



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Campus de Ilha Solteira

ALICE NARDONI MARTELI

**PROCESSOS GEODINÂMICOS ASSOCIADOS A MUDANÇAS DE
USO DA TERRA: O CASO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO
CÓRREGO CAÇULA (ILHA SOLTEIRA - SP)**

Ilha Solteira
2015

ALICE NARDONI MARTELI

**PROCESSOS GEODINÂMICOS ASSOCIADOS A MUDANÇAS DE USO
DA TERRA: O CASO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO
CÓRREGO CAÇULA (ILHA SOLTEIRA - SP)**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Prof. Dr. José Augusto de Lollo
Orientador

Prof. Dr. Cesar Gustavo Da Rocha Lima
Co-Orientador

Ilha Solteira
2015



FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Marteli, Alice Nardoni.

M376p Processos geodinâmicos associados a mudanças de uso da terra : o caso da
microbacia hidrográfica do Córrego Caçula (Ilha Solteira - SP) / Alice Nardoni
Marteli. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2015
205 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de Conhecimento: Recursos Hídricos e
Tecnologias Ambientais., 2015

Orientador: José Augusto de Lollo

Co-orientador: Cesar Gustavo da Rocha Lima

Inclui bibliografia

1. Recursos hídricos. 2. Uso e cobertura da terra. 3. Planejamento urbano. 4.
Córrego Caçula. 5. HAND. 6. SIG Idrisi .

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Processos geodinâmicos associados a mudanças de uso da terra - O caso da Microbacia do Córrego Caçula (Ilha Solteira - SP)

AUTORA: ALICE NARDONI MARTELI

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE AUGUSTO DE LOLLO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSE AUGUSTO DE LOLLO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. LUIZ EDUARDO MOSCHINI
Centro de Ciências Biológicas e Da Saúde, Departamento de Ciências Ambientais / Universidade Federal de São Carlos

Data da realização: 30 de outubro de 2015.

Aos meus pais, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Carmem e Emilio, pelo incentivo e apoio que depositaram em mim todos esses anos, ajudando a enfrentar todos os obstáculos durante toda minha jornada acadêmica e incentivando-me nos momentos difíceis e desanimadores.

Ao meu orientador Professor José Augusto de Lollo pela orientação deste trabalho, pela paciência, confiança e oportunidade, sempre acreditando em nosso trabalho e defendendo nossos objetivos.

Agradeço também ao Professor Heinrich Hasenack, da UFRGS pelo apoio dedicado a este trabalho e pela disponibilidade em me ajudar com o Idrisi.

A minha irmã, Leticia, pelas contribuições com o CorelDRAW para layout das figuras, ao Marcelo Marcos que continuou me ajudando e a Janaína Ferreira Guidolini pela amizade, ideias e contribuições.

Agradeço aos pesquisadores do DPI – INPE: Maria Isabel Sobral Escada pelas contribuições; Camilo Daleles Rennó e Alexandre Copertino Jardim, que me auxiliaram na modelagem do HAND.

Agradeço a todos os amigos virtuais que ajudaram com os dados da pesquisa, especialmente: Jorge Santos, do Processamento Digital com o ArcGIS, Percy Peralta com o ENVI e Marcelo Machado com conversão de dados.

Aos ilhenses pela receptividade que me faz querer voltar a morar aqui.

A D. Nair, que com muita paciência cuidou de mim nessa breve passagem acadêmica.

A Casa de Oração Espírita CeaLUZ que me trouxe a paz de espírito nos momentos de ansiedade.

Aos médicos que aqui passei (que foram vários) inclusive a Dra. Elena Seki, que cuidou da minha ATM.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida para realização desta pesquisa.

A bibliotecária da UNESP-FEIS, Raiane Santos, pela ajuda com a ABNT e verificação final deste exemplar.

Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu chegasse até aqui, meus sinceros agradecimentos.

*“Águas que banham aldeias
E matam a sede da população...
Gotas de água da chuva
Alegre arco-íris
Sobre a plantação
Gotas de água da chuva
Tão tristes, são lágrimas
Na inundação...
Águas que movem moinhos
São as mesmas águas
Que encharcam o chão
E sempre voltam humildes
Pro fundo da terra”*

GUILHERME ARANTES (1981)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perfil esquemático do processo de enchente, inundação e alagamento	22
Figura 2. Esquema de implantação do núcleo urbano de Ilha Solteira	33
Figura 3. Processo de desenvolvimento urbano do núcleo principal de Ilha Solteira	34
Figura 4. Perímetro urbano.....	35
Figura 5. Áreas de Preservação Permanente do Município	38
Figura 6. Divisão territorial de Ilha Solteira.....	42
Figura 7. Zonas de Especial de Interesse	42
Figura 8. As formas da bacia: circular, elíptica e ramificada.....	47
Figura 9. Hidrograma hipotético de uma área urbanizada e não urbanizada	49
Figura 10. Uso e cobertura da terra no Delta Zhujiang, sul da China, entre 1989 e 1997	53
Figura 11. Componentes de um sistema de drenagem urbana	55
Figura 12. Localização da área de estudo	65
Figura 13. Taxa de Urbanização no município de Ilha Solteira (1991 – 2010)	68
Figura 14. Localização UGRHI 18 no Estado de São Paulo.....	69
Figura 15. Sub-Bacias da UGRHI 18	69
Figura 16. Unidades Geológicas de Ilha Solteira e seu entorno.....	70
Figura 17. Unidades Geomorfológicas de Ilha Solteira e seu entorno	72
Figura 18. Unidades Pedológicas de Ilha Solteira e seu entorno.....	73
Figura 19. Gráfico com as médias mensais de temperatura média e precipitação do período de 1993 a 2013	75
Figura 20. Carta de Uso e Ocupação da Terra do município de Ilha Solteira.....	76
Figura 21. Localização dos pontos de coletas	80
Figura 22. Cartas de atributos físicos.....	84
Figura 23. Outras cartas de atributos físicos	87
Figura 24. Cena típica após eventos de chuvas	88
Figura 25. Estragos causados pelo temporal	90
Figura 26. 11 de Novembro de 2013	91
Figura 27. Moradores tentando lutar contra alagamento	92
Figura 28. Moradora tenta tirar água de dentro de casa.....	92
Figura 29. Elementos de terreno do município de Ilha Solteira	94
Figura 30. Localização das erosões ao norte da microbacia	95
Figura 31. Erosão “A” em detalhe	96
Figura 32. Etapas de processamento do HAND	98
Figura 33. Redes de drenagem com diferentes limiares para SRTM de 90 metros.....	99
Figura 34. Redes de drenagem com diferentes limiares para SRTM de 30 metros.....	100
Figura 35. Sequência de procedimentos utilizada na classificação das imagens	103
Figura 36. Esquema geral de funcionamento do LCM para análise da mudança da terra.....	105
Figura 37. Perceptron de Multicamada	107
Figura 38. Distribuição espacial da área classificada com o modelo HAND	110
Figura 39. Histogramas	111
Figura 40. Resultados da modelagem HAND	112

Figura 41. Resultados das cenas históricas do uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula	114
Figura 42. Uso e ocupação da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre 1975 e 2014 (em km ²).....	116
Figura 43. Mapa de mudanças do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 2014.....	117
Figura 44. Mapa de persistencia do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 2014	118
Figura 45. Mapa de mudanças do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 1994.....	120
Figura 46. Mapa de persistencia do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 1994	121
Figura 47. Mapa de mudanças do uso urbano da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 1994	122
Figura 48. Mapa de mudanças do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1994 a 2014.....	124
Figura 49. Mapa de persistencia do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1994 a 2014	125
Figura 50. Mapa de mudanças do uso urbano da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1994 a 2014	126
Figura 51. Resultados da calibração dos potenciais de transição de área urbana para outros usos da terra.....	127
Figura 52. Resultados da calibração dos potenciais de transição de solo exposto e área preparada para plantio para outros usos da terra	128
Figura 53. Resultados da calibração dos potenciais de transição de agricultura para outros usos da terra.....	129
Figura 54. Resultados da calibração dos potenciais de transição de campo para outros usos da terra	130
Figura 55. Resultados da calibração dos potenciais de transição de vegetação densa para outros usos da terra	131
Figura 56. Potenciais de transição de área urbana para outros usos da terra	132
Figura 57. Potenciais de transição de solo exposto e área preparada para plantio para outros usos da terra.....	133
Figura 58. Potenciais de transição de agricultura para outros usos da terra.....	134
Figura 59. Potenciais de transição de campo para outros usos da terra	135
Figura 60. Potenciais de transição de vegetação densa para outros usos da terra	136
Figura 61. Resultados da previsão Soft e Soft Modelado de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014.....	138
Figura 62. Previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014	139
Figura 63. Incentivo de expansão urbana.....	140
Figura 64. Resultados da previsão Soft e Soft Modelado de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014.....	141
Figura 65. Previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014	142
Figura 66. Restrição e incentivo aplicado na modelagem.....	143

