 2008.

YOUNG, R.A., ONSTAD, C.A., BOSCH, D.D., AND ANDERSON, W.P. AGNPS: A Non-Point-Source Pollution Model for Evaluating Agricultural Watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation**, vol. 44, pp. 168:173. 1989.

YOUNG R., ONSTAD, C., BOSCH, D., ANDERSON, W. **Agricultural Nonpoint Source Pollution Model**: A Watershed Analysis Tool, Model Documentation, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Morris, MN. 1986.

ZHANG, X., R. SRINIVASAN, AND M. VAN LIEW. Multi-Site Calibration of the SWAT Model for Hydrologic Modeling, **Transactions of the ASABE**. 51(6): 2039-2049. 2008. Disponível em: <http://ssl.tamu.edu/media/11451/sw7442.pdf>

ZHANG, X., SRINIVASAN, R., BOSCH, D. Calibration and uncertainty analysis of the SWAT model using Genetic Algorithms and Bayesian Model Averaging, **Journal of Hydrology** (2009), doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.06.023. Disponível em: <http://ssl.tamu.edu/media/11251/calibrationanduncertaintyanalysisofswat.pdf>

APÊNDICES

Apêndice 1: Pontos de observação dos solos realizados nos trabalhos de campo durante os anos 2009-2011.

No.	Pontos	Coor_X	Coor_Y	Subtipo Código	Descrição
1	CHAM1	715738	250429	VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico; em calcário, carbonatado; moderadamente profundo, camada arável profunda, bem humificado, forte erosão, bem drenado, textura franco argilosa, pouco cascalho, muito pedregoso; profundidade efetiva (31cm), pouco profundo e ligeiramente ondulado.
2	CHAM2	715619	252827	VIG42	Pardo Sialítico Vértico, em arenito calcário, carbonatado; moderadamente profundo, camada arável profunda, moderadamente humificado, forte erosão, imperfeitamente drenado; textura argilosa, profundidade efetiva (30 cm) pouco profundo e declividade levemente ondulada.
3	CHAM6	712896	254850	VIG42	Pardo Sialítico Vértico, em rochas ígneas básicas, moderadamente profundo, camada arável moderadamente profunda, moderadamente humificado, pouca erosão, imperfeitamente drenado; textura argilosa, profundidade efetiva (32 cm) pouco profundo e declividade levemente ondulada.
4	CHAM7	710279	253399	VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico, em rochas ígneas básicas, contato paralítico; profundo, camada arável muito profunda, moderadamente humificado, pouca erosão, moderadamente a bem drenado; textura Franca, profundidade efetiva (48 cm) moderadamente profunda e declividade levemente ondulada.
5	CHAM10	708802	256671	VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico, em rochas ígneas básicas, contato lítico; pouco profundo, camada arável profunda, moderadamente humificado, erosão media, moderadamente bem drenado; textura franca arenosa, profundidade efetiva (15 cm) muito pouco profunda e declividade ondulada.
6	CHAM11	707915	258720	VIG30	Pardo Sialítico Ócrico, em rochas ígneas básicas, contato lítico; moderadamente profundo, camada arável profunda, moderadamente humificado, forte erosão, imperfeitamente drenado; textura franca argilosa, profundidade efetiva (14 cm) muito pouco profunda e declividade levemente ondulada.
7	CHAM12	715311	260574	XIIIV12	Pouco Evolucionado, Lithosol Eútrico, em calcário duro, contato lítico, carbonatado e lítico; pouco profundo, camada arável pouco profunda, moderadamente humificado, mediana erosão, demasiado drenado; textura franca, profundidad efetiva (8 cm) extremadamente pouco profundo e declividade ondulada.
8	CHAM13	713845	262953	VF30	Fluvisol Típico, em materiais aluviais o deluviais recente, carbonatado; profundo, camada arável muito profunda, moderadamente humificado, moderadamente bem drenado, textura franca argilo arenosa, profundidade efetiva (65 cm) profundo e plano.
9	CHAM15	711727	262832	VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico, em calcário duro, carbonatado e eutrício; moderadamente profundo,

					camada arável muito profunda, humificado, forte erosão, bem drenado, textura argilosa, pouco cascalho, profundidade efetiva (34cm) pouco profundo, levemente ondulado.
10	CHAM16	718042	268117	VIIIL40	Vertisol Crómico, Típico, em materiais aluviais o deluviais recente, lixiviado; muito profundo, camada arável muito profunda, moderadamente humificado, extremadamente débil gleyzação, imperfeitamente drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (77cm) profundo e plano.
11	CHAM18	719040	278559	VIIIL16	Vertisol Crómico, Gléyico en profundidad, em materiais aluviais o deluviais recente, salinizado e carbonatado, Profundo, camada arável profunda, humificado, salino, levemente alto conteúdo de sódio, muito débil gleyzação, mal drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (24cm), pouco profundo e muito plano.
12	CHAM19	718331	276027	VIIIL16	Vertisol Crómico, Gléyico en profundidad, em materiais aluviais o deluviais recente, salinizado e carbonatado; profundo, camada arável profunda, humificado, débilmente salino, muito débil gleyzação, mal drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (17cm) muito pouco profundo e plano.
13	CHAM20	717401	266847	VIIIL40	Vertisol Crómico, Típico, em materiais aluviais o deluviais recente, carbonatado e eutrício; moderadamente profundo, camada arável moderadamente profunda, moderadamente humificado, muito débil gleyzação, imperfeitamente drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (75cm) profundo e plano.
14	CHAM23	714485	255189	VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico, em rocha ígnea básica, eutrício; profundo, camada arável moderadamente profunda, moderadamente humificado, pouca erosão, bem drenado, textura franca, profundidade efetiva, (52cm) moderadamente profundo, levemente ondulado.
15	CHAM24	709649	253316	VF27	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico, em rocha ígnea ultrabásica, contato lítico, ferromagnésia; pouco profundo, camada arável profunda, moderadamente humificado, mediana erosão, moderadamente bem drenado; textura argilo arenosa, moderadamente com cascalho, profundidade efetiva (15 cm) muito pouco profundo e declividade ondulada, em premontane.
16	CHAM25	709047	251675	VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico, em rocha ultrabásica, lítico e ferromagnésia; pouco profundo, camada arável profunda, humificado, muito forte erosão, bem drenado, textura franco argilo arenosa, pouco cascalho, excessiva pedregosidad, profundidade efetiva (15cm) muito pouco profundo, e ondulada.
17	CHAM27	703181	249198	VIG30	Pardo Sialítico Pardo, Ócrico, em calcário suave, lítico e carbonatado; moderadamente profundo, camada arável profunda, humificado, mediana erosão, bem drenado, textura franco argilo arenosa, moderadamente com cascalho, muito pedregoso, profundidade efetiva (25cm) pouco profundo e ondulado.

18	CHAM28	704694	250448	VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico, em rocha ígnea básica, lítico e eutrico; pouco profundo, camada arável moderadamente profunda, moderadamente humificado, forte erosão, bem drenado, textura argilo arenosa, moderadamente com cascalho, muito pedregoso, profundidade efetiva (10cm) muito pouco profundo e ondulada.
19	CHAM29	704013	259321	VIG30	Pardo Sialítico Pardo, Ócrico, em rocha ígnea básica, lítico; moderadamente profundo, camada arável moderadamente profunda, humificado, mediana erosão, bem drenado, textura franco argilo arenosa, moderadamente com cascalho, profundidade efetiva (13cm) muito pouco profundo e ondulado.
20	CHAM31	704272	259278	VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico, em rocha ígnea básica, lítico e eutrico; moderadamente profundo, camada arável profunda, pouco humificado, forte erosão, bem drenado, textura franca, pouco cascalho, muito pedregoso profundidade efetiva (24cm) pouco profundo e ondulado.
21	CHAM35	707908	267938	IXM40	Hidromórfico Gley Vértico, Típico, em materiais aluviais o deluviais recente, lixiviado; profundo, camada arável profunda, humificado, forte gleyzação, muito mal drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (25cm) pouco profundo e plano.
22	CHAM37	708872	267574	VIIIL40	Vertisol Crómico, Típico, em materiais aluviais o deluviais recente, carbonatado e eutrico, profundo, camada arável profunda, muito humificado, muito débil gleyzação, imperfeitamente drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (20cm) muito pouco profundo e plano.
22	CHAM38	713109	265905	XIQ42	Fluvisol, Vértico, em materiais aluviais o deluviais recente, eutrico; profundo, camada arável muito profunda, imperfeitamente drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (66cm), profundo e plano.
23	CHAM43	717947	272949	VIIIL16	Vertisol Crómico, Gléyico em profundidad, em materiais aluviais o deluviais recente, lixiviado; profundo, camada arável profunda, humificado, muito débil gleyzação, mal drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (51cm) moderadamente profundo e plano.
24	CHAM46	717817	283225	VIG42	Pardo Sialítico Pardo, Vértico, em calcário duro, lítico e carbonatado; moderadamente profundo, camada arável profunda, humificado, pouca erosão, imperfeitamente drenado, textura argilosa, pouco cascalho, profundidade efetiva (50cm) moderadamente profundo e plano.
25	CHAM48	717267	285473	VIG27	Pardo Sialítico Pardo, Mullido, em calcário dura, lítico e carbonatado; pouco profundo, camada arável profunda, muito humificado, pouca erosão, bem drenado, textura argilo arenosa, pouco cascalho, profundidade efetiva (15cm) muito pouco profundo e levemente ondulado.
26	CHAM49	717058	285550	XIIS35	Histosol Mesico, Salinizado, em marga e depósitos orgânicos, muito fortemente salinos e lítico; pouco profundo, camada arável profunda, muito humificado, muito fortemente salino, extremadamente alto conteúdo de sódio, muito forte gleyzação, muito mal drenado, textura franca, profundidade efetiva (20cm) muito pouco profundo e muito plano.

27	CHAM50	716840	285501	XIIS35	Histosol Mesico, Salinizado, em marga e depósitos orgânicos, muito fortemente salinos e lítico; pouco profundo, camada arável profunda, muito humificado, muito fortemente salino, extremadamente alto conteúdo de sódio, muito forte gleyzação, muito mal drenado, textura franca, profundidade efetiva (20cm) muito pouco profundo e muito plano.
28	CHAM51	717362	281462	VIIIL16	Vertisol Crômico, Gléyico en profundidad, em materiais aluviais o deluviais recente, lavado; profundo, camada arável muito profunda, humificado, moderadamente salino, muito débil gleyzação, mal drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (35cm) pouco profundo e muito plano.
29	CHAM52	717111	281933	VIIIL16	Vertisol Crômico, Gléyico en profundidad, em materiais aluviais o deluviais recente, lixiviado; profundo, camada arável muito profunda, humificado, moderadamente salino, muito débil gleyzação, mal drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (35cm) pouco profundo e muito plano.
30	CHAM53	716862	282380	VIIIL16	Vertisol Crômico, Gléyico en profundidad, em materiais aluviais o deluviais recente, lixiviado; profundo, camada arável profunda, moderadamente humificado, muito débil gleyzação, mal drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (22cm) pouco profundo e muito plano.
31	CHAM56	706044	250887	VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico, em rocha ultrabásica, lítico e ferromagnésial; Pouco profundo, camada arável moderadamente profunda, moderadamente humificado, forte erosão, bem drenado, textura franco argilo arenosa, moderadamente com cascalho, muito pedregoso profundidade efetiva (10cm), muito pouco profundo e ondulada.
32	CHAM58	708168	250995	VIG42	Pardo Sialítico Pardo, Vértico, em arenito calcário, carbonatado; pouco profundo, camada arável moderadamente profunda, moderadamente humificado, forte erosão, imperfeitamente drenado, textura argilosa, profundidade efetiva (10cm), muito pouco profundo e ondulado.
33	CHAM59	707479	259959	VIG30	Pardo Sialítico Pardo, Ócrico, em rocha ígnea básica, lítico e eutrício; pouco profundo, camada arável profunda, moderadamente humificado, pouca erosão, bem drenado, textura franco arenosa, pedregoso, profundidade efetiva (15cm) muito pouco profundo, ondulado.
34	CHAM60	710318	252783	VF30	Fersialítico Pardo Rojizo, Ócrico, em rocha ígnea básica, lítico; pouco profundo, camada arável moderadamente profunda, moderadamente humificado, mediana erosão, bem drenado, textura franco arenosa, profundidade efetiva (12cm) muito pouco profundo e levemente ondulado.