Figura 67. Resultados da previsão Soft e Soft Modelado de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014.....	144
Figura 68. Previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014	145
Figura 69. Validação da previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014	146
Figura 70. Validação da previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014	148
Figura 71. Validação da previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014	149
Figura 72. Sobreposição do uso e cobertura da terra e do HAND para a microbacia	150
Figura 73. Espacialização dos potenciais eventos de enchentes, alagamentos e inundação na microbacia	152
Figura 74. Idrisi Explorer	176
Figura 75. Tela dos parâmetros de referência	177
Figura 76. Fundo zero	177
Figura 77. Limite rasterizado	180
Figura 78. Reclassificação.....	183
Figura 79. Imagens classificada e reclassificada respectivamente	184
Figura 80. Tela demonstrativa da escolha das cores para cada identificador do mapa	185
Figura 81. Metadata	186
Figura 82. Tela de categorias.....	187
Figura 83. Legenda configurada.....	187
Figura 84. Módulo Land Change Modeler.....	189
Figura 85. Painel Change Analysis.....	190
Figura 86. Guia LCM Project Parameters.....	190
Figura 87. Mensagem de erro.....	191
Figura 88. Guia Change Analysis.....	191
Figura 89. Guia Change Maps.....	192
Figura 90. Guia Spatial Trend of Change	192
Figura 91. Painel Transition Potentials	193
Figura 92. Guia Transition Sub-Models.....	193
Figura 93. Guia Transition Sub-Model Structure.....	194
Figura 94. Guia Run Transition Sub-Model.....	194
Figura 95. Painel Change Prediction	195
Figura 96. Guia Change Demand Modeling	196
Figura 97. Guia Change Allocation	197
Figura 98. Guia Validation.....	197
Figura 99. Painel Planning	198
Figura 100. Guia Constraints and Incentives	198
Figura 101. Guia Planned Infrastructure Changes.....	199
Figura 102. Tela do Banco de Dados do Terra View	200
Figura 103. Ícone das ferramentas hidrológicas	200
Figura 104. Tela do primeiro procedimento.....	201
Figura 105. Grade de direção de fluxo (LDD)	201

Figura 106. Tela do segundo procedimento	202
Figura 107. Grade de fluxo acumulado.....	202
Figura 108. Tela do Drainage Extraction	203
Figura 109. Grade de drenagens extraídas com limiar de 2000	203
Figura 110. Tela com destaque para a área de estudo da rede de drenagem extraída	204
Figura 111. Tela do HAND.....	204
Figura 112. Grade do HAND, sem simbologia	205

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Vítimas de alagamentos e inundações em 2012 no Brasil	23
Tabela 2. Análise química, física e biológica da microbacia hidrográfica do Córrego Caçula	80
Tabela 3. Mudança da terra por categorias de uso entre 1975 e 1994 (perdas e ganhos)	119
Tabela 4. Mudança da terra por categorias de uso entre 1994 e 2014 (perdas e ganhos)	122
Tabela 5. Identificadores utilizados	182
Tabela 6. Dados para reclassificação	184

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas	49
Quadro 2. Histórico de eventos de enchentes, inundações e alagamentos.....	89
Quadro 3. Características dos elementos de terreno identificados	94
Quadro 4. Características dos satélites Landsat.....	102
Quadro 5. Classificação dos potenciais eventos na microbacia	151

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 O ESPAÇO URBANO	19
3.1.1 <i>Conflitos do espaço urbano</i>	20
3.2 PLANEJAMENTO URBANO	25
3.2.1 <i>Gerenciamento dos Recursos Hídricos</i>	26
3.2.1.1 <i>Bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento territorial</i>	28
3.2.1.2 <i>Leis relativas a prevenção de riscos urbanos</i>	30
3.2.2 <i>Planejamento urbano de Ilha Solteira</i>	32
3.2.2.1 <i>Panorama geral do Plano Diretor de Ilha Solteira</i>	36
3.2.2.2 <i>Plano Diretor de uso e parcelamento do solo urbano de Ilha Solteira</i>	39
3.2.2.3 <i>Plano Diretor de drenagem urbana de Ilha Solteira</i>	43
3.2.3 <i>Análise de riscos aplicada a enchentes, alagamentos e inundações</i>	45
3.2.4 <i>A cartografia do meio físico como ferramenta para o planejamento</i>	50
3.3 MUDANÇAS NO USO DA TERRA E SEUS EFEITOS NA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL	52
3.3.1 <i>HAND para detecção de áreas suscetíveis a enchentes, alagamentos e inundações</i>	57
3.3.2 <i>LCM para modelagem das mudanças</i>	59
3.3.3 <i>Medidas de intervenção para redução ou solução do problema</i>	61
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	64
4.1 LOCALIZAÇÃO.....	64
4.2 ASPECTOS HISTÓRICOS E SOCIOECONÔMICOS DO MUNICÍPIO	66
4.3 ASPECTOS FÍSICOS E AMBIENTAIS DO MUNICÍPIO	70
4.4 A MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CAÇULA	77
4.4.1 <i>Aspectos socioeconômicos da microbacia</i>	77
4.4.2 <i>Aspectos ambientais da microbacia</i>	79
4.4.3 <i>Aspectos físicos da microbacia</i>	82
4.4.4 <i>Histórico de eventos de enchentes, inundações e alagamentos na microbacia</i>	88
4.4.5 <i>Histórico de processos erosivos na microbacia</i>	93

5 MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	97
5.1 MATERIAL	97
5.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	97
5.2.1 <i>HAND</i>	98
5.2.2 <i>Criação do banco de dados no SIG Idrisi Selva</i>	101
5.2.3 <i>Módulo LCM do SIG Idrisi Selva</i>	105
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
6.1 RESULTADOS DA MODELAGEM HAND	109
6.2 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CAÇULA – MUDANÇAS DE 1975 A 2014	113
6.3 RESULTADOS DO LCM	119
6.3.1 <i>Mudanças verificadas entre 1975 e 1994</i>	119
6.3.2 <i>Mudanças verificadas entre 1994 e 2014</i>	122
6.3.3 <i>Projeção do uso e cobertura da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula para o ano de 2014</i>	126
6.3.3.1 <i>Potenciais de transição</i>	126
6.3.3.2 <i>Previsão para 2014</i>	137
6.3.3.2.1 <i>Previsão para 2014 sem restrição e sem incentivos</i>	137
6.3.3.2.2 <i>Previsão para 2014 com incentivo de expansão urbana</i>	140
6.3.3.2.2 <i>Previsão para 2014 com restrição e com incentivos</i>	143
6.3.3.3 <i>Validação para 2014</i>	146
6.3.3.3.1 <i>Validação para 2014 sem restrição e sem incentivos</i>	146
6.3.3.3.1 <i>Validação para 2014 com incentivo de expansão urbana</i>	147
6.3.3.3.2 <i>Validação para 2014 com restrição e com incentivos</i>	148
6.3.3.4 <i>Potenciais cenários futuros da microbacia</i>	149
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS DE MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO	157
REFERÊNCIAS	158
APÊNDICE A – PROCEDIMENTOS PRELIMINARES NO IDRISI SELVA	176
APÊNDICE B – PROCEDIMENTOS PARA O LCM	189
APÊNDICE C – PROCEDIMENTOS PARA O HAND	200

RESUMO

Enchentes e alagamentos são eventos cada vez mais comuns nos centros urbanos brasileiros em consequência do processo de ocupação do solo e da maior frequência de eventos climáticos extremos. Mesmo com as iniciativas de legislação e conhecimento técnico em análise de riscos, estudos com tal enfoque ainda são raros em pequenos municípios brasileiros devido à carência de recursos materiais e humanos para tal fim. Processos alternativos para caracterização da dinâmica hídrica associada a dados de uso da terra podem acelerar o processo de análise com baixo custo, permitindo a identificações de áreas mais críticas e das intervenções para redução de danos. Considerando que tal situação ocorre na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula em Ilha Solteira (SP), o presente trabalho propôs utilizar o módulo LCM (*Land Change Modeler*) do SIG (Sistema de Informação Geográfica) Idrisi Selva na identificação de mudanças de uso e cobertura da terra e predizer as áreas com forte suscetibilidade natural à ocorrência de enchentes por meio da incorporação do algoritmo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*). Com as classificações de uso e cobertura da terra ao longo dos anos de 1975 a 2014, foi possível identificar as mudanças ocorridas na microbacia hidrográfica e, ao associar a modelagem HAND, obteve-se a delimitação de áreas com forte suscetibilidade a enchentes e alagamentos. Dessa forma, a abordagem adotada permitiu entender a dinâmica dos processos superficiais, definir as áreas críticas e hierarquizá-las para fins de intervenção.

Palavras-chave: Recursos Hídricos. Uso e cobertura da terra. Planejamento urbano.

ABSTRACT

Floods and flooding are increasingly common events in Brazilian urban centers as a result of land use and more frequent extreme weather events process. This situation is repeated in the Caçula Stream Watershed located in Ilha Solteira city (SP). One way to reduce the occurrence of such events and the damage associated with them is to know the natural taxes that interfere processes and their interaction temporal-spatial. Despite already covered by federal and state legal instruments in the study of urban risks, such an approach may be limited in small municipalities by the low availability of technical and financial resources for such studies. The development of alternatives to the characterization of water dynamics in the areas associated with data from previous geological and geotechnical conditions of the land and changing patterns of land use can accelerate the analysis process, allowing the identification of the most critical areas and interventions to harm reduction. Considering these conditions, the project proposed to use the LCM (Land Change Modeler) module of GIS Idrisi Selva in identifying land use and cover changes, and predict the areas with strong natural susceptibility to the occurrence of floods through the incorporation the HAND (Height Above the Nearest Drainage) algorithm. With the land use and cover change over the years 1975-2014, it was possible to identify the changes in the watershed and by associating HAND modeling. It was obtained the delimitation of areas with strong susceptibility to floods and flooding. Thus, the adapted approach enabled us to understand the dynamics of surface processes, define critical areas and hierarchize them for intervention purposes.

Keywords: Water resources. Land use and cover change. Urban planning.

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento histórico da civilização se deu em torno dos rios. Isso se deu para usá-los como meio de transporte, obtenção de água para consumo e como meio para dispor de seus dejetos. Além disso, as áreas próximas aos rios, geralmente planas, são propícias para o assentamento humano, o que motivou a sua ocupação (TUCCI; ORSINI, 2005). Com o crescimento desordenado e acelerado das cidades, áreas de risco como as várzeas inundáveis foram ocupadas, trazendo como consequência fenômenos de enchentes e inundações. Dada às características geográficas do Brasil, estes fenômenos ocorrem naturalmente.

No entanto, quando há o uso e ocupação inadequados da terra, ocorre o aumento da vulnerabilidade da população a estes eventos naturais e, portanto, aos impactos decorrentes como prejuízos materiais sobre os bens públicos e privados, além das perdas humanas. Assim, segundo Silva, Pinheiro e Lopes (2014) as dificuldades vivenciadas atualmente nas cidades, relacionadas a enchentes, inundações, alagamentos, erosões e deslizamentos de terras em épocas de chuvas intensas, são consequências de decisões tomadas no passado, tendo como principal fator responsável pela ocorrência desses problemas a ausência de planejamento urbano.

Por isso, estudos que permitam à identificação e espacialização dos processos geodinâmicos, associados a mudanças de uso da terra, para avaliação dos condicionantes naturais e induzidos pelo fator antrópico, são cada vez mais procurados por órgãos interessados no planejamento e gestão ambiental de municípios e bacias hidrográficas, uma vez que o crescimento urbano descontrolado e a ocupação sem planejamento em áreas de risco, afeta milhares de pessoas e causa prejuízos sociais e econômicos cada vez mais severos.

Nesse sentido, a relevância da pesquisa está contida na aplicação de uma ferramenta de suporte para o planejamento urbano e regional – a cartografia. A partir do material elaborado pelo mapeamento, órgãos públicos poderão utiliza-los para fiscalização da ocupação do espaço planejado, bem como direcionar as futuras áreas de ocupação. A área de estudo desta pesquisa é a microbacia hidrográfica do Córrego Caçula. A escolha é devida estar inserida em área urbana e rural do município de Ilha Solteira - SP, estando vulnerável a ocorrências destes processos geodinâmicos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo da pesquisa foi elaborar e avaliar um conjunto de procedimentos para avaliar as influências das mudanças no uso da terra em processos de dinâmica superficial como enchentes, alagamentos, processos erosivos e degradação dos recursos hídricos superficiais, considerando dados do meio físico, e prever cenários futuros relativos às transições do ambiente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os condicionantes naturais de processos de enchentes, inundações e alagamentos na área;
- Identificar, analisar e mapear as áreas suscetíveis a enchentes e inundações por meio do algoritmo HAND;
- Analisar as mudanças no uso da terra na microbacia ao longo no período de 1975 a 2014;
- Identificar, interpretar e discutir os condicionantes decorrentes das mudanças de uso da terra na bacia que intensificam os processos de enchentes, inundações, alagamentos e erosões; e
- Elaborar cenários futuros a partir das mudanças de uso e cobertura da terra na microbacia hidrográfica do Córrego Caçula.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O ESPAÇO URBANO

O espaço urbano, assim como a definição¹ de “espaço”, apresenta-se como o resultado da ação humana sobre o próprio espaço, através dos objetos naturais e artificiais que o compõe (SANTOS, 2012). Dessa forma, o urbano é um espaço fragmentado e articulado, caracterizado pela justaposição de diferentes paisagens e usos e cuja unidade é mantida através das relações entre as partes. Assim, o espaço apresenta-se estruturado pelos processos sociais de cada período da organização social (ROSSINI, 2001).

Com o processo de urbanização, o espaço urbano existente é ocupado, construído, destruído, transformado, sempre trazendo modificações à nossa paisagem (FERREIRA; FRANCISCO, 2003). Para Rossini (2001, p. 25)

o crescimento da cidade é um processo espacial com dimensão temporal, onde a compreensão da atualidade integra as mudanças do passado e o potencial de variações para o futuro próximo. Conforme as cidades vão crescendo novos espaços são requeridos, resultando na expansão urbana. O processo de ampliação da cidade pode ser verificado pelo adensamento da ocupação do solo e reorganização das áreas já ocupadas e também pela ocupação de áreas além dos limites urbanizados, o que transforma em urbano o solo rural.

Assim, as cidades são as construções humanas de maior impacto na superfície terrestre, uma vez que o avanço da urbanização sobre o meio natural, de maneira desordenada, tem causado a degradação das áreas de mananciais remanescentes, com a implantação de loteamentos irregulares e a instalação de usos e índices de ocupação incompatíveis com a capacidade de suporte do meio (BRAGA, 2003).

Quando o processo de expansão urbana direcionado pelos interesses econômicos não acompanha um planejamento efetivo que considere as características do meio físico ocorre, muitas vezes, a ocupação de locais desfavoráveis à ocupação, promovendo o desequilíbrio ambiental dessas áreas. Dessa forma, quanto maior o grau e a intensidade da intervenção da sociedade humana no meio, maior a possibilidade de desencadeamento de problemas no meio urbano (ROSSINI, 2001).

¹ Neste trabalho não será discutido os conceitos e diferenciações das categorias de análise geográfica - espaço, paisagem, lugar, região e território. Em caso de interesse, consultar Santos (2012).

É por isto que a questão urbana no século XXI confunde-se com a questão ambiental: no mundo, estima-se que metade da população viva em aglomerados urbanos; no Brasil, a taxa de urbanização chegou a 81% no ano de 2000, o que torna um problema ambiental quando associados às características da urbanização brasileira. Urbanização esta que modifica todos os elementos da paisagem: o solo, a geomorfologia, a vegetação, a fauna, a hidrografia, o ar e até mesmo o clima (BRAGA, 2003).