Apêndice 2: Banco de dados de solo para sua entrada em SWAT.

SNAM	FLUVI SOLCALCICO	FERRA AMLTIPICO	FLUVIS OLGLEYICO	SODIC OMULIDO	SODIC OGLE YICO	HISTOS OLMES SALI	FERSIA PRMULIDO	FERSI APROCRICO	FLUVI SOLTIPICO	FLUVIS OLVERTICO	GLEVEY RTICOTIPICO	LITHOS OLDISTRICO	LITHOS OLEUTRICO	PARD OCALCICO	PARD OMULIDO	PARD OOCRICO	PARD OVERTICO	RENDZ INANE GRA	RENDZ INA ROJA	SALI NOTIPICO	VERTI SOLC GPRO	VERTI SOLC MULLI	VERTI SOLC TIPICO
NLAYERS	4	5	2	1	6	1	1	2	2	4	5	1	1	2	2	3	3	1	1	2	2	3	3
HYDRP	B	A	C	B	D	D	B	C	C	C	D	B	B	C	B	C	C	B	B	D	D	D	D
SOLZMX	1.300,00	1.280,00	300,00	150,00	2.000,00	200,00	120,00	400,00	550,00	1.000,00	1.500,00	50,00	80,00	320,00	400,00	450,00	700,00	150,00	120,00	300,00	482,00	700,00	750,00
SOLZI	160,00	220,00	180,00	150,00	250,00	200,00	120,00	240,00	240,00	250,00	210,00	50,00	80,00	140,00	250,00	165,00	180,00	150,00	120,00	250,00	254,00	250,00	120,00
SOLBD1	1,46	1,37	1,64	1,10	1,15	1,18	1,26	1,43	1,31	1,23	1,25	1,20	1,25	1,22	1,27	1,41	1,26	1,10	1,20	1,13	1,25	1,28	1,28
SOLA WC1	0,11	0,06	0,08	0,07	0,06	0,08	0,14	0,13	0,13	0,12	0,09	0,10	0,07	0,12	0,17	0,15	0,14	0,13	0,11	0,09	0,09	0,10	0,10
SOLKI	17,09	122,97	4,90	8,45	4,71	7,88	7,23	8,81	3,02	2,72	1,81	13,88	8,66	4,39	44,51	7,13	3,25	13,30	6,24	5,65	2,03	0,97	0,81
SOLCBN1	1,48	1,84	3,22	8,32	4,48	20,10	4,90	1,24	2,89	2,87	3,58	4,30	3,32	4,30	3,58	1,82	2,42	9,16	4,92	4,30	4,06	3,01	2,29
CLAY1	19,25	6,40	25,48	39,11	75,60	44,23	38,30	26,02	44,23	52,33	66,83	25,87	25,87	46,84	11,80	29,10	46,84	39,11	39,11	77,91	70,67	75,63	75,63
SILT1	31,25	7,10	8,73	31,45	18,67	28,84	26,04	36,85	28,84	31,77	26,84	32,77	32,77	35,70	48,60	39,53	35,70	31,45	31,45	19,17	23,16	14,37	14,37
SAND1	49,50	86,50	65,79	29,44	5,73	26,93	35,66	37,13	26,93	15,90	6,33	41,36	41,36	17,46	39,60	31,37	17,46	29,44	29,44	2,92	6,17	10,00	10,00
ROCK1	9,00	0,00	0,00	66,10	0,00	0,00	10,00	19,00	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00	11,00	9,00	0,00	0,00	36,00	70,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLALB1	0,31	0,19	0,31	0,35	0,35	0,23	0,23	0,23	0,31	0,31	0,28	0,17	0,17	0,23	0,23	0,23	0,23	0,20	0,20	0,28	0,22	0,22	0,22
USLEK1	0,06	0,03	0,04	0,05	0,02	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03
SOL_EC1	0,00	0,00	0,00	14,28	51,24	51,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,16	0,00	0,00	0,00
SOL_ZZ	340,00	450,00	300,00	0,00	400,00	0,00	0,00	400,00	550,00	650,00	370,00	0,00	0,00	320,00	400,00	325,00	400,00	0,00	0,00	300,00	482,00	500,00	400,00
SOLBD	1,60	1,43	1,79	0,00	1,28	0,00	0,00	1,42	1,41	1,33	1,31	0,00	0,00	1,39	1,51	1,61	1,44	0,00	0,00	1,28	1,26	1,30	1,30

2																								
SO L A W C2	0,08	0,05	0,07	0,00	0,07	0,00	0,00	0,12	0,13	0,13	0,10	0,00	0,00	0,12	0,15	0,15	0,12	0,00	0,00	0,08	0,10	0,11	0,11	
SO L K2	21,08	128,57	2,70	0,00	1,02	0,00	0,00	2,26	1,08	1,03	0,50	0,00	0,00	0,29	9,29	3,18	0,09	0,00	0,00	0,53	0,83	0,30	0,30	
SO L CB N2	1,02	1,19	1,65	0,00	2,80	0,00	0,00	1,04	1,08	0,86	2,44	0,00	0,00	1,59	0,56	0,63	1,08	0,00	0,00	1,08	1,34	1,08	0,97	
CL AY 2	16,65	4,75	24,25	0,00	79,96	0,00	0,00	37,60	43,54	50,23	69,82	0,00	0,00	53,00	20,73	21,54	53,00	0,00	0,00	78,86	69,54	75,98	75,98	
SI LT 2	16,22	4,98	6,38	0,00	12,92	0,00	0,00	29,31	30,06	33,56	18,33	0,00	0,00	28,39	46,72	52,37	28,39	0,00	0,00	11,89	25,33	16,36	16,36	
SA ND 2	67,13	90,27	69,37	0,00	7,12	0,00	0,00	33,09	26,40	16,21	11,85	0,00	0,00	18,61	32,55	26,09	18,61	0,00	0,00	9,25	5,13	7,66	7,66	
R O CK 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L AL B2	0,31	0,19	0,31	0,00	0,35	0,00	0,00	0,23	0,31	0,31	0,28	0,00	0,00	0,23	0,23	0,23	0,23	0,00	0,00	0,28	0,22	0,22	0,22	
US LE _K 2	0,05	0,01	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,03	0,00	0,00	0,04	0,04	0,06	0,04	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	
SO L EC 2	0,00	0,00	0,00	0,00	55,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,60	1,32	0,00	0,00	
SO L Z3	690,00	560,00	0,00	0,00	700,00	0,00	0,00	0,00	0,00	700,00	650,00	0,00	0,00	0,00	0,00	450,00	700,00	0,00	0,00	0,00	0,00	700,00	750,00	
SO L BD 3	1,62	1,60	0,00	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00	1,26	1,26	
SO L A W C3	0,12	0,08	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,11	
SO L K3	7,64	8,09	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	14,24	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,72	
SO L CB N3	0,31	0,77	0,00	0,00	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,63	
CL AY 3	20,64	27,33	0,00	0,00	79,96	0,00	0,00	0,00	0,00	50,23	75,92	0,00	0,00	0,00	0,00	10,71	47,44	0,00	0,00	0,00	0,00	78,90	78,90	
SI LT 3	34,10	3,01	0,00	0,00	12,92	0,00	0,00	0,00	0,00	33,56	17,26	0,00	0,00	0,00	0,00	43,86	23,19	0,00	0,00	0,00	0,00	16,68	16,68	
SA ND 3	45,26	69,66	0,00	0,00	7,12	0,00	0,00	0,00	0,00	16,21	6,82	0,00	0,00	0,00	0,00	45,43	29,37	0,00	0,00	0,00	0,00	4,42	4,42	

ROCK3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLALB3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
USLEK3	0,05	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03
SOLEC3	0,00	0,00	0,00	0,00	49,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	2,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,00
SOLZ4	1.300,00	900,00	0,00	0,00	1.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.000,00	1.050,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLBD4	1,62	1,69	0,00	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	1,42	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLAWC4	0,13	0,08	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLK4	5,52	3,97	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLCBN4	0,09	0,49	0,00	0,00	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CLAY4	22,25	28,43	0,00	0,00	79,96	0,00	0,00	0,00	0,00	50,23	77,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SILT4	38,30	3,27	0,00	0,00	12,92	0,00	0,00	0,00	0,00	33,56	12,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAND4	39,45	68,30	0,00	0,00	7,12	0,00	0,00	0,00	0,00	16,21	10,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ROCK4	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLALB4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
USLEK4	0,05	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLEC4	0,00	0,00	0,00	0,00	64,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLZ5	0,00	1.280,00	0,00	0,00	1.500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLBD5	0,00	1,79	0,00	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOL	0,00	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A W C5																								
SO L K5	0,00	4,76	0,00	0,00	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L CB N5	0,00	0,32	0,00	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CL AY 5	0,00	23,91	0,00	0,00	79,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SI LT 5	0,00	3,97	0,00	0,00	12,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SA ND 5	0,00	72,12	0,00	0,00	7,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
R O CK 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L AL B5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
US LE _K 5	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L EC 5	0,00	0,00	0,00	0,00	69,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L Z6	0,00	0,00	0,00	0,00	2.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L BD 6	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L A W C6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L K6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L CB N6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CL AY 6	0,00	0,00	0,00	0,00	79,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SI LT 6	0,00	0,00	0,00	0,00	12,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SA ND 6	0,00	0,00	0,00	0,00	7,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
R O CK 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

AL B6																							
US LE _K 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO L EC 6	0,00	0,00	0,00	0,00	67,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Apêndice 3: Banco de dados morfométricos gerados por SWAT, das sub-bacias de Chambas.

No. da Subb.	Área subb. (ha)	Perímetro (m)	Declividade da subb. (%)	Declividade do rio princ. (%)	Largura do rio princ. (m)	Profundidade do rio princ. (m)	Lat. do centroide	Long. do centroide	Elev. do centroide da subb.	Elev. Min. da subb.	Elev. Max. da subb.
1	472,74	12.095,71	0,81	0,03	3,28	0,24	22,37	-78,89	5,45	0	42
2	165,84	6.776,12	0,57	0,09	1,75	0,16	22,36	-78,89	4,23	1	18
3	314,92	10.669,65	4,26	0,27	2,57	0,21	22,36	-78,87	31,52	2	125
4	449,05	12.453,29	0,1	0,05	3,18	0,24	22,36	-78,91	2,47	1	6
5	0,06	108,42	0,16	0,15	0,01	0,01	22,35	-78,9	2	2	2
6	187,77	8.395,01	0,37	0,1	1,88	0,17	22,35	-78,88	4,81	2	17
7	397,30	9.210,44	1,62	0,26	2,95	0,23	22,35	-78,87	17,06	4	70
8	129,95	6.946,47	0,19	0,06	1,51	0,14	22,34	-78,88	5,26	4	10
9	375,61	13.486,52	6,82	0,49	2,85	0,22	22,35	-78,86	40,73	5	130
10	204,54	7.225,50	0,12	0,08	1,98	0,17	22,34	-78,89	3,62	2	6
11	52,36	4.841,27	0,27	0,13	0,87	0,1	22,33	-78,87	5,94	5	9
12	18,65	3.200,01	0,23	0,2	0,47	0,07	22,33	-78,87	6,1	5	8
13	135,26	5.558,75	0,26	0,13	1,55	0,15	22,33	-78,87	7,92	6	12
14	326,50	10.330,65	1,41	0,16	2,62	0,21	22,34	-78,85	16,64	7	65
15	366,64	10.678,54	0,22	0,18	2,81	0,22	22,3	-78,89	8,17	5	15
16	582,65	11.946,01	0,15	0,09	3,71	0,26	22,33	-78,91	4,84	2	8
17	493,89	11.787,77	0,23	0,14	3,36	0,25	22,31	-78,9	9,26	5	17
18	204,34	7.635,88	0,16	0,13	1,98	0,17	22,32	-78,87	7,57	5	10
19	134,92	7.408,56	0,17	0,03	1,54	0,15	22,31	-78,92	8,38	7	11
20	351,13	10.059,08	0,22	0,05	2,74	0,21	22,3	-78,88	12,21	8	17
21	449,88	18.051,25	0,21	0,11	3,18	0,24	22,3	-78,9	8,5	2	17
22	501,71	13.729,29	0,15	0,13	3,4	0,25	22,3	-78,86	10,18	7	16
23	680,30	16.389,41	0,19	0,09	4,08	0,28	22,29	-78,93	11,67	7	19
24	265,91	9.373,14	0,27	0,21	2,32	0,19	22,29	-78,91	12,25	7	17
25	240,57	8.150,43	0,22	0,1	2,18	0,18	22,27	-78,9	17,15	15	21
26	159,99	7.792,60	0,23	0,1	1,71	0,16	22,27	-78,9	17,52	15	21