Para Rossini (2001) o processo de urbanização afeta o equilíbrio ambiental, com elevados índices de degradação. Isso ocorre em casos onde a produção do espaço não é acompanhada de um planejamento que considere as características geofísicas. Nestas condições, há o aparecimento de sérios problemas ambientais, como carência de áreas verdes, acúmulo de dejetos e poluentes do ar e da água, lixo urbano, despejo de esgotos, erosão do solo, assoreamento dos rios, enchentes, alagamentos e inundações. É nesse sentido que, segundo a autora, a questão ambiental surge como um dos conflitos mais presentes no espaço urbano tendo efeitos negativos que atingem, com maior frequência e em maior grau, a população menos favorecida economicamente.

3.1.1 Conflitos do espaço urbano

A terra, como mercadoria, torna a natureza apenas um instrumento da produção do espaço urbano podendo sofrer inúmeras modificações. É assim que ocupam áreas inadequadas e aumentam-se a produtividade do solo. Sob esta ótica, o homem estendeu, encurtou, alargou, estreitou e enterrou rios à sua vontade. Modificou topografias conforme sua conveniência; desconheceu limites e sofreu suas consequências. Salinizou terras, desertificou regiões e construiu obras que ruíram em grandes catástrofes (CARVALHO, 2003).

Em um primeiro momento histórico da civilização, os rios propiciaram condições para o surgimento das cidades. Depois, as cidades passam a estabelecer relações não harmônicas entre eles (FERREIRA; FRANCISCO, 2003). Nesse sentido, pode-se citar o uso das águas em Sabá (Sheba) em tempos antigos, e o uso da água para irrigação no mar de Aral em tempos modernos² (CARVALHO, 2003).

² O primeiro caso remonta os tempos bíblicos. O açude de Sabá, ampliado várias vezes sobre uma mesma base, permitiu a sedentarização de populações. Sua ruptura destruiu os campos irrigados, a morte de grande parcela desse povo e a volta ao nomadismo - a procura de novos lugares para re-sedentarização. Já o mar de Aral situado nas repúblicas soviéticas do Kazaquistão e do Usbequistão, sofreu a consequência de irrigação para a produção em larga escala (CARVALHO, 2003), sendo ainda hoje, um exemplo de tragédia ambiental.

Atualmente, a água utilizada para o abastecimento urbano provém principalmente de rios e represas, as quais necessitam de grandes quantidades para suprir a população e as atividades econômicas. Por isso, as cidades estão localizadas próximas às margens de rios (CAMARGO; PEREIRA, 2003). Paralelamente, o recurso hídrico água se encontra cada vez mais escasso para atender as crescentes demandas, em função do crescimento populacional, do desperdício e do crescente uso nas cidades e na agricultura (PITTON, 2003).

Nesse sentido, com o consumo de recursos naturais, com destaque da água, aumentou-se o despejo de resíduos no meio ambiente, como nos corpos d'água e no ar; e as formas de uso e ocupação da terra, devido a atividades antrópicas, que, em muitos casos, causam impactos negativos ao meio ambiente, como o processo de urbanização, com a retirada da vegetação e a impermeabilização do solo, que segundo Braga (2003) causam um dos impactos humanos mais significativos no ciclo hidrológico, principalmente sobre os processos de infiltração, armazenagem nos corpos d'água e fluxo fluvial, bem como problemas de degradação física do solo.

Os processos de degradação física do solo constituem na erosão, compactação e assoreamento, que geram impactos na vegetação e na qualidade das águas superficiais, tornando sérios problemas ambientais. Estes problemas estão fortemente relacionados às mudanças de padrões de uso e cobertura da terra, em particular à expansão urbana (MARTELI; LOLLO, 2014).

Isso se dá porque, apesar dos avanços das ciências ambientais, persiste o velho modo de urbanização, onde morros e mangues são ocupados, praias são usadas como bota-foras e rios são confinados. Dessa forma, as cidades crescem desnaturalizando o meio ambiente, norteadas por ações fragmentadas com uma ótica econômica de curto prazo no qual se negligencia a minimização dos impactos ambientais, como observados na mudança dos parâmetros do ciclo hidrológico (CARVALHO, 2003).

Nesse sentido, os componentes do ciclo hidrológico natural são alterados com a modificação da cobertura vegetal e com a impermeabilização do solo, onde por meio de telhados, ruas, calçadas e pátios, a água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização passa a escoar através de superfícies impermeáveis, condutos e canais, exigindo maior capacidade de escoamento e aumento das seções e da declividade do conduto ou canal. Assim, além da redução da infiltração no solo e

do aumento do escoamento superficial, ocorre também a redução da água subterrânea e da evapotranspiração (TUCCI; ORSINI, 2005).

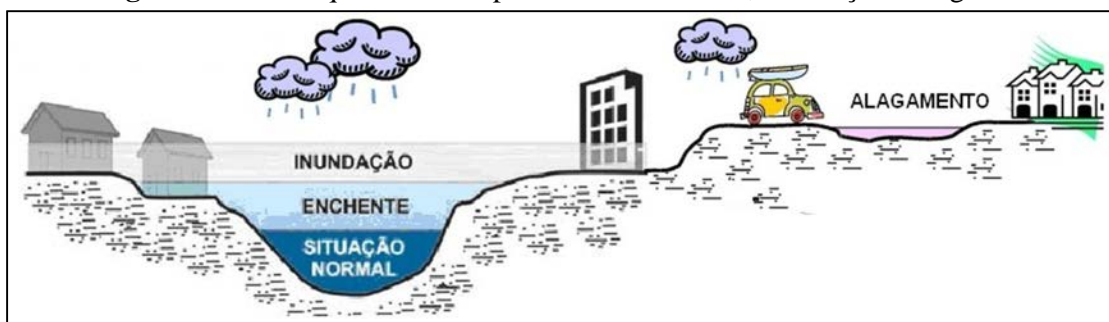
Deste modo, cabe destacar o clima urbano, que é fortemente afetado pelo ciclo hidrológico. A impermeabilização, a diminuição das áreas verdes e a poluição do ar nas cidades causam o fenômeno das ilhas de calor, que está associado ao aumento da pluviosidade nos centros urbanos no verão, contribuindo para o problema das enchentes. Vale destacar também outro problema climático urbano, que é a desumidificação, causada pela diminuição da evapotranspiração, devido a eliminação das áreas vegetadas (BRAGA, 2003).

Segundo Rossini (2001) os problemas ambientais urbanos são uma reação ao uso do solo, isto é, da ocupação inadequada do meio físico. A ocupação urbana, juntamente com a intensificação do uso da terra, agravaram os problemas de gestão das águas nas cidades: as águas não invadem as cidades, elas é que foram invadidas por essas (CARVALHO, 2003).

Nesse sentido, os resultados notáveis desse desequilíbrio na drenagem são as enchentes urbanas, que ocorrem sazonalmente nas cidades. Isso demonstra a fragilidade do sistema hidrológico urbano, no qual pequenas mudanças podem acarretar grandes alterações em seu funcionamento, com grandes impactos na qualidade de vida (BRAGA, 2003).

Por isso, cabe destacar os conceitos de enchentes, inundações e alagamentos que geralmente são apresentados equivocadamente como sinônimos. Para Amaral e Ribeiro (2009) o conceito de enchentes (ou cheias) está relacionado à elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo cota máxima sem extravasar; o conceito de inundação abrange o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea e o conceito de alagamento está relacionado ao acúmulo momentâneo da água em determinados locais por deficiência do sistema de drenagem (Figura 1).

Figura 1. Perfil esquemático do processo de enchente, inundação e alagamento



Fonte: Adaptado de Carvalho, Macedo e Ogura (2007) e Batista (2014).

Ainda, Amaral e Ribeiro (2009) também conceituam enxurradas³, que tem como característica, o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode estar ou não associado a áreas de domínio dos processos fluviais.

Assim, o desenvolvimento urbano desordenado aumenta os níveis de risco de desastres naturais associados a deslizamentos, enchentes e inundações. Em muitas cidades brasileiras, tem ocorrido a ocupação inadequada de áreas suscetíveis a tais processos o que tem causado o crescimento de áreas de risco e o número de acidentes com perdas materiais e, sobretudo, de vidas humanas (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

De acordo com o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - CENAD (2013) no Brasil foi relatado oficialmente no ano de 2012, a ocorrência de 376 desastres naturais, onde 3.781 municípios foram atingidos. Somente para os eventos de alagamentos e inundações, somaram 26.600 e 5.466.498 vítimas respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Vítimas de alagamentos e inundações em 2012 no Brasil

	Alagamentos	Inundações
Óbitos	5	14
Feridos	6	2.409
Enfermos	6	10.665
Desabrigados	1.048	52.041
Desalojados	954	216.349
Desaparecidos	0	2
Afetados	24.581	5.185.018
Total	26.600	5.466.498

Fonte: Adaptado de CENAD (2013).

Segundo Montenegro e Tucci (2005) as inundações urbanas ocorrem em consequência da ocupação das áreas de risco pela população durante os períodos secos (essas áreas serão ocupadas pelos rios durante o período chuvoso), em virtude da urbanização dos últimos anos, da impermeabilização do solo e da canalização dos rios urbanos.

Outras razões das inundações são o desmatamento desordenado, favorecendo a erosão e consequente assoreamento dos corpos hídricos receptores; a diminuição da infiltração da água no solo, gerando maiores quantidades do escoamento superficial; o acúmulo de lixo nos bueiros e rios, que prejudicam o escoamento da água; e o revestimento de vias e calçadas com material impermeável, reduzindo a superfície de infiltração (JACAREÍ, 2012).

³ Por não ser um fenômeno natural não será discutido nesta pesquisa.

Enchentes e inundações são eventos naturais que ocorrem com periodicidade nos cursos d'água, devido à ocorrência de chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração (AMARAL; RIBEIRO, 2009) em áreas planas e em fundos de vale. Enquanto que esses eventos predominam nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul do Brasil, os eventos de alagamentos ocorrem principalmente na região Sul, seguida da região Sudeste e Nordeste (CENAD, 2013).

Outro conflito que merece ser destacado é em relação aos ambientes aquáticos. Esses são extremamente vulneráveis aos impactos provocados pelas atividades humanas, incluindo o processo de urbanização, que leva a um aumento de demanda do uso da água e perda da sua qualidade devido aos efluentes produzidos (CAMARGO; PEREIRA, 2003). Além disso, há os sedimentos produzidos em decorrência de construções, da limpeza de terrenos para novos loteamentos, da construção de ruas, avenidas e rodovias, que contaminam as águas pluviais (TUCCI; ORSINI, 2005).

Segundo Montenegro e Tucci (2005) as águas pluviais aumentam a quantidade de cargas poluidoras, pois estas são carregadas para os rios, além do material proveniente do esgoto sanitário. Esses poluentes são orgânicos e químicos, resultados do lixo urbano e da emissão de gases para a atmosfera, os quais se depositam sobre as superfícies urbanas e são lavados durante as inundações.

É desta forma que existem as doenças de veiculação hídrica. Desde a antiguidade, as cidades enfrentam epidemias ligadas à falta de saneamento (BRAGA, 2003). Segundo a Organização Mundial da Saúde citado por Pitton (2003), essas enfermidades transmitidas pela água são responsáveis por aproximadamente 65% das internações hospitalares. No Brasil tais doenças constituem ainda um dos problemas mais graves de saúde pública, afetando principalmente crianças de baixa renda e que habitam regiões carentes e com condições precárias de infraestrutura sanitária.

Como exemplo de algumas destas doenças, tem-se a cólera⁴ e a febre tifóide (devido a presença de organismos patogênicos na água que é consumida, causando infecção); a sarna (falta de água associada à higiene); a diarreia (devido a água não potável, falta de saneamento

⁴ A última pandemia de cólera, iniciada na Indonésia em 1961, atingiu o Brasil em 1991. Até 2001 haviam sido confirmados quase 170 mil casos no país, principalmente na região nordeste. Atualmente a doença está sob controle (BRAGA, 2003).

e higiene), a malária e a dengue⁵ (devido a presença de vetores desenvolvidos na água) e a leptospirose⁶ (contaminação da urina do rato de esgoto presente em águas de inundações e enchentes urbanas) (PITTON, 2003; DANIEL, 2013).

Assim, dependendo das características geológicas e de relevo, o modo de ocupação urbana pode vir a provocar situações de risco, que podem ser destrutivos ao colocar pessoas, construções e o próprio ambiente em risco. No entanto, se a instalação dos núcleos urbanos for feita respeitando as características geológicas e geotécnicas, os impactos são menores e os riscos minimizados (PEJON; RODRIGUES; ZUQUETTE, 2013).

3.2 PLANEJAMENTO URBANO

O planejamento urbano tenta criar um mundo como ele deveria ser (e não como ele é), com formas “adequadas” de apropriação do território, da produção do espaço. Tem como meta a cidade ideal, a ocupação harmônica e integrada das áreas urbanas, o progresso e o desenvolvimento das cidades (RODRIGUES, 2008).

Quando se trata de planejamento urbano, tem-se encontrado também o conceito gestão urbana. Neste caso, merece destacar as diferenças conceituais. De acordo com Souza (2010) planejamento e gestão são conceitos distintos e complementares por possuírem referenciais temporais distintos e atividades diferentes. O planejamento vem do verbo “planejar” (criar um plano) e é um conceito ligado a evolução de um fenômeno que remete ao futuro, especialmente a médio e longo prazo. Gestão vem do verbo “gerir” (“gerenciar”, “administrar”) e é um conceito ligado à administração de empresas (gestão empresarial) que remete ao presente, pois têm em vista as necessidades imediatas.

Nesse sentido, Leal (2003) afirma que a gestão urbana e regional possui diversas interfaces com o gerenciamento de recursos hídricos, principalmente quando se adota a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento. Deste modo, cabe ressaltar os conceitos de planejamento e gerenciamento ou gestão quando direcionado às questões das águas ou dos recursos hídricos. Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA,

⁵ A principal região brasileira atingida pela dengue é a sudeste, principalmente o Rio de Janeiro, onde até o ano de 2001 haviam sido registrados mais de 370 mil casos, segundo a Fundação Nacional de Saúde citado por Braga (2003).

⁶ Em 2000 foram notificados 4.128 casos de leptospirose, sendo 26% na região sudeste (BRAGA, 2003).

[...] o **planejamento** na gestão das águas é um processo que procura definir as melhores alternativas de utilização dos recursos hídricos e orientar a tomada de decisão, de modo a produzir os melhores resultados econômicos, sociais e ambientais, sendo essencialmente interativo, em decorrência da variabilidade natural do ciclo hidrológico e das incertezas quanto aos cenários de desenvolvimento socioeconômico. Esse planejamento consiste na busca de soluções de compromisso, principalmente com objetivo de minimizar conflitos pelo uso da água, sejam existentes ou potenciais, tendo em vista os múltiplos interesses dos usuários da água, do poder público e da sociedade civil organizada, bem como as múltiplas metas a serem alcançadas, sejam elas de cunho econômico, financeiro, social ou ambiental, ou ainda, propiciar a prevenção e a mitigação de eventos hidrológicos críticos, como as secas ou inundações (ANA, 2013, p.11, destaque nosso).

De acordo com o glossário de termos do IGAM (2008, p. 37, destaque nosso) “o **gerenciamento** é a produção de informações, acompanhamento e tomada de decisões que têm por objetivo final promover o uso, o controle e a proteção dos recursos ambientais”. Nesse sentido, a gestão de recursos hídricos é a

utilização e administração racional, democrática e participativa dos recursos hídricos. A gestão das águas também pode ser definida como uma atividade analítica e criativa voltada à formulação de princípios e diretrizes (Política das Águas), ao preparo de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões (modelo de gerenciamento) que têm por objetivo final promover o inventário, uso, controle e proteção dos recursos hídricos (planejamento). Sinônimo: gestão das águas (IGAM, 2008, p.37).

Por isso, neste caso a essência dos termos representa a política de administração das águas, cujas atividades visam seu uso racional, estabelecendo políticas e instrumentos de manejo.