27	52,78	4.032,59	0,18	0,2	0,88	0,1	22,28	-78,94	13,79	12	15
28	852,18	16.639,47	0,23	0,16	4,67	0,31	22,27	-78,88	15,6	8	22
29	142,59	7.095,45	0,24	0,15	1,6	0,15	22,27	-78,93	16,24	15	19
30	388,67	16.843,64	0,37	0,09	2,91	0,22	22,3	-78,88	11,9	5	20
31	262,87	9.737,19	0,24	0,36	2,3	0,19	22,25	-78,9	22,69	17	28
32	288,30	9.917,07	0,23	0,19	2,43	0,2	22,26	-78,94	18,68	15	24
33	313,19	10.506,40	0,24	0,24	2,56	0,21	22,25	-78,92	22,53	17	29
34	70,75	5.095,00	1,55	0,1	1,05	0,11	22,25	-78,89	21,03	17	25
35	417,94	11.872,47	0,21	0,14	3,04	0,23	22,26	-78,95	16,14	12	21
36	11,57	1.786,31	0	0,1	0,35	0,05	22,25	-78,95	20	20	20
37	180,89	8.410,40	0,21	0,03	1,84	0,16	22,24	-78,96	20,88	20	24
38	1.242,65	23.003,37	0,24	0,21	5,85	0,36	22,28	-78,91	19	7	32
39	450,37	13.172,82	0,32	0,22	3,18	0,24	22,22	-78,9	27,55	20	35
40	427,47	12.515,88	0,31	0,23	3,08	0,23	22,22	-78,94	28,82	20	36
41	140,77	5.949,43	0,33	0,21	1,58	0,15	22,23	-78,96	22,84	20	26
42	122,36	6.726,49	0,54	0,22	1,46	0,14	22,22	-78,97	29,17	24	40
43	550,67	10.371,45	2,14	0,13	3,59	0,26	22,21	-78,99	37,62	27	85
44	124,92	5.445,99	0,49	0,28	1,47	0,14	22,22	-78,97	27,91	24	34
45	974,15	19.420,11	0,29	0,25	5,06	0,32	22,22	-78,92	28,25	17	40
46	49,56	3.233,90	0,5	0,35	0,85	0,1	22,21	-78,96	30,86	28	35
47	685,97	17.698,32	0,32	0,25	4,1	0,28	22,23	-78,94	30,2	20	42
48	364,77	10.388,51	7,28	0,57	2,8	0,22	22,2	-78,98	70,44	29	285
49	418,40	9.787,43	8,65	0,45	3,04	0,23	22,19	-78,97	70,36	33	285
50	452,22	17.017,56	14,77	0,82	3,19	0,24	22,19	-78,99	117,55	27	370
51	632,13	20.982,63	2,36	0,07	3,9	0,27	22,2	-78,9	31,32	20	40
52	1.388,55	21.046,13	1,68	0,24	6,25	0,37	22,19	-78,94	40,33	20	145
53	271,94	7.936,80	1,45	0,54	2,35	0,19	22,19	-78,96	41,61	33	82
54	338,89	10.797,54	28,79	3,23	2,68	0,21	22,17	-78,98	234,93	55	445
55	367,74	8.593,14	19,78	0,63	2,82	0,22	22,17	-78,96	144,97	55	415
56	281,65	10.894,21	8,72	0,89	2,4	0,2	22,17	-78,92	85,99	30	195
57	197,46	8.166,31	27,19	6,86	1,94	0,17	22,16	-78,96	223,39	55	385

58	815,03	17.222,27	11,4	0,38	4,54	0,3	22,16	-78,93	81,06	30	165
59	49,25	2.850,17	25,36	0,1	0,84	0,1	22,15	-78,94	95,7	55	170
60	172,87	7.235,79	13,53	0,29	1,79	0,16	22,14	-78,94	93,98	55	165
61	598,03	11.764,59	16,75	1,18	3,77	0,27	22,15	-78,97	165,73	65	445
62	125,32	5.067,51	12,12	0,66	1,48	0,14	22,15	-78,93	89,74	60	165
63	221,50	7.876,60	14,94	0,29	2,08	0,18	22,14	-78,94	88,54	55	180
64	99,91	4.785,98	18,26	0,63	1,29	0,13	22,15	-78,96	121,74	60	281
65	265,37	6.892,94	11,64	2,07	2,32	0,19	22,14	-78,91	110,28	70	210
66	662,09	16.345,52	6,83	0,86	4,01	0,28	22,14	-79,04	152,88	110	210
67	201,42	7.161,85	8,05	0,41	1,96	0,17	22,14	-79,01	121,94	100	145
68	242,06	7.022,79	12,08	1,75	2,19	0,19	22,13	-79,01	133,16	100	230
69	154,14	6.075,12	2,82	0,69	1,67	0,15	22,13	-78,96	78,84	65	100
70	851,00	16.809,30	14,16	0,74	4,66	0,31	22,16	-79	162,19	85	395
71	97,89	6.123,90	1,7	0,75	1,27	0,13	22,14	-78,95	74,62	60	100
72	97,91	4.903,82	4,29	0,37	1,27	0,13	22,13	-78,97	88,96	80	115
73	208,43	6.755,06	2,41	0,1	2	0,17	22,12	-78,94	87,07	70	104
74	25,91	2.136,38	6,1	0,1	0,57	0,08	22,13	-78,98	92,31	85	110
75	251,01	7.328,88	9,64	0,45	2,24	0,19	22,13	-79,03	134,92	110	195
76	638,22	14.092,11	9,19	0,33	3,92	0,27	22,13	-78,99	113,92	85	230
77	262,91	8.200,04	10,57	0,74	2,3	0,19	22,13	-79,04	160,26	125	205
78	310,54	9.724,23	7,53	0,3	2,55	0,2	22,13	-78,91	111,2	70	225
79	1,37	567,86	6,3	0,1	0,1	0,02	22,12	-78,91	81,98	80	88
80	91,27	4.795,84	11,95	0,5	1,22	0,13	22,12	-79,03	144,51	125	193
81	799,61	12.491,33	7,05	0,97	4,49	0,3	22,12	-78,9	123,51	80	240
82	224,55	7.247,06	3,31	0,38	2,1	0,18	22,12	-78,96	84,87	70	110
83	349,99	9.369,62	11,28	1,76	2,74	0,21	22,11	-79,02	184,76	130	250
84	322,35	9.275,48	5,38	1,27	2,6	0,21	22,11	-78,9	114,17	80	252
85	198,61	7.343,07	5,04	0,61	1,95	0,17	22,1	-78,96	101,04	80	145
86	637,06	14.474,94	2,64	0,65	3,92	0,27	22,12	-78,93	92,49	60	140
87	47,23	2.970,28	3,87	0,51	0,82	0,1	22,11	-78,95	89,13	80	110
88	328,76	9.295,66	4,14	0,27	2,63	0,21	22,12	-78,97	90,82	80	150

89	253,99	8.890,54	12,85	1,22	2,26	0,19	22,12	-79,04	169,42	130	210
90	245,93	8.736,72	12,6	0,78	2,21	0,19	22,12	-79,01	150,42	120	210
91	265,51	10.086,67	7,93	0,74	2,32	0,19	22,11	-78,99	112,52	85	190
92	163,70	6.379,56	3,01	0,65	1,73	0,16	22,11	-78,92	95,29	80	120
93	216,70	8.125,06	6,59	0,97	2,05	0,18	22,1	-79,04	193,63	155	250
94	236,71	7.302,37	16,83	0,96	2,16	0,18	22,1	-79,01	170,64	120	240
95	227,83	6.823,39	11,31	0,7	2,11	0,18	22,1	-79,03	193,38	154	250
96	178,79	6.654,01	6,57	0,47	1,83	0,16	22,1	-78,97	104,34	90	166
97	298,07	8.553,16	9,81	0,48	2,48	0,2	22,1	-78,98	112,88	90	190
98	1,41	487,63	16,38	0,32	0,1	0,02	22,09	-78,98	108,65	105	126
99	174,58	5.550,33	12,44	5,78	1,8	0,16	22,1	-78,99	144,39	107	210
100	315,73	10.800,12	3,65	1,07	2,57	0,21	22,09	-78,95	117,71	85	185
101	277,49	8.801,69	9,94	1,75	2,38	0,2	22,08	-78,98	142,95	105	200
102	72,77	4.535,70	5,43	1,25	1,07	0,11	22,09	-78,96	114,32	100	145
103	579,54	11.468,84	7,94	0,75	3,7	0,26	22,09	-78,9	137,02	96	252
104	505,08	11.331,19	15,51	1,62	3,41	0,25	22,09	-79,01	190,26	115	250
105	88,41	4.429,32	7,63	0,64	1,2	0,12	22,09	-78,99	123,23	106	175
106	283,30	9.178,70	6,98	1,2	2,41	0,2	22,08	-78,97	135,46	100	200
107	818,85	14.886,27	6,45	0,63	4,56	0,3	22,08	-78,94	128,83	85	305
108	253,93	9.313,77	15,33	1,08	2,26	0,19	22,08	-79	166,15	115	255
109	416,60	10.129,20	9,36	0,65	3,04	0,23	22,07	-78,97	167,95	110	285
110	320,39	10.028,42	10,06	0,87	2,59	0,21	22,07	-78,95	165,83	110	260
111	774,91	15.693,80	9,02	0,96	4,41	0,29	22,08	-78,92	164,51	95	305
112	254,55	7.605,36	10,13	0,88	2,26	0,19	22,07	-78,99	173,89	130	285
113	108,14	5.688,74	12,69	0,74	1,35	0,13	22,07	-79	157,38	130	200
114	338,86	9.014,02	10,9	1,87	2,68	0,21	22,06	-78,99	194,07	140	284
115	942,37	15.141,03	11,19	1,08	4,96	0,32	22,06	-79,02	197,5	140	280

Apêndice 4: Banco de dados da produção de sedimentos gerados por SWAT, das sub-bacias de Chambas, cenários 2 e 4.