3.2.1 Gerenciamento dos Recursos Hídricos

As questões relativas ao gerenciamento de recursos hídricos tiveram início a partir da década de 1970, com uma crescente preocupação com as questões relacionadas ao meio ambiente. No cenário internacional foi criada a comissão da Organização das Nações Unidas (ONU), em 1983, para levantar os principais problemas ambientais do planeta e sugerir estratégias para preservação do meio ambiente (ANA, 2011).

Em movimento paralelo, a partir da década de 1980⁷, com a retomada do regime democrático no Brasil, algumas inovações institucionais foram se efetivando na gestão das políticas públicas, sobretudo por pressão de movimentos sociais que demandavam maior participação da sociedade na elaboração destas políticas. Assim, foram formuladas estruturas de gerenciamento com a participação de entidades da sociedade civil (ANA, 2011).

Nesse contexto, os estados brasileiros passaram a discutir e fundamentar suas leis para a gestão de recursos hídricos, tendo como base a gestão descentralizada, integrada e participativa da água; a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gestão; a água como um bem público e com valor econômico; instrumentos de planejamento e regulação por bacia; e instrumentos econômicos para a gestão da água como a cobrança pelo seu uso (ANA, 2011).

Em 1987, o governo paulista criou através do Decreto nº 27.576, o primeiro Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CRH (SÃO PAULO, 1987), mas foi somente em 1991 com a Lei nº 7.663 que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SIGRH (SÃO PAULO, 1991)⁸. Nesta lei foram criados como órgãos de coordenação o CRH e os Comitês de Bacias Hidrográficas, com atuação em unidades hidrográficas estabelecidas pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos. Além disso, foi criado para suporte financeiro o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO)⁹.

Dessa forma, foi estabelecido a divisão hidrográfica do Estado de São Paulo em unidades hidrográficas, com dimensões e características que permitam e justifiquem o gerenciamento descentralizado dos recursos hídricos. No entanto, foi com a Lei nº 9.034/94, que trata do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) 1994-1995, que definiu-se a divisão hidrográfica do Estado de São Paulo em 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHIs (SÃO PAULO, 1994).

A nível nacional foi promulgada a Lei nº 9.433/97, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e estabelecendo a bacia hidrográfica como a base territorial de planejamento e gestão da água através dos Comitês de Bacia Hidrográfica e de outros órgãos (BRASIL, 1997). Três anos depois foi criada, por meio da Lei nº 9.984/00, a Agência Nacional de Águas, entidade

⁷ No Brasil já existia o Código de Águas, estabelecido pelo Decreto nº 24.643, de 10 de Julho de 1934 (BRASIL, 1934).

⁸ Posteriormente alterado pelo Decreto nº 36.787, de 18 de Maio de 1993 (SÃO PAULO, 1993).

⁹ Posteriormente alterado pela Lei nº 10.843, de 5 de julho de 2001 (SÃO PAULO, 2001).

responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do SINGREH (BRASIL, 2000).

3.2.1.1 Bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento territorial

Microbacia hidrográfica é definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas escoam superficialmente, formando córregos, riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e dos mananciais subsuperficiais (TEODORO et al., 2007). É nesta área delimitada pelos divisores de água que ocorre a alimentação dos pequenos tributários (BRAGA, 2003).

Leal (2003) define a bacia hidrográfica como sendo a área drenada por um rio ou por um sistema fluvial, funcionando como um sistema aberto em que cada um dos elementos presentes no sistema apresentam uma função própria e estão estruturados e relacionados entre si. Dessa forma, tudo que ocorre na bacia hidrográfica repercute direta ou indiretamente nos rios e na qualidade e quantidade das águas.

Tucci (2009) mostrou que a microbacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico, onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando as perdas intermediárias - volumes evaporados, transpirados e infiltrados. A microbacia tem um papel importante no ciclo hidrológico e é um elemento fundamental na análise da dinâmica temporal da área em estudos de microescala.

As bacias hidrográficas permitem também uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas. Assim, ao considerar uma bacia hidrográfica como unidade de gestão deve-se abordar todos os seus elementos: água, solo, fauna, flora, uso e ocupação da terra (LEAL, 2003).

Nesse sentido, a caracterização de bacias hidrográficas, segundo Rodrigues e Mendiondo (2013) é dada pela integração de variáveis físicas (tipo de solo, uso e ocupação da terra, hidrografia, clima, relevo, geologia e geomorfologia), ecológicas (fauna e flora em ambiente terrestre e aquático) e socioeconômicas (produção agrícola e industrial, demografia, crescimento populacional e economia), além do comportamento hidroclimático (séries históricas de pluviometria, fluviometria, sedimentometria e qualidade da água).

É desta forma que o entendimento da microbacia hidrográfica, como unidade de conservação para produção de água, permite a manutenção dos recursos hídricos. O

monitoramento da microbacia pode também fornecer indicações a respeito de mudanças desejáveis ou indesejáveis que estejam ocorrendo com os recursos hídricos, como consequência de práticas de manejo (RENNÓ, 2004).

No Estado de São Paulo, as UGRHIs constituem as unidades físico-territoriais no processo de gerenciamento dos recursos hídricos. Para sua delimitação, de acordo com Leal (2003), foram consideradas as características físicas (geomorfologia, geologia e hidrologia), políticas, demográficas e socioeconômicas, bem como o número de municípios em cada UGRHI (conjunto de até 50 municípios), suas áreas (não muito superior a 25 mil Km²) e as distâncias rodoviárias (da ordem de até 300km). Além disso, foram denominadas de acordo com o rio principal, a divisão segundo trechos dos rios (alto, médio e baixo) e denominações regionais, e finalmente classificadas como industrial, agropecuária, conservação e em industrialização.

Mesmo assim, segundo o autor, existem conflitos como a incompatibilidade dos limites territoriais e administrativos com os limites físicos da bacia, sendo um desafio para gestão organizar a sociedade por bacias hidrográficas e por UGRHIs. No caso da divisão hidrográfica, algumas UGRHIs não contem a totalidade dos territórios municipais e fragmentam regiões administrativas, surgindo em alguns casos movimentos sociais e políticos. Nesse sentido, é preciso analisar cada caso específico de delimitação territorial, não considerando apenas os limites naturais das bacias hidrográficas, mas o uso e ocupação da terra. Diante desta situação, outros recortes espaciais devem ser feitos (LEAL, 2003).

Por isso, para Manoel (2013) a bacia hidrográfica constitui na unidade mais adequada para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, uma vez que a água é um bem público, vital, finito e poluível. Neste caso, Rodrigues e Mendiondo (2013) afirmam que para a gestão de recursos hídricos o tamanho ideal é aquele que corresponde a problemática de interesse, isto é, tanto uma microbacia urbana, como a bacia do Rio São Francisco, por exemplo, podem se enquadrar nesse critério de interesse.

Dessa forma, segundo Porto et al. (2009) o processo de planejamento de uma bacia é constituído pela determinação das características da bacia, pela simulação do comportamento hidrológico da bacia para as condições atuais e futuras, pela identificação das possíveis medidas estruturais e não-estruturais cabíveis, pela elaboração de cenários que quantifiquem os resultados de diferentes políticas de atuação, pela delimitação da várzea de inundação e pela quantificação dos efeitos da aplicação do plano em termos de custo, benefícios e eficiência da consecução dos seus objetivos.

3.2.1.2 Leis relativas a prevenção de riscos urbanos

Em 1979, a Lei Federal 6.766 (BRASIL, 1979), relativa ao parcelamento do solo urbano, estabeleceu uma série de diretrizes para a ocupação urbana. Os critérios de definição de áreas *non aedificandi* tiveram como base alguns componentes do meio físico, como: terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, terrenos com declividades superiores a 30% e terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação. No entanto, por falta de regulamentação do plano diretor das cidades, muitas medidas não foram adequadamente seguidas na implantação das cidades (PEJON; RODRIGUES; ZUQUETTE, 2013).

Com a Constituição Federal de 1988, foi definida a obrigatoriedade da elaboração de planos diretores como “instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana” para os municípios brasileiros com mais de 20 mil habitantes (BRASIL, 1988). Além disso, como consequência da necessidade de regulamentação dos artigos 182 e 183, referente a política urbana, a Lei nº 10.257/2001 conhecida como Estatuto da Cidade, instituiu o Estudo de Impacto de Vizinhança como instrumento de licenciamento ambiental para projetos de uso e ocupação do solo urbano, o qual tem por princípio considerar os efeitos das propostas de uso no ambiente natural, além dos impactos na infraestrutura e no projeto urbano (BRASIL, 2001).

Dessa forma, na esfera federal destacam-se o Estatuto das Medidas Preventivas e Saneadoras de Catástrofes Climáticas (BRASIL, 2011a) e os programas de “Prevenção de Preparação para Emergências e Desastres”, de “Resposta a Desastres” (BRASIL, 2014); além da proposição da Medida Provisória 547/2011 (BRASIL, 2011b), que “institui o cadastro nacional de municípios com áreas propícias à ocorrência de escorregamentos de grande impacto ou processos geológicos correlatos” e define com obrigação dos municípios cadastrados “elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo urbano”.

Como decorrência da MP 547/2011 se tem a Lei 12.608/2012 que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, a qual define as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil, e como obrigação do município “elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização” e que o plano diretor dos municípios incluídos no cadastro nacional deverá considerar as cartas geotécnicas na identificação e mapeamento de áreas de risco (BRASIL, 2012).

No Estado de São Paulo tem-se o Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e de Redução de Riscos Geológicos (BROLLO; TOMINAGA, 2012, p.2), que visa “promover o diagnóstico atualizado dos perigos e de riscos de escorregamentos, inundações, erosão e colapso de solo, estabelecendo prioridades para mapeamento de áreas de risco existentes no Estado de São Paulo” e coloca como uma das ações prioritárias do programa o mapeamento de áreas de riscos e de cartas geotécnicas.

No município de Ilha Solteira, a política de habitação regulamentada pelo Plano Diretor sob a Lei Complementar nº 151/08, assegura a preservação das áreas de mananciais e a não ocupação das áreas de risco. Quanto ao parcelamento do uso do solo, prevê evitar a erosão das terras pela ação dos agentes naturais e não permite o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas às providências para assegurar o escoamento das águas e em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

A referida lei também define procedimentos administrativos e de treinamento de pessoal para a prevenção de enchentes, inundações urbanas, erosões do solo, deposição de entulhos de construção civil e lixo domiciliar em áreas não licenciadas, queimadas e desmatamentos e, prevê ainda a elaboração de estudos dos pontos de alagamento no perímetro urbano, visando corrigir as prováveis causas, prevenindo assim contra danos maiores no futuro (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

Assim, nota-se que nos últimos anos, instrumentos legais têm sido propostos para criar mecanismos de gestão e planejamento para as áreas urbanas de forma a evitar ou reduzir os impactos decorrentes do processo de urbanização. Como apontado por Carvalho (2003), no campo da legislação em nível federal há conquistas, que dependem por sua vez, da implantação em níveis estaduais e municipais.

No entanto, é comum que os custos envolvidos na execução de um trabalho detalhado de levantamento das condições do meio físico inviabilizem seu uso na maioria dos municípios brasileiros. Mesmo quando existe uma base de dados geológicos, geomorfológicos e geotécnicos de boa qualidade, a carência no entendimento dos processos de dinâmica superficial impede análises mais acuradas na previsão de problemas.

Assim, como observado por Manoel (2013), no município de Ilha Solteira, como em toda a região Noroeste do Estado de São Paulo, não houve a visão preservacionista dos recursos naturais no desenvolvimento da região, sendo predominante a ocupação desordenada

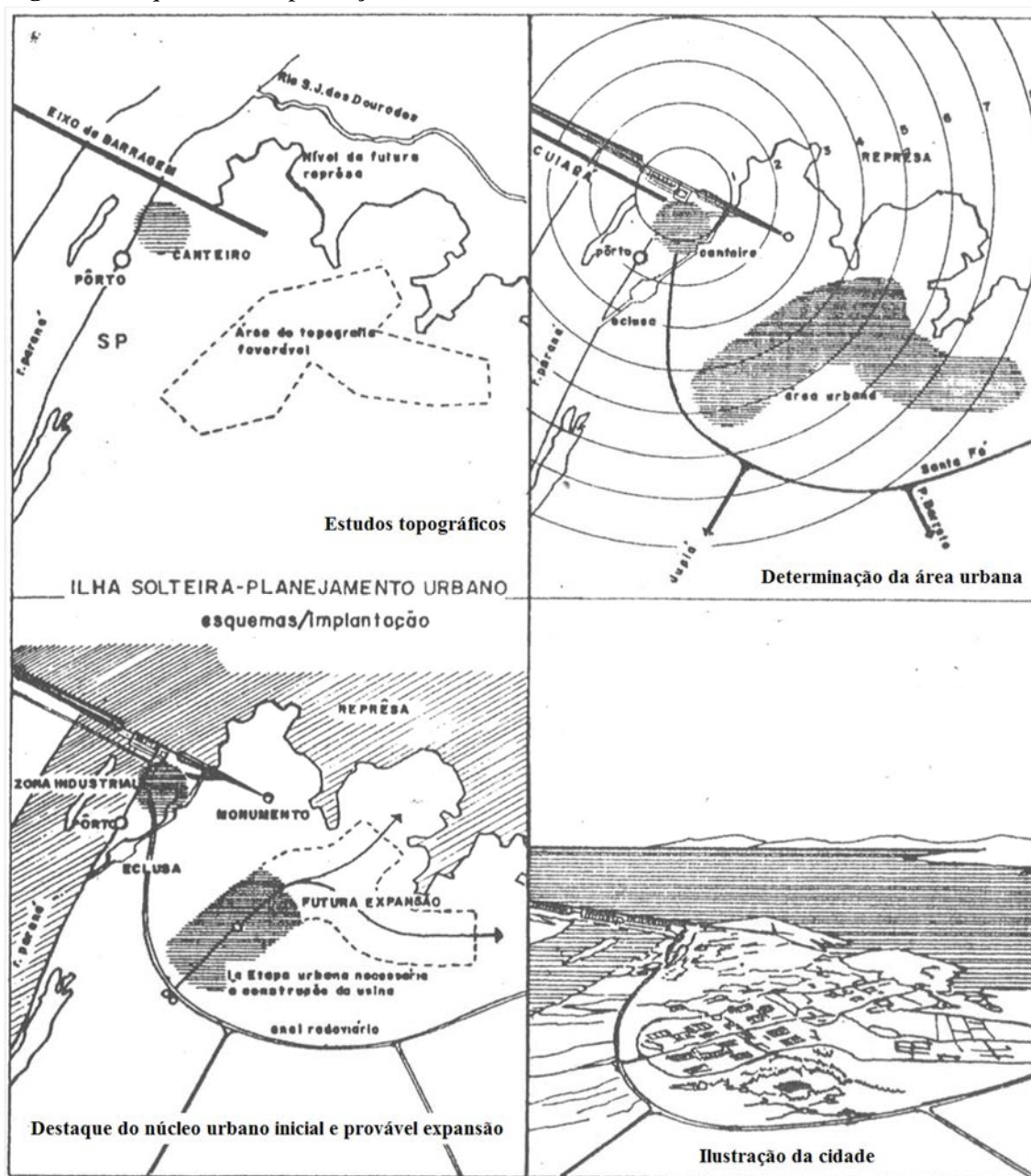
dos solos, inclusive das áreas de proteção dos mananciais, em favor da expansão da fronteira agrícola e da pecuária.

3.2.2 Planejamento urbano de Ilha Solteira

O município de Ilha Solteira foi planejado para servir de “acampamento” à mão-de-obra necessária para a construção da usina hidrelétrica¹⁰. Obedecendo as características topográficas locais e estudos preliminares, o plano diretor inicial estabeleceu a implantação do núcleo urbano como apresentado na Figura 2.

¹⁰ Maiores informações serão apresentadas no item 4.2 Aspectos históricos e socioeconômicos do município.

Figura 2. Esquema de implantação do núcleo urbano de Ilha Solteira



Fonte: Adaptado de Santim (2007).

Segundo Santim (2007), as modificações temporais no uso e ocupação da terra na cidade de Ilha Solteira podem ser descritas segundo as décadas de 1970, 1980, 1990 e, 1996, pois de acordo com o autor, nestes anos ocorreram as mudanças significativas da estrutura física do meio urbano¹¹. A evolução desta ocupação urbana de Ilha Solteira é demonstrada pela Figura 3.