SUB/SYLD (t/ha)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	0,01	0,25	0,22	0,17	0,01	0,14	0,08	0,19	0,31	0,11	0,33	0,03	0,05	0,12	0,10	0,12	0,14	0,18	0,11	0,03	0,06
2	0,03	0,43	0,40	0,37	0,02	0,33	0,20	0,34	0,53	0,22	0,56	0,09	0,14	0,27	0,26	0,30	0,31	0,38	0,31	0,07	0,17
3	0,00	0,47	0,29	0,20	0,00	0,19	0,07	0,26	0,64	0,10	0,62	0,01	0,04	0,13	0,08	0,11	0,18	0,19	0,08	0,01	0,04
4	0,06	0,27	0,52	0,30	0,04	0,21	0,24	0,33	0,30	0,18	0,38	0,12	0,13	0,26	0,19	0,27	0,21	0,31	0,23	0,06	0,11
5	0,00	0,08	0,08	0,04	0,00	0,06	0,01	0,04	0,10	0,02	0,12	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,00	0,02
6	0,05	0,26	0,44	0,33	0,04	0,25	0,26	0,27	0,33	0,19	0,51	0,11	0,12	0,25	0,19	0,29	0,22	0,30	0,26	0,07	0,11
7	0,01	0,58	0,40	0,30	0,01	0,33	0,14	0,32	0,76	0,17	0,65	0,05	0,09	0,22	0,19	0,23	0,30	0,33	0,21	0,04	0,11
8	0,04	0,23	0,39	0,28	0,03	0,22	0,21	0,24	0,31	0,15	0,48	0,09	0,10	0,22	0,16	0,24	0,20	0,26	0,22	0,05	0,10
9	0,00	0,08	0,10	0,13	0,00	0,02	0,03	0,20	0,19	0,03	0,51	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,00	0,01
10	0,02	0,24	0,31	0,22	0,02	0,19	0,15	0,20	0,29	0,13	0,41	0,06	0,08	0,17	0,14	0,19	0,18	0,22	0,19	0,04	0,09
11	0,02	0,15	0,23	0,17	0,02	0,13	0,13	0,14	0,20	0,09	0,28	0,05	0,06	0,13	0,10	0,15	0,12	0,15	0,14	0,03	0,06
12	0,03	0,32	0,36	0,29	0,02	0,25	0,19	0,25	0,39	0,17	0,48	0,08	0,11	0,22	0,19	0,25	0,24	0,28	0,25	0,06	0,12
13	0,03	0,45	0,38	0,34	0,02	0,30	0,20	0,30	0,52	0,21	0,55	0,08	0,12	0,25	0,24	0,30	0,32	0,34	0,28	0,07	0,15
14	0,02	0,22	0,20	0,20	0,01	0,14	0,07	0,19	0,28	0,09	0,36	0,04	0,05	0,13	0,11	0,11	0,12	0,18	0,12	0,03	0,06
15	0,01	0,18	0,17	0,15	0,01	0,14	0,08	0,13	0,22	0,09	0,24	0,03	0,06	0,11	0,10	0,13	0,13	0,15	0,13	0,03	0,07
16	0,02	0,06	0,23	0,16	0,03	0,12	0,14	0,10	0,09	0,10	0,23	0,04	0,04	0,13	0,07	0,13	0,07	0,13	0,10	0,03	0,04
17	0,01	0,21	0,19	0,16	0,01	0,15	0,10	0,15	0,25	0,10	0,27	0,04	0,06	0,12	0,12	0,14	0,15	0,17	0,15	0,03	0,08
18	0,03	0,50	0,45	0,38	0,02	0,38	0,22	0,36	0,60	0,24	0,66	0,09	0,15	0,30	0,29	0,35	0,37	0,40	0,35	0,07	0,19
19	0,06	0,14	0,47	0,29	0,04	0,17	0,28	0,23	0,21	0,15	0,51	0,11	0,09	0,23	0,12	0,25	0,15	0,24	0,22	0,06	0,07
20	0,01	0,21	0,18	0,16	0,01	0,15	0,09	0,15	0,25	0,10	0,26	0,04	0,06	0,12	0,12	0,14	0,15	0,16	0,14	0,03	0,08
21	0,01	0,14	0,12	0,11	0,01	0,10	0,06	0,10	0,16	0,06	0,18	0,03	0,04	0,08	0,08	0,10	0,10	0,11	0,10	0,02	0,05
22	0,01	0,23	0,22	0,18	0,01	0,17	0,09	0,17	0,28	0,10	0,32	0,04	0,06	0,13	0,12	0,15	0,16	0,18	0,15	0,03	0,08
23	0,02	0,27	0,24	0,20	0,01	0,20	0,12	0,19	0,32	0,13	0,36	0,05	0,08	0,16	0,15	0,19	0,20	0,21	0,19	0,04	0,10
24	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
27	0,02	0,35	0,32	0,27	0,01	0,26	0,15	0,25	0,43	0,16	0,47	0,06	0,10	0,21	0,20	0,23	0,25	0,28	0,24	0,05	0,13
28	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

31	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
33	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
34	0,41	2,20	3,95	1,90	0,23	1,14	1,46	1,82	2,29	0,98	1,90	2,52	3,57	5,08	3,76	6,59	4,28	6,50	5,01	1,08	1,91
35	0,01	0,14	0,12	0,10	0,01	0,10	0,06	0,10	0,15	0,06	0,17	0,02	0,04	0,08	0,07	0,09	0,09	0,10	0,09	0,02	0,05
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
37	0,15	0,28	0,74	0,35	0,06	0,26	0,31	0,40	0,27	0,18	0,31	0,60	0,74	1,09	0,79	1,31	0,81	1,27	1,06	0,27	0,48
38	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
40	0,00	0,06	0,06	0,05	0,00	0,05	0,02	0,05	0,08	0,02	0,09	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,01	0,02
41	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
42	0,15	0,61	1,24	0,57	0,06	0,37	0,50	0,74	0,63	0,34	0,60	0,27	0,28	0,49	0,35	0,53	0,40	0,59	0,44	0,10	0,22
43	0,35	1,00	2,21	1,11	0,17	0,63	1,03	1,31	1,10	0,65	1,00	0,59	0,61	1,04	0,74	1,09	0,77	1,19	0,91	0,26	0,45
44	0,01	0,15	0,15	0,10	0,00	0,09	0,03	0,11	0,15	0,05	0,18	0,02	0,03	0,07	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	0,01	0,04
45	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
46	0,12	0,35	0,83	0,38	0,04	0,19	0,39	0,48	0,33	0,21	0,31	0,19	0,20	0,33	0,23	0,37	0,25	0,41	0,30	0,07	0,13
47	0,07	0,24	0,51	0,26	0,03	0,15	0,23	0,30	0,26	0,14	0,26	0,12	0,13	0,22	0,17	0,25	0,19	0,28	0,20	0,05	0,09
48	0,67	2,82	5,48	2,70	0,27	1,42	2,38	3,01	2,81	1,39	2,35	1,17	1,38	2,10	1,60	2,42	1,70	2,79	2,03	0,47	0,87
49	0,69	2,51	5,17	2,50	0,24	1,28	2,29	2,89	2,44	1,29	2,13	1,11	1,30	1,98	1,51	2,25	1,55	2,58	1,88	0,44	0,81
50	0,68	3,49	7,53	3,39	0,35	2,03	3,13	3,81	3,97	1,90	3,08	1,48	1,76	2,75	1,96	3,26	2,29	3,74	2,61	0,63	1,11
51	0,12	1,10	1,07	0,82	0,05	0,79	0,36	0,82	1,26	0,42	1,28	0,22	0,30	0,60	0,54	0,58	0,56	0,78	0,63	0,16	0,36
52	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00
53	0,89	3,10	6,69	3,15	0,33	1,55	2,99	3,67	2,98	1,67	2,59	1,50	1,68	2,53	1,93	2,92	1,96	3,26	2,40	0,56	1,02
54	0,36	1,84	3,09	1,48	0,14	0,81	1,29	1,64	1,76	0,76	1,39	0,62	0,76	1,17	0,87	1,33	0,97	1,54	1,08	0,25	0,46
55	0,81	2,81	5,96	2,80	0,28	1,34	2,66	3,24	2,66	1,45	2,21	1,28	1,52	2,23	1,69	2,56	1,68	2,90	2,13	0,50	0,89
56	0,37	1,49	3,39	1,47	0,18	0,84	1,40	1,81	1,70	0,88	1,36	0,73	0,81	1,28	0,88	1,42	1,01	1,55	1,14	0,27	0,51
57	3,89	16,52	30,79	15,19	1,43	6,88	13,50	16,50	15,05	7,33	12,27	6,56	8,10	11,34	8,86	13,18	8,38	14,86	11,07	2,47	4,41
58	0,28	1,50	3,34	1,45	0,16	0,82	1,36	1,68	1,78	0,84	1,39	0,70	0,81	1,26	0,89	1,41	1,01	1,61	1,12	0,27	0,48
59	0,90	5,16	11,11	5,42	0,58	2,94	4,58	5,40	6,18	2,79	4,37	2,31	2,79	4,23	3,04	5,17	3,72	5,47	4,06	0,90	1,74
60	0,00	0,03	0,04	0,02	0,00	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01	0,14	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00
61	2,52	15,15	30,02	13,85	1,45	9,29	13,27	16,99	18,52	8,65	14,71	5,59	6,86	11,17	8,20	13,38	9,79	15,58	10,75	3,09	4,78
62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
63	0,76	4,57	9,73	4,61	0,50	2,68	4,01	4,73	5,51	2,46	3,81	1,95	2,40	3,64	2,62	4,44	3,13	5,04	3,60	0,85	1,50
64	2,50	10,25	21,28	9,91	1,01	5,15	9,23	11,18	10,32	5,26	8,30	4,52	5,26	7,79	5,85	9,14	6,08	10,36	7,51	1,80	3,12
65	0,00	0,13	0,09	0,07	0,00	0,02	0,02	0,14	0,18	0,02	0,42	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,01	0,00	0,00
66	0,85	7,03	11,77	5,29	0,44	3,83	4,53	6,35	8,19	3,16	6,54	1,98	2,45	4,24	2,97	4,72	3,81	5,79	3,75	0,91	1,64

67	2,52	15,09	35,84	14,25	1,47	9,09	13,97	18,21	18,55	8,88	14,88	6,88	7,79	12,64	8,73	13,90	10,58	16,68	10,81	2,54	4,58
68	0,95	6,65	13,37	5,48	0,55	3,49	5,09	6,70	7,75	3,28	5,93	2,53	3,00	4,72	3,35	5,11	4,06	6,27	4,04	0,96	1,71
69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70	2,05	10,96	21,53	9,68	0,90	5,99	8,89	11,52	11,91	5,56	9,89	4,13	4,79	7,78	5,58	8,91	6,43	10,41	7,15	1,72	3,04
71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
72	0,29	2,25	5,11	1,97	0,19	1,59	1,99	2,50	2,82	1,33	2,30	0,84	0,95	1,73	1,12	2,00	1,49	2,38	1,50	0,40	0,66
73	0,30	1,89	4,37	1,80	0,19	1,50	1,67	2,16	2,40	1,11	1,94	0,85	0,89	1,56	1,04	1,80	1,35	2,11	1,40	0,36	0,59
74	1,52	9,84	22,20	8,86	0,90	5,85	8,56	11,00	11,88	5,50	9,30	4,12	4,76	7,70	5,31	8,56	6,48	10,24	6,59	1,63	2,82
75	0,63	5,10	9,92	4,07	0,38	2,87	3,76	4,96	6,11	2,54	4,72	1,72	2,06	3,47	2,36	3,87	3,06	4,71	2,96	0,74	1,29
76	1,60	11,09	25,57	10,15	1,00	7,10	10,37	13,81	14,53	6,70	11,52	4,46	5,11	8,77	5,85	10,09	7,57	12,05	7,67	1,95	3,32
77	0,00	2,13	1,02	0,65	0,00	0,71	0,23	0,71	2,35	0,35	1,76	0,03	0,16	0,44	0,29	0,39	0,66	0,67	0,30	0,05	0,14
78	0,00	0,14	0,09	0,04	0,00	0,05	0,02	0,06	0,18	0,03	0,12	0,00	0,01	0,03	0,02	0,03	0,05	0,05	0,02	0,00	0,01
79	0,71	7,84	13,50	5,43	0,47	4,43	5,09	6,86	9,09	3,63	6,91	2,01	2,48	4,53	2,86	5,23	4,10	6,32	3,89	1,03	1,69
80	0,53	7,13	8,85	3,97	0,30	3,04	3,10	4,62	7,97	2,32	5,70	1,41	1,90	3,23	2,28	3,38	3,25	4,42	2,65	0,61	1,16
81	0,59	4,12	8,21	3,39	0,31	2,43	3,23	4,32	4,89	2,13	3,90	1,43	1,66	2,91	1,95	3,25	2,50	3,86	2,50	0,62	1,07
82	0,47	3,31	7,74	3,00	0,30	2,25	3,02	3,86	4,15	1,99	3,40	1,34	1,50	2,66	1,75	3,03	2,26	3,59	2,28	0,58	0,99
83	0,02	9,41	4,55	2,82	0,01	3,31	1,03	3,06	10,67	1,64	7,33	0,13	0,72	1,99	1,32	1,77	3,07	3,03	1,37	0,23	0,65
84	0,65	4,08	9,72	3,81	0,39	2,59	3,79	4,90	5,02	2,42	4,07	1,82	2,02	3,41	2,31	3,79	2,85	4,46	2,86	0,70	1,23
85	1,25	8,00	18,19	7,23	0,74	4,79	7,04	9,03	9,69	4,49	7,60	3,39	3,91	6,31	4,37	7,00	5,31	8,41	5,43	1,34	2,32
86	0,36	1,60	3,84	1,59	0,17	1,31	1,48	1,94	1,87	0,93	1,52	0,88	0,83	1,43	0,96	1,54	1,29	1,81	1,17	0,31	0,50
87	0,51	3,48	8,19	3,17	0,32	2,35	3,20	4,09	4,33	2,08	3,55	1,44	1,60	2,83	1,87	3,20	2,39	3,77	2,40	0,61	1,04
88	1,09	5,78	13,92	6,32	0,77	3,82	6,18	7,54	7,81	3,87	6,58	3,04	3,50	5,49	3,87	6,49	4,75	7,74	5,43	1,35	2,27
89	0,01	4,09	1,92	1,20	0,00	1,37	0,43	1,28	4,46	0,67	3,19	0,05	0,31	0,82	0,55	0,74	1,28	1,26	0,57	0,10	0,27
90	0,01	9,57	4,64	2,69	0,01	3,10	1,19	3,56	10,16	1,70	6,86	0,10	0,63	1,99	1,11	1,74	2,81	2,69	1,25	0,19	0,53
91	0,44	6,27	8,77	3,71	0,28	3,06	3,23	4,99	7,31	2,47	5,53	1,25	1,59	3,12	1,91	3,40	2,96	4,16	2,51	0,61	1,07
92	0,82	3,64	8,40	3,58	0,37	2,40	3,40	4,30	4,00	2,04	3,27	1,79	1,93	3,06	2,17	3,40	2,61	3,94	2,65	0,64	1,13
93	0,00	6,32	3,30	1,71	0,00	1,92	1,01	3,20	6,51	1,29	4,48	0,05	0,32	1,39	0,53	1,19	1,65	1,51	0,73	0,08	0,24
94	0,02	12,80	6,13	3,79	0,01	4,45	1,39	4,02	14,36	2,19	9,78	0,17	0,97	2,66	1,77	2,38	4,14	4,06	1,84	0,31	0,86
95	0,01	4,76	2,19	1,37	0,00	1,58	0,50	1,47	5,14	0,77	3,61	0,06	0,35	0,94	0,62	0,84	1,45	1,44	0,65	0,11	0,31
96	1,06	6,16	14,45	5,79	0,61	3,55	5,62	7,27	7,43	3,52	5,86	2,85	3,23	5,14	3,60	5,60	4,26	6,69	4,35	1,02	1,85
97	0,45	5,76	8,10	3,67	0,30	2,83	3,20	4,63	6,90	2,31	5,23	1,27	1,65	2,97	1,99	3,36	2,93	4,24	2,63	0,65	1,13
98	0,01	6,90	3,05	1,75	0,00	2,04	0,77	2,25	6,70	1,08	4,37	0,05	0,42	1,27	0,70	1,14	1,84	1,70	0,79	0,11	0,33
99	0,57	9,20	11,93	5,18	0,38	4,34	4,57	6,88	10,71	3,38	7,85	1,63	2,20	4,14	2,67	4,67	4,16	5,92	3,51	0,91	1,55
100	1,11	5,22	11,77	4,97	0,50	3,12	4,92	6,11	5,80	2,97	4,83	2,25	2,57	4,20	2,95	4,83	3,41	5,62	3,80	0,94	1,64
101	0,38	8,45	6,65	3,49	0,17	3,08	2,18	3,83	8,94	1,96	6,27	0,83	1,37	2,63	1,84	2,66	3,11	3,73	2,11	0,44	0,93
102	0,21	0,97	2,21	0,92	0,09	0,60	0,90	1,14	1,12	0,55	0,90	0,45	0,47	0,82	0,54	0,89	0,68	1,05	0,69	0,19	0,30

103	2,22	8,77	19,22	8,66	0,87	4,66	8,32	10,33	9,08	4,79	7,80	3,90	4,55	6,99	5,14	8,11	5,51	9,31	6,56	1,58	2,78
104	0,02	10,55	5,72	3,43	0,01	4,11	1,30	3,83	13,08	2,05	9,16	0,16	0,85	2,54	1,66	2,26	3,91	3,86	1,73	0,27	0,81
105	0,00	2,11	1,12	0,69	0,00	0,75	0,27	0,91	2,55	0,40	2,07	0,03	0,15	0,48	0,29	0,42	0,69	0,71	0,31	0,05	0,14
106	1,22	7,58	13,61	5,84	0,53	3,69	5,21	7,34	8,08	3,51	6,20	2,36	2,98	4,74	3,41	5,19	3,98	6,16	4,19	0,89	1,81
107	1,38	5,87	13,37	5,76	0,59	3,37	5,69	7,07	6,30	3,34	5,33	2,66	3,03	4,84	3,47	5,56	3,86	6,39	4,41	1,06	1,88
108	0,01	5,84	2,74	1,73	0,00	1,94	0,62	1,88	6,43	0,96	4,69	0,08	0,43	1,17	0,77	1,04	1,80	1,79	0,81	0,14	0,38
109	0,04	0,68	0,54	0,53	0,01	0,41	0,17	0,48	0,82	0,20	0,79	0,09	0,13	0,28	0,28	0,25	0,29	0,39	0,29	0,05	0,16
110	0,03	0,58	0,46	0,45	0,01	0,34	0,14	0,41	0,71	0,17	0,69	0,07	0,11	0,24	0,23	0,21	0,24	0,33	0,24	0,04	0,13
111	1,24	4,56	9,34	4,53	0,43	2,32	4,15	5,28	4,48	2,35	3,88	2,00	2,33	3,55	2,73	4,06	2,78	4,67	3,41	0,78	1,46
112	0,64	4,64	6,15	3,11	0,24	2,03	2,48	3,47	4,73	1,63	3,69	1,10	1,43	2,34	1,76	2,58	2,14	3,19	2,15	0,49	0,93
113	0,02	10,79	5,29	3,15	0,01	3,75	1,22	3,44	12,01	1,85	8,00	0,13	0,78	2,27	1,45	2,05	3,52	3,32	1,54	0,22	0,69
114	0,01	6,12	2,93	1,72	0,01	1,71	0,83	2,75	6,08	1,10	4,49	0,05	0,33	1,19	0,51	1,03	1,49	1,41	0,65	0,08	0,24
115	0,01	5,66	2,94	1,64	0,00	1,85	0,80	2,52	6,23	1,09	4,46	0,06	0,35	1,25	0,62	1,08	1,66	1,58	0,74	0,10	0,29

Apêndice 5: Banco de dados morfométricos gerados por SWAT, dos rios principais de Chambas.

No. Rio	Sub-bacia	Área drenagem Acum. (ha)	Comprimento rio (m)	Declividade rio (%)	Largura rio (m)	Profundidade rio (m)	Altitude min. rio (m)	Altitude máx. rio (m)
1	1	38.092,62	3.404,36	0,03	45,61	1,40	0,00	1,04
2	2	24.263,18	1.638,98	0,09	34,80	1,17	1,04	2,50
3	3	314,92	985,80	0,27	2,57	0,21	2,50	5,17
4	4	13.356,69	2.964,23	0,05	24,32	0,92	1,05	2,62
5	5	11.842,57	45,58	0,15	22,63	0,88	2,62	2,69
6	6	23.782,43	1.845,42	0,10	34,38	1,16	2,50	4,33
7	7	397,30	1.588,66	0,26	2,95	0,23	4,33	8,53
8	8	23.197,35	1.182,41	0,06	33,87	1,15	4,33	5,00
9	9	375,61	3.196,54	0,49	2,85	0,22	5,00	20,75
10	10	1.065,06	2.884,74	0,08	5,33	0,33	2,62	5,00
11	11	22.691,80	361,67	0,13	33,43	1,14	5,00	5,47
12	12	2.389,76	321,02	0,20	8,66	0,46	5,47	6,12
13	13	963,46	1.025,47	0,13	5,02	0,32	6,12	7,50
14	14	326,50	1.593,68	0,16	2,62	0,21	7,50	10,00
15	15	366,64	1.412,11	0,18	2,81	0,22	5,00	7,50
16	16	11.392,64	5.652,97	0,09	22,11	0,86	2,69	7,50
17	17	493,89	2.165,76	0,14	3,36	0,25	5,00	8,05
18	18	1.407,65	1.959,37	0,13	6,31	0,37	6,12	8,61
19	19	2.044,04	618,88	0,03	7,89	0,43	7,50	7,70
20	20	351,13	264,05	0,05	2,74	0,21	8,61	8,75
21	21	449,88	6.900,49	0,11	3,18	0,24	2,69	10,00
22	22	501,71	3.799,91	0,13	3,40	0,25	7,50	12,50
23	23	8.765,94	5.554,61	0,09	18,89	0,78	7,50	12,50
24	24	666,47	3.474,54	0,21	4,03	0,28	7,70	15,00
25	25	240,57	165,98	0,10	2,18	0,18	15,00	15,00
26	26	159,99	632,96	0,10	1,71	0,16	15,00	15,00
27	27	1.771,00	1.250,69	0,20	7,24	0,41	12,50	15,00

28	28	852,18	5.393,18	0,16	4,67	0,31	8,61	17,50
29	29	1.429,93	1.529,60	0,15	6,36	0,38	15,00	17,26
30	30	20.249,67	12.844,03	0,09	31,22	1,09	5,47	17,50
31	31	262,87	698,53	0,36	2,30	0,19	17,50	20,00
32	32	288,30	2.186,08	0,19	2,43	0,20	15,00	19,26
33	33	313,19	1.132,75	0,24	2,56	0,21	17,26	20,00
34	34	19.598,13	2.591,60	0,10	30,61	1,07	17,50	20,00
35	35	6.314,63	5.404,09	0,14	15,52	0,68	12,50	20,00
36	36	1.125,02	313,21	0,10	5,51	0,34	20,00	20,00
37	37	4.771,67	827,41	0,03	13,12	0,61	20,00	20,22
38	38	1.242,65	9.492,89	0,21	5,85	0,36	7,70	27,50
39	39	450,37	3.358,56	0,22	3,18	0,24	20,00	27,50
40	40	427,47	2.182,09	0,23	3,08	0,23	20,00	25,00
41	41	3.202,24	1.967,88	0,21	10,32	0,52	20,22	24,35
42	42	1.125,24	1.270,62	0,22	5,51	0,34	24,35	27,15
43	43	550,67	2.186,06	0,13	3,59	0,26	27,15	30,00
44	44	1.936,22	1.644,78	0,28	7,63	0,43	24,35	29,01
45	45	974,15	7.212,13	0,25	5,06	0,32	17,26	35,00
46	46	1.446,53	1.225,51	0,35	6,41	0,38	29,00	33,25
47	47	685,97	5.912,94	0,25	4,10	0,28	20,00	35,00
48	48	364,77	1.914,26	0,57	2,80	0,22	29,01	40,00
49	49	418,40	1.809,99	0,45	3,04	0,23	33,25	41,41
50	50	452,22	4.606,73	0,82	3,19	0,24	27,17	65,00
51	51	19.077,01	14.675,52	0,07	30,12	1,06	20,00	30,00
52	52	1.388,55	8.326,22	0,24	6,25	0,37	20,22	40,00
53	53	978,58	4.045,40	0,54	5,07	0,32	33,25	55,00
54	54	338,89	1.546,99	3,23	2,68	0,21	55,00	105,00
55	55	367,74	641,30	0,63	2,82	0,22	55,00	59,02
56	56	281,65	2.258,59	0,89	2,40	0,20	30,00	50,00
57	57	197,46	510,39	6,86	1,94	0,17	55,00	90,00
58	58	18.163,23	6.576,59	0,38	29,25	1,04	30,00	55,00

59	59	17.150,74	926,52	0,10	28,26	1,02	55,00	55,00
60	60	4.152,65	1.704,62	0,29	12,07	0,58	55,00	60,00
61	61	598,03	3.390,37	1,18	3,77	0,27	65,00	105,00
62	62	3.342,72	1.508,77	0,66	10,59	0,53	60,00	70,00
63	63	12.948,84	1.753,97	0,29	23,87	0,91	55,00	60,00
64	64	10.816,05	797,64	0,63	21,43	0,85	60,00	65,00
65	65	265,37	327,54	2,07	2,32	0,19	70,00	76,80
66	66	662,09	3.496,62	0,86	4,01	0,28	110,00	140,00
67	67	2.517,21	2.435,65	0,41	8,94	0,47	100,00	110,00
68	68	242,06	285,42	1,75	2,19	0,19	100,00	105,00
69	69	10.118,11	2.173,06	0,69	20,59	0,82	65,00	80,00
70	70	851,00	6.101,38	0,74	4,66	0,31	85,00	130,00
71	71	1.911,30	1.333,69	0,75	7,58	0,42	60,00	70,00
72	72	5.120,47	1.340,13	0,37	13,68	0,63	80,00	85,00
73	73	208,43	194,66	0,10	2,00	0,17	70,00	70,00
74	74	4.171,55	526,98	0,10	12,10	0,58	85,00	85,00
75	75	1.653,69	3.311,81	0,45	6,94	0,40	110,00	125,00
76	76	3.397,49	4.578,56	0,33	10,70	0,53	85,00	100,00
77	77	262,91	1.344,19	0,74	2,30	0,19	125,00	135,00
78	78	2.952,02	3.295,37	0,30	9,83	0,50	70,00	80,00
79	79	1.841,87	98,58	0,10	7,41	0,42	80,00	80,00
80	80	1.139,77	997,55	0,50	5,55	0,34	125,00	130,00
81	81	799,61	2.577,18	0,97	4,49	0,30	80,00	105,00
82	82	1.604,98	2.663,46	0,38	6,82	0,39	70,00	80,00
83	83	349,99	1.136,35	1,76	2,74	0,21	130,00	150,00
84	84	322,35	1.178,48	1,27	2,60	0,21	80,00	95,00
85	85	198,61	816,27	0,61	1,95	0,17	80,00	85,00
86	86	637,06	5.416,15	0,65	3,92	0,27	60,00	95,00
87	87	1.181,82	984,59	0,51	5,68	0,35	80,00	85,00
88	88	4.843,51	3.639,33	0,27	13,23	0,61	80,00	90,00
89	89	698,52	2.046,44	1,22	4,14	0,28	130,00	155,00

90	90	245,93	1.286,39	0,78	2,21	0,19	120,00	130,00
91	91	748,15	4.734,45	0,74	4,32	0,29	85,00	120,00
92	92	1.518,15	2.540,88	0,65	6,60	0,39	80,00	96,45
93	93	216,70	515,64	0,97	2,05	0,18	155,00	160,00
94	94	236,71	1.038,05	0,96	2,16	0,18	120,00	130,00
95	95	227,83	717,09	0,70	2,11	0,18	155,00	160,00
96	96	1.271,85	2.128,51	0,47	5,93	0,36	90,00	100,00
97	97	3.242,90	3.106,49	0,48	10,40	0,52	90,00	105,00
98	98	2.667,35	148,51	0,32	9,25	0,48	105,00	105,47
99	99	174,58	78,42	5,78	1,80	0,16	105,47	110,00
100	100	315,73	2.330,18	1,07	2,57	0,21	85,00	110,00
101	101	277,49	571,68	1,75	2,38	0,20	105,00	115,00
102	102	809,77	799,94	1,25	4,52	0,30	100,00	110,00
103	103	579,54	3.821,95	0,75	3,70	0,26	96,45	125,00
104	104	505,08	3.696,13	1,62	3,41	0,25	115,00	175,00
105	105	2.491,35	1.491,20	0,64	8,88	0,47	105,47	115,00
106	106	283,30	1.246,64	1,20	2,41	0,20	100,00	115,00
107	107	818,85	4.826,00	0,63	4,56	0,30	85,00	115,32
108	108	1.897,86	1.394,55	1,08	7,54	0,42	115,00	130,00
109	109	416,60	1.544,57	0,65	3,04	0,23	110,00	120,00
110	110	320,39	1.722,04	0,87	2,59	0,21	110,00	124,99
111	111	774,91	6.595,51	0,96	4,41	0,29	96,45	160,00
112	112	254,55	1.136,72	0,88	2,26	0,19	130,00	140,00
113	113	1.389,37	1.352,71	0,74	6,26	0,37	130,00	140,00
114	114	338,86	1.608,46	1,87	2,68	0,21	140,00	170,00
115	115	942,37	4.774,59	1,08	4,96	0,32	140,00	191,50

Apêndice 6: Banco de dados do transporte de sedimentos (SED_OUT) em tons, gerados por SWAT, nos rios principais de Chambas, cenários 2 e 4.

SUB/SED_OUT (tons)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	8.444,00	67.990,00	115.000,00	51.090,00	4.726,00	36.680,00	45.030,00	64.390,00	79.710,00	30.780,00	62.190,00
2	6.714,00	61.870,00	101.600,00	44.580,00	3.988,00	33.350,00	39.080,00	56.800,00	73.630,00	27.280,00	57.030,00
3	0,44	149,10	91,85	63,55	0,25	58,87	22,18	82,27	202,50	31,53	193,80
4	1.813,00	7.620,00	15.410,00	7.503,00	820,80	4.236,00	6.803,00	8.577,00	7.842,00	4.131,00	6.943,00
5	1.776,00	7.278,00	14.960,00	7.191,00	792,30	3.977,00	6.590,00	8.268,00	7.441,00	3.943,00	6.485,00
6	6.740,00	62.300,00	102.100,00	44.810,00	4.003,00	33.470,00	39.260,00	57.010,00	74.000,00	27.400,00	57.330,00
7	5,64	228,50	159,80	120,70	1,86	131,00	54,02	125,90	300,80	67,52	256,70
8	6.761,00	62.730,00	102.500,00	45.010,00	4.012,00	33.540,00	39.410,00	57.210,00	74.360,00	27.490,00	57.500,00
9	0,46	31,12	39,09	48,17	0,40	7,20	11,73	75,22	71,54	9,46	192,20
10	15,24	217,10	214,60	178,90	11,57	164,90	107,60	162,10	265,00	105,30	302,70
11	6.801,00	63.260,00	103.100,00	45.300,00	4.034,00	33.770,00	39.660,00	57.510,00	74.900,00	27.650,00	57.780,00
12	27,99	432,80	398,30	348,20	20,16	310,90	181,70	323,70	525,40	196,30	597,90
13	16,24	248,80	227,50	199,40	11,20	173,60	93,59	188,70	301,90	109,00	351,80
14	5,82	71,74	64,79	65,64	3,75	46,14	22,16	62,35	91,46	29,46	116,50
15	4,08	67,08	60,50	53,18	3,11	49,74	30,95	47,81	81,75	31,56	86,93
16	1.772,00	7.216,00	14.900,00	7.142,00	789,50	3.932,00	6.561,00	8.224,00	7.367,00	3.914,00	6.403,00
17	6,20	101,60	91,75	80,35	4,73	75,66	46,84	72,73	123,50	47,89	133,00
18	11,19	178,10	164,00	143,30	8,52	132,60	84,51	130,30	216,20	84,21	237,10
19	9,13	25,87	80,41	56,61	7,61	26,85	49,98	43,87	38,22	23,95	87,85
20	4,37	72,07	64,64	57,00	3,33	53,33	33,06	50,97	87,99	33,86	92,53
21	3,84	61,73	55,57	48,82	2,82	45,34	28,31	44,49	73,30	28,89	82,59
22	6,48	116,10	111,70	87,99	4,51	87,48	45,13	85,70	140,10	51,67	161,20
23	1.758,00	7.150,00	14.680,00	6.995,00	762,90	3.836,00	6.432,00	8.123,00	7.280,00	3.833,00	6.183,00
24	0,62	2,38	5,89	6,21	0,59	1,50	4,59	4,67	3,69	1,53	6,27
25	0,19	0,76	1,86	1,96	0,16	0,47	1,41	1,50	1,22	0,48	1,87
26	0,15	0,55	1,37	1,45	0,14	0,35	1,07	1,07	0,86	0,36	1,45
27	2,74	25,00	32,69	30,58	2,55	17,94	20,17	25,75	32,24	12,64	41,69
28	0,83	3,15	7,89	8,13	0,83	1,99	6,20	6,28	4,71	2,04	8,82
29	1,40	5,28	13,04	13,59	1,50	3,33	10,32	10,42	8,00	3,41	14,18
30	6.778,00	62.950,00	102.800,00	45.000,00	4.016,00	33.490,00	39.510,00	57.240,00	74.500,00	27.480,00	57.240,00

31	0,27	1,02	2,52	2,67	0,27	0,64	1,98	1,97	1,58	0,66	2,65
32	0,29	1,08	2,69	2,84	0,29	0,69	2,13	2,12	1,64	0,70	2,96
33	0,34	1,21	2,95	3,31	0,38	0,80	2,45	2,32	1,88	0,81	3,41
34	7.299,00	69.530,00	109.400,00	48.640,00	4.221,00	35.830,00	42.190,00	61.110,00	80.880,00	29.470,00	61.900,00
35	1.756,00	6.959,00	14.460,00	6.828,00	752,60	3.692,00	6.320,00	7.964,00	7.073,00	3.715,00	5.957,00
36	47,40	189,80	376,80	198,30	22,97	121,70	164,70	228,40	209,50	106,40	218,80
37	1.719,00	6.758,00	14.090,00	6.639,00	721,50	3.574,00	6.142,00	7.669,00	6.881,00	3.587,00	5.748,00
38	1,11	4,19	10,64	10,72	1,09	2,67	8,35	8,51	6,05	2,74	12,62
39	0,43	1,66	4,08	4,24	0,41	1,03	3,14	3,26	2,59	1,05	4,12
40	1,91	24,81	24,65	22,79	1,39	19,23	8,92	21,51	32,78	9,98	37,74
41	1.672,00	6.631,00	13.730,00	6.475,00	692,60	3.483,00	5.966,00	7.462,00	6.756,00	3.488,00	5.616,00
42	513,00	2.185,00	4.738,00	2.197,00	260,50	1.296,00	2.024,00	2.516,00	2.458,00	1.249,00	1.997,00
43	190,90	551,60	1.215,00	612,30	94,77	348,10	565,30	719,80	606,00	357,90	548,70
44	1.174,00	4.503,00	9.095,00	4.340,00	437,40	2.220,00	3.993,00	5.000,00	4.363,00	2.266,00	3.683,00
45	0,91	3,50	8,67	8,77	0,97	2,17	6,75	6,99	5,24	2,23	9,24
46	939,10	3.494,00	7.142,00	3.382,00	343,60	1.711,00	3.152,00	3.920,00	3.355,00	1.772,00	2.841,00
47	45,48	165,00	352,10	175,50	21,57	102,40	155,70	206,80	176,70	96,43	181,00
48	245,10	1.027,00	1.999,00	985,40	96,95	516,50	868,80	1.098,00	1.026,00	505,50	858,00
49	288,10	1.052,00	2.164,00	1.046,00	102,30	535,60	957,60	1.211,00	1.021,00	540,70	892,60
50	307,80	1.576,00	3.406,00	1.534,00	160,00	915,80	1.414,00	1.723,00	1.796,00	860,50	1.393,00
51	7.347,00	70.480,00	109.800,00	48.980,00	4.213,00	36.090,00	42.360,00	61.470,00	81.760,00	29.660,00	62.530,00
52	2,29	6,87	15,95	21,26	3,33	5,17	16,02	12,93	10,83	5,31	25,09
53	651,50	2.447,00	4.976,00	2.340,00	240,80	1.177,00	2.195,00	2.706,00	2.339,00	1.229,00	1.950,00
54	122,00	623,50	1.046,00	502,80	47,00	274,80	438,30	557,20	594,60	258,10	471,40
55	297,80	1.031,00	2.190,00	1.029,00	104,50	492,90	979,00	1.192,00	977,00	532,40	813,20
56	104,60	418,60	955,70	415,10	49,32	235,80	395,20	510,60	478,70	246,40	381,50
57	767,50	3.263,00	6.080,00	2.999,00	283,10	1.357,00	2.666,00	3.259,00	2.972,00	1.447,00	2.423,00
58	8.326,00	79.960,00	118.800,00	54.140,00	4.530,00	39.100,00	46.300,00	66.880,00	91.450,00	32.430,00	70.400,00
59	7.516,00	76.930,00	111.800,00	50.780,00	4.080,00	37.860,00	43.310,00	63.020,00	89.480,00	30.950,00	68.280,00
60	3.099,00	14.300,00	30.850,00	13.470,00	1.312,00	8.181,00	12.810,00	16.450,00	15.550,00	7.743,00	13.070,00
61	1.508,00	9.061,00	17.950,00	8.285,00	866,40	5.553,00	7.935,00	10.160,00	11.070,00	5.170,00	8.796,00
62	2.909,00	13.400,00	28.620,00	12.580,00	1.220,00	7.412,00	11.970,00	15.340,00	14.500,00	7.204,00	12.200,00
63	7.514,00	77.220,00	111.500,00	50.730,00	4.047,00	37.880,00	43.300,00	63.000,00	89.690,00	30.970,00	68.420,00
64	7.407,00	76.920,00	110.000,00	50.030,00	3.966,00	37.520,00	42.640,00	62.350,00	89.180,00	30.610,00	68.010,00
65	0,05	33,74	24,63	18,76	0,09	4,76	5,98	36,39	48,44	5,28	111,20
66	564,10	4.653,00	7.790,00	3.502,00	288,40	2.532,00	3.002,00	4.207,00	5.421,00	2.094,00	4.331,00

67	1.263,00	16.430,00	21.540,00	9.730,00	699,80	7.662,00	7.810,00	11.950,00	18.950,00	5.923,00	14.200,00
68	230,40	1.610,00	3.235,00	1.327,00	132,20	843,70	1.232,00	1.621,00	1.875,00	792,70	1.435,00
69	5.675,00	66.970,00	90.140,00	40.880,00	3.016,00	31.540,00	33.870,00	51.210,00	77.330,00	24.990,00	58.550,00
70	1.741,00	9.329,00	18.320,00	8.235,00	764,70	5.099,00	7.568,00	9.803,00	10.140,00	4.729,00	8.416,00
71	1.851,00	9.106,00	20.810,00	8.669,00	872,70	5.469,00	8.544,00	10.740,00	10.280,00	5.197,00	8.474,00
72	4.276,00	40.520,00	63.760,00	27.820,00	2.246,00	20.460,00	24.440,00	34.910,00	47.060,00	17.100,00	36.070,00
73	63,08	393,60	910,40	374,30	39,45	311,80	348,90	450,00	500,20	231,50	403,40
74	2.553,00	31.280,00	45.320,00	19.570,00	1.489,00	15.320,00	16.830,00	25.080,00	37.000,00	12.350,00	27.670,00
75	215,80	8.987,00	6.775,00	3.477,00	131,20	3.399,00	2.093,00	4.220,00	10.060,00	2.111,00	7.109,00
76	2.409,00	24.370,00	40.140,00	16.970,00	1.401,00	12.690,00	15.240,00	21.840,00	29.230,00	10.720,00	22.280,00
77	0,96	559,10	267,00	169,90	0,41	187,50	60,08	186,60	617,20	92,47	463,30
78	2.932,00	13.460,00	28.740,00	12.630,00	1.229,00	7.442,00	12.020,00	15.380,00	14.540,00	7.234,00	12.160,00
79	2.539,00	10.400,00	22.640,00	10.190,00	1.011,00	5.665,00	9.698,00	12.210,00	10.870,00	5.647,00	9.256,00
80	57,70	7.342,00	4.091,00	2.327,00	34,59	2.541,00	1.095,00	2.832,00	8.098,00	1.404,00	5.629,00
81	473,30	3.297,00	6.561,00	2.708,00	250,50	1.940,00	2.582,00	3.454,00	3.909,00	1.699,00	3.119,00
82	1.803,00	8.767,00	20.000,00	8.348,00	840,20	5.188,00	8.243,00	10.350,00	9.843,00	4.991,00	8.123,00
83	5,58	3.293,00	1.593,00	985,50	2,10	1.157,00	361,70	1.070,00	3.735,00	572,40	2.566,00
84	210,70	1.316,00	3.132,00	1.229,00	125,60	834,20	1.222,00	1.579,00	1.617,00	778,90	1.311,00
85	248,40	1.588,00	3.612,00	1.436,00	146,90	951,80	1.398,00	1.794,00	1.924,00	892,60	1.510,00
86	226,70	1.022,00	2.445,00	1.010,00	106,20	835,40	944,60	1.235,00	1.188,00	592,40	970,50
87	1.492,00	6.581,00	14.970,00	6.394,00	646,00	3.832,00	6.319,00	7.866,00	7.154,00	3.743,00	6.015,00
88	1.436,00	26.770,00	26.830,00	13.300,00	798,60	11.250,00	9.573,00	16.560,00	30.840,00	8.035,00	22.840,00
89	4,36	3.451,00	1.702,00	987,70	4,33	1.118,00	449,20	1.350,00	3.683,00	624,60	2.578,00
90	2,97	2.352,00	1.140,00	661,30	1,39	763,50	292,70	876,00	2.499,00	417,90	1.687,00
91	122,90	6.814,00	4.811,00	2.486,00	76,00	2.565,00	1.458,00	3.086,00	7.626,00	1.558,00	5.315,00
92	2.331,00	9.080,00	19.520,00	8.969,00	885,80	4.832,00	8.481,00	10.630,00	9.253,00	4.871,00	7.947,00
93	0,93	1.369,00	716,10	370,40	0,80	416,40	219,00	692,80	1.410,00	278,40	970,00
94	5,02	3.030,00	1.451,00	896,20	1,86	1.053,00	328,60	951,10	3.399,00	518,50	2.316,00
95	1,74	1.085,00	498,90	312,80	0,68	358,90	112,70	334,60	1.172,00	175,90	822,20
96	567,30	3.747,00	6.908,00	3.086,00	269,90	1.983,00	2.638,00	3.759,00	4.213,00	1.789,00	3.378,00
97	520,50	21.740,00	15.740,00	8.334,00	289,10	8.190,00	5.008,00	10.560,00	24.670,00	5.089,00	17.760,00
98	286,00	18.080,00	11.630,00	6.357,00	148,60	6.588,00	3.458,00	8.213,00	20.510,00	3.905,00	14.740,00
99	100,20	1.606,00	2.083,00	904,80	65,43	758,40	797,70	1.202,00	1.870,00	590,80	1.371,00
100	350,70	1.649,00	3.717,00	1.570,00	157,60	986,10	1.552,00	1.929,00	1.831,00	936,10	1.525,00
101	104,20	2.345,00	1.846,00	967,60	46,96	853,40	605,30	1.064,00	2.482,00	544,20	1.738,00
102	39,65	541,20	531,70	433,10	14,64	321,70	181,60	414,80	648,60	179,70	616,20

103	1.288,00	5.080,00	11.140,00	5.016,00	505,70	2.700,00	4.821,00	5.986,00	5.261,00	2.776,00	4.518,00
104	9,87	5.328,00	2.887,00	1.732,00	3,63	2.075,00	654,80	1.936,00	6.605,00	1.036,00	4.627,00
105	185,80	16.480,00	9.547,00	5.454,00	82,89	5.831,00	2.659,00	7.013,00	18.640,00	3.315,00	13.380,00
106	344,70	2.147,00	3.855,00	1.654,00	149,50	1.046,00	1.475,00	2.080,00	2.290,00	993,90	1.757,00
107	1.131,00	4.806,00	10.950,00	4.715,00	478,70	2.760,00	4.656,00	5.791,00	5.161,00	2.733,00	4.366,00
108	175,70	11.110,00	6.591,00	3.681,00	74,39	3.718,00	1.972,00	5.022,00	11.940,00	2.253,00	8.643,00
109	14,90	283,30	223,90	222,00	4,90	169,60	70,18	199,50	340,90	84,92	330,70
110	9,39	187,30	147,40	144,60	3,07	108,20	45,95	132,50	226,40	54,79	220,30
111	957,60	3.535,00	7.239,00	3.512,00	336,40	1.796,00	3.217,00	4.088,00	3.470,00	1.819,00	3.008,00
112	163,40	1.180,00	1.566,00	792,10	60,64	515,70	631,00	883,50	1.205,00	414,60	939,40
113	10,00	8.497,00	4.327,00	2.457,00	9,19	2.720,00	1.173,00	3.666,00	9.169,00	1.595,00	6.548,00
114	2,51	2.075,00	991,20	582,10	1,63	580,40	281,10	930,60	2.059,00	372,50	1.522,00
115	5,71	5.332,00	2.773,00	1.540,00	3,18	1.746,00	752,20	2.376,00	5.872,00	1.027,00	4.198,00

SUB/SED_OUT (tons)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	18.840,00	24.210,00	41.990,00	29.200,00	47.070,00	37.140,00	55.960,00	36.550,00	8.064,00	16.070,00
2	15.850,00	20.850,00	36.790,00	25.340,00	41.050,00	32.860,00	49.540,00	31.460,00	6.869,00	13.640,00
3	3,37	12,63	40,27	24,82	34,96	56,50	60,24	26,26	3,90	12,31
4	3.308,00	3.845,00	6.137,00	4.515,00	7.035,00	4.978,00	7.800,00	5.814,00	1.398,00	2.658,00
5	3.209,00	3.722,00	5.887,00	4.307,00	6.756,00	4.724,00	7.483,00	5.554,00	1.338,00	2.525,00
6	15.960,00	20.960,00	36.950,00	25.460,00	41.230,00	33.050,00	49.780,00	31.620,00	6.922,00	13.700,00
7	18,17	36,70	89,07	73,81	90,34	118,70	130,40	84,25	14,55	45,23
8	16.030,00	21.060,00	37.090,00	25.540,00	41.370,00	33.210,00	50.000,00	31.740,00	6.969,00	13.730,00
9	3,02	4,17	11,94	5,44	9,53	8,64	17,96	6,86	1,10	3,00
10	44,02	66,13	135,30	124,50	156,70	160,50	179,30	157,40	33,25	82,23
11	16.140,00	21.190,00	37.300,00	25.700,00	41.600,00	33.450,00	50.380,00	31.980,00	7.031,00	13.820,00
12	80,48	119,30	252,70	236,90	282,00	297,60	344,60	284,30	60,06	152,70
13	44,98	63,80	142,10	131,80	152,00	161,60	194,70	151,80	32,05	82,49
14	14,24	16,12	40,71	36,84	37,36	39,56	57,90	37,98	8,63	20,76
15	12,54	20,03	39,57	38,13	46,48	49,25	53,56	47,36	10,03	25,25
16	3.197,00	3.704,00	5.851,00	4.272,00	6.713,00	4.679,00	7.433,00	5.510,00	1.329,00	2.502,00
17	19,02	30,34	60,20	57,92	70,77	74,88	81,85	72,17	15,25	38,53
18	34,05	53,49	106,50	101,60	125,20	131,40	144,70	127,90	26,99	67,97
19	18,85	16,12	38,92	21,12	41,91	25,54	43,46	39,60	10,69	12,01
20	13,42	21,51	42,33	40,92	49,70	52,77	57,24	50,64	10,78	27,01

21	11,66	18,16	36,53	34,93	42,98	45,09	49,79	43,61	9,06	23,24
22	19,82	30,98	67,46	62,32	74,33	79,51	90,26	75,47	14,39	41,76
23	3.154,00	3.663,00	5.736,00	4.213,00	6.597,00	4.615,00	7.316,00	5.410,00	1.302,00	2.466,00
24	1,44	1,32	2,63	1,67	2,82	1,80	4,13	3,82	1,08	1,08
25	0,43	0,41	0,79	0,47	0,86	0,54	1,20	1,13	0,29	0,33
26	0,34	0,31	0,62	0,40	0,66	0,42	0,99	0,91	0,26	0,25
27	7,35	8,97	18,08	15,22	20,29	18,22	26,55	23,72	6,01	9,84
28	1,99	1,77	3,61	2,31	3,86	2,45	5,66	5,15	1,54	1,48
29	3,40	3,10	6,04	4,11	6,60	4,10	10,09	9,41	2,96	2,49
30	16.080,00	21.090,00	37.080,00	25.490,00	41.360,00	33.200,00	50.090,00	31.740,00	6.982,00	13.680,00
31	0,64	0,58	1,15	0,76	1,23	0,79	1,87	1,71	0,51	0,47
32	0,69	0,61	1,24	0,81	1,31	0,84	1,97	1,81	0,53	0,51
33	0,80	0,74	1,46	1,01	1,52	0,98	2,60	2,24	0,72	0,59
34	17.290,00	22.670,00	39.780,00	27.420,00	44.260,00	36.190,00	53.900,00	34.250,00	7.709,00	14.760,00
35	3.114,00	3.600,00	5.610,00	4.130,00	6.420,00	4.458,00	7.182,00	5.267,00	1.272,00	2.354,00
36	89,30	95,05	163,40	127,10	183,50	142,60	215,70	154,90	37,96	72,50
37	3.028,00	3.510,00	5.422,00	4.023,00	6.219,00	4.289,00	7.008,00	5.111,00	1.233,00	2.239,00
38	2,64	2,30	4,91	3,01	5,21	3,26	7,40	6,73	1,97	1,99
39	0,99	0,93	1,79	1,16	1,96	1,24	2,88	2,63	0,78	0,74
40	5,41	6,48	14,92	14,13	14,35	15,52	22,99	15,87	3,48	8,03
41	2.946,00	3.413,00	5.274,00	3.918,00	6.028,00	4.175,00	6.823,00	4.957,00	1.192,00	2.173,00
42	1.019,00	1.155,00	1.856,00	1.323,00	2.120,00	1.496,00	2.398,00	1.722,00	438,30	770,20
43	326,30	338,10	570,00	408,10	597,80	423,80	657,00	502,50	144,40	248,00
44	1.951,00	2.285,00	3.461,00	2.626,00	3.961,00	2.711,00	4.498,00	3.278,00	765,00	1.414,00
45	2,24	2,03	3,92	2,66	4,39	2,68	6,44	6,21	1,95	1,64
46	1.537,00	1.793,00	2.712,00	2.055,00	3.102,00	2.103,00	3.509,00	2.557,00	599,40	1.098,00
47	83,88	88,56	148,50	112,90	169,20	127,10	192,70	139,00	34,48	64,46
48	427,00	504,90	766,20	583,30	884,20	618,90	1.018,00	739,20	170,80	317,80
49	463,60	542,20	827,40	632,40	941,10	646,50	1.078,00	786,00	182,20	339,70
50	668,00	793,80	1.241,00	885,60	1.474,00	1.035,00	1.690,00	1.181,00	285,90	502,30
51	17.380,00	22.760,00	40.000,00	27.560,00	44.410,00	36.520,00	54.240,00	34.430,00	7.785,00	14.860,00
52	5,18	5,16	10,31	7,84	10,07	6,32	22,33	16,59	6,62	3,92
53	1.072,00	1.251,00	1.880,00	1.422,00	2.162,00	1.455,00	2.434,00	1.771,00	416,70	755,00
54	211,20	256,20	396,70	293,40	452,00	328,60	523,00	367,00	83,21	155,90
55	468,90	557,70	818,00	622,50	941,40	616,60	1.067,00	782,90	184,20	326,50
56	206,20	229,00	360,80	247,20	398,40	284,20	437,50	319,90	74,92	143,50

57	1.296,00	1.599,00	2.240,00	1.749,00	2.602,00	1.654,00	2.935,00	2.186,00	487,00	871,60
58	19.530,00	24.970,00	43.740,00	30.160,00	48.430,00	40.690,00	59.450,00	37.970,00	8.879,00	16.370,00
59	18.060,00	23.220,00	41.260,00	28.300,00	45.650,00	38.820,00	56.230,00	35.540,00	8.392,00	15.420,00
60	6.105,00	6.975,00	11.260,00	8.054,00	12.780,00	9.160,00	14.750,00	10.080,00	2.403,00	4.335,00
61	3.345,00	4.103,00	6.682,00	4.901,00	8.004,00	5.854,00	9.319,00	6.428,00	1.848,00	2.859,00
62	5.605,00	6.508,00	10.430,00	7.507,00	11.880,00	8.413,00	13.730,00	9.439,00	2.235,00	4.048,00
63	18.030,00	23.190,00	41.260,00	28.290,00	45.630,00	38.880,00	56.260,00	35.530,00	8.397,00	15.400,00
64	17.720,00	22.810,00	40.710,00	27.890,00	44.920,00	38.500,00	55.530,00	34.960,00	8.320,00	15.180,00
65	1,23	1,71	6,34	2,19	4,93	4,72	11,68	3,01	0,40	1,03
66	1.309,00	1.619,00	2.809,00	1.963,00	3.128,00	2.521,00	3.836,00	2.484,00	603,10	1.083,00
67	3.289,00	4.333,00	7.939,00	5.368,00	8.451,00	7.790,00	10.820,00	6.509,00	1.481,00	2.837,00
68	611,60	726,20	1.142,00	810,20	1.238,00	982,00	1.517,00	977,50	231,60	413,80
69	13.970,00	18.240,00	33.330,00	22.480,00	36.100,00	32.150,00	45.310,00	27.860,00	6.328,00	12.060,00
70	3.516,00	4.075,00	6.622,00	4.748,00	7.585,00	5.472,00	8.861,00	6.081,00	1.464,00	2.588,00
71	3.990,00	4.540,00	7.398,00	5.193,00	8.444,00	6.045,00	9.807,00	6.607,00	1.611,00	2.838,00
72	10.480,00	13.060,00	23.000,00	15.650,00	25.370,00	21.170,00	31.160,00	19.490,00	4.588,00	8.433,00
73	178,00	184,70	324,30	215,90	375,30	281,60	440,50	290,90	75,95	123,70
74	6.977,00	8.973,00	16.350,00	10.900,00	17.740,00	15.710,00	22.270,00	13.420,00	3.132,00	5.848,00
75	649,40	1.201,00	2.674,00	1.714,00	2.617,00	3.249,00	3.748,00	1.959,00	396,50	874,50
76	6.517,00	8.107,00	14.330,00	9.654,00	15.750,00	13.220,00	19.460,00	11.960,00	2.838,00	5.202,00
77	7,96	42,19	114,80	76,04	101,70	174,70	176,70	78,98	13,47	36,84
78	5.636,00	6.538,00	10.470,00	7.545,00	11.940,00	8.458,00	13.790,00	9.483,00	2.252,00	4.068,00
79	4.620,00	5.342,00	8.311,00	6.117,00	9.518,00	6.609,00	10.960,00	7.694,00	1.817,00	3.284,00
80	211,90	651,70	1.710,00	1.063,00	1.563,00	2.362,00	2.431,00	1.170,00	203,60	522,30
81	1.142,00	1.328,00	2.326,00	1.555,00	2.602,00	1.997,00	3.089,00	1.995,00	492,00	858,20
82	3.838,00	4.384,00	7.109,00	5.004,00	8.110,00	5.798,00	9.424,00	6.361,00	1.548,00	2.730,00
83	44,23	251,90	696,40	460,40	621,00	1.073,00	1.061,00	479,50	80,36	226,00
84	585,80	651,10	1.099,00	744,40	1.221,00	917,80	1.437,00	923,20	225,60	397,30
85	672,50	776,20	1.254,00	868,40	1.391,00	1.054,00	1.671,00	1.079,00	265,20	460,30
86	558,50	529,80	911,90	608,20	980,80	823,60	1.151,00	744,20	195,40	320,60
87	2.935,00	3.347,00	5.389,00	3.835,00	6.188,00	4.325,00	7.139,00	4.890,00	1.186,00	2.093,00
88	3.573,00	5.289,00	10.490,00	6.958,00	10.910,00	11.220,00	14.420,00	8.531,00	1.803,00	3.703,00
89	38,68	228,00	722,40	397,30	635,50	1.005,00	973,30	454,20	68,57	191,20
90	25,67	154,80	489,30	272,00	428,80	692,10	660,30	307,50	46,05	129,60
91	393,10	791,50	1.913,00	1.176,00	1.863,00	2.392,00	2.670,00	1.366,00	272,00	604,80
92	4.037,00	4.695,00	7.217,00	5.377,00	8.301,00	5.693,00	9.523,00	6.775,00	1.592,00	2.888,00

93	11,04	69,70	300,90	114,40	257,00	357,20	326,40	157,80	16,87	52,21
94	39,70	230,10	630,20	418,40	563,40	980,50	960,00	436,10	73,71	204,50
95	13,88	80,58	214,40	142,20	191,40	331,30	327,00	148,20	25,60	69,70
96	1.258,00	1.535,00	2.495,00	1.823,00	2.688,00	2.112,00	3.250,00	2.187,00	479,80	963,90
97	1.365,00	2.673,00	6.320,00	3.963,00	6.216,00	7.767,00	8.836,00	4.700,00	920,40	2.048,00
98	755,20	1.818,00	4.749,00	2.886,00	4.509,00	6.145,00	6.620,00	3.362,00	612,30	1.465,00
99	284,00	383,50	721,80	465,90	815,30	726,40	1.033,00	613,50	158,80	271,00
100	709,30	812,10	1.324,00	932,80	1.525,00	1.075,00	1.773,00	1.199,00	297,60	516,40
101	230,50	379,10	728,50	511,20	737,50	862,00	1.034,00	584,60	122,60	257,90
102	91,87	125,30	252,90	228,80	236,90	245,30	343,60	249,50	49,75	128,60
103	2.261,00	2.639,00	4.052,00	2.978,00	4.698,00	3.193,00	5.395,00	3.804,00	913,50	1.611,00
104	80,83	426,60	1.281,00	838,70	1.143,00	1.974,00	1.949,00	874,70	136,80	407,30
105	471,10	1.434,00	4.027,00	2.420,00	3.693,00	5.422,00	5.587,00	2.748,00	453,60	1.194,00
106	669,40	843,10	1.342,00	966,00	1.469,00	1.128,00	1.746,00	1.186,00	252,70	511,70
107	2.177,00	2.479,00	3.964,00	2.838,00	4.552,00	3.160,00	5.233,00	3.610,00	869,30	1.539,00
108	387,60	996,70	2.714,00	1.559,00	2.513,00	3.420,00	3.591,00	1.846,00	310,90	772,00
109	36,12	55,65	117,80	115,90	104,70	119,20	162,80	121,60	22,18	65,26
110	22,86	35,82	75,75	73,54	67,21	76,75	104,50	77,47	14,02	41,51
111	1.548,00	1.808,00	2.754,00	2.113,00	3.146,00	2.150,00	3.615,00	2.645,00	605,80	1.133,00
112	280,10	363,30	596,70	446,70	656,00	543,80	812,70	547,30	124,30	237,10
113	88,05	523,50	1.825,00	913,80	1.590,00	2.436,00	2.327,00	1.089,00	148,90	434,70
114	17,43	111,50	402,60	172,00	347,80	505,10	477,90	220,60	28,24	81,33
115	56,55	327,50	1.182,00	582,20	1.020,00	1.566,00	1.491,00	697,00	93,83	274,50