¹¹ Para mais informações a respeito da implantação, planejamento, zoneamento e evolução do núcleo urbano do município de Ilha Solteira, consultar Santim (2007).

Figura 3. Processo de desenvolvimento urbano do núcleo principal de Ilha Solteira



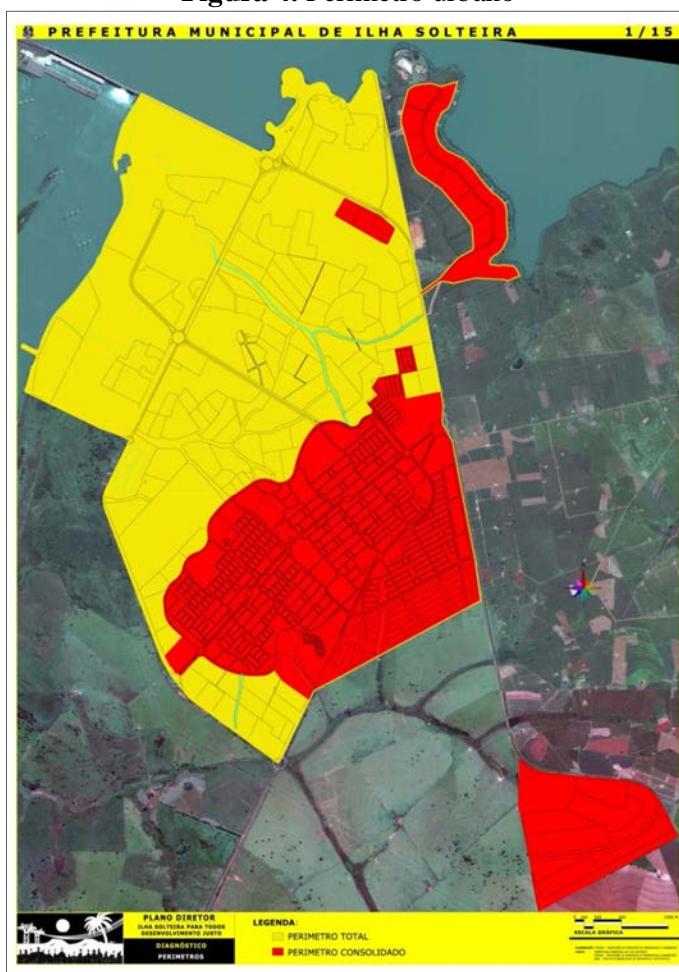
Fonte: Adaptado de Santim (2007).

De acordo com a Lei nº 1137/2004, o perímetro urbano do município (Figura 4) expande-se sobre uma área distinta de 92,1869 ha e essa zona de expansão urbana fica estabelecida na faixa delimitada em 100 metros de distância, a partir da linha divisória do perímetro urbano, com exceção daquela com o Rio Paraná e com o Rio São José dos Dourados (ILHA SOLTEIRA, 2004).

No entanto, não é o que se observa na Figura 4 do Plano Diretor Participativo (ILHA SOLTEIRA, 2008b), pois para que este “mapa¹²” possa ser validado, o “perímetro total” que foi delimitado deveria considerar as áreas de proteção ambiental, que por sua vez não estão indicadas.

¹² Embora o *site* da Prefeitura diz ser mapas, a representação não corresponde necessariamente à mapas por faltar elementos cartográficos.

Figura 4. Perímetro urbano



Fonte: Ilha Solteira (2008b)

Neste “mapa” da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, estão destacadas as áreas urbana e periurbana, e parte das áreas rurais do município. A área delimitada em amarelo corresponde aos limites totais. Já as manchas em vermelho, segundo a Figura 4, participam o perímetro consolidado.

Dessa forma, o perímetro consolidado corresponde tanto à malha urbana, quanto às áreas de ocupação com outros usos, como ranchos e chácaras. Todavia, no bairro rural do Córrego do Ipê, por estar classificado como perímetro consolidado na Figura 4, deveria estar incluso na delimitação de perímetro total, assim como as chácaras próximas ao Rio São José dos Dourados.

3.2.2.1 Panorama geral do Plano Diretor de Ilha Solteira

O Plano Diretor do município de Ilha Solteira, regulamentado sob a Lei Complementar n° 151/08, assegura no Título 1, Capítulo IV as diretrizes de desenvolvimento físico territorial na ótica da gestão do meio ambiente, dos recursos hídricos, do saneamento ambiental e serviços urbanos, da habitação, da paisagem urbana e áreas públicas, dentre outras providências (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

A política municipal do meio ambiente assegura a manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado, entendido como bem indissociável das condições necessárias à manutenção da vida, assim como o gerenciamento adequado dos recursos naturais, visando proteger, conservar e recuperar a qualidade ambiental, garantindo desenvolvimento sustentável e adequado do solo urbano e rural, para proteção dos ecossistemas, das unidades de conservação, da fauna e da flora (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

Além do mais, declara o controle e fiscalização das atividades potenciais ou efetivamente degradantes, a promoção de incentivos e formas de compensação às atividades destinadas a manter o equilíbrio ecológico, a articulação da ação pública entre os órgãos e entidades do Município e com os demais níveis de governo, bem como a realização de parcerias com o setor privado e organizações da sociedade civil, visando a recuperação, preservação e melhoria do meio ambiente, sem contar a difusão da educação ambiental (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

Dentre os objetivos desta lei, tem-se a diminuição e controle dos níveis de poluição ambiental: atmosférica, hídrica, sonora, visual e do solo e, a recuperação e proteção dos recursos hídricos, matas ciliares e áreas degradadas. Ainda conta com a implantação de uma zona de amortecimento progressivo e combinado do perímetro urbano para a zona rural, com características agroecológicas visando impedir principalmente os impactos sobre as populações, em especial nas regiões sul e leste do perímetro urbano consolidado, onde a estrutura fundiária baseada na grande e média propriedade, propicia a monocultura da cana de açúcar (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

Em relação aos recursos hídricos, a administração municipal proíbe o lançamento de efluentes nos corpos d'água, fiscaliza as atividades pesqueiras de caráter predatório, estimula o uso dos rios e dos lagos artificiais para atividades de turismo de caráter preservacionista que respeite a flora e fauna aquáticas; apoia pesquisa sobre os recursos hídricos do município que visem à preservação, manutenção e qualidade no interesse coletivo; e impede que loteamentos

ocupem as áreas marginais aos recursos hídricos (ILHA SOLTEIRA, 2008a). Por outro lado, a literatura correspondente apresenta inúmeros relatos sobre a degradação hídrica nas microbacias hidrográficas do município¹³.

Sobre o sistema de saneamento ambiental de Ilha Solteira, existem os princípios de preservar, recuperar e monitorar os recursos naturais; promover o abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos e a coleta, tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos de maneira ininterrupta e de acordo com os padrões ambientais e de saúde pública vigente; e melhorar a qualidade de vida e proteger a saúde pública. Além disso, tem como objetivo manter, atualizar e aprimorar os mapas e cadastros, comercial e técnico referente à água, esgotos, de resíduos sólidos drenagem e pavimentação; aceitar como válidos, apenas os levantamentos planialtimétricos que tenham como base a rede de marcos georreferenciados do município. Mas não é o que se observa no *site* da Prefeitura Municipal (http://www.ilhasolteira.sp.gov.br/planodiretor/map_diagn.html).

Ainda nesse item, a referida lei tem como objetivo implantar sistema funcional de fiscalização e controle ambiental, sanções aos despejos clandestinos e a disposição inadequada de resíduos. Nesse sentido, proíbe a deposição de lixo em locais inapropriados, em áreas urbanas ou agrícolas; a incineração e a disposição final de lixo a céu aberto; a utilização de lixo “in natura” para alimentação de animais e adubação orgânica; o lançamento de lixo em água de superfície, sistemas de drenagem de águas pluviais, poços, cacimbas e áreas erodidas; e o assoreamento de fundo de vale através da colocação de lixo, entulhos e outros materiais (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

No entanto, ao especializar os loteamentos de Ilha Solteira, Santim (2010) identifica lançamentos clandestinos de esgoto, pontos de colapso de solo e processos erosivos, com erosões com mais de 5m de profundidade, reforçando mais uma desconformidade com o Plano Diretor do município.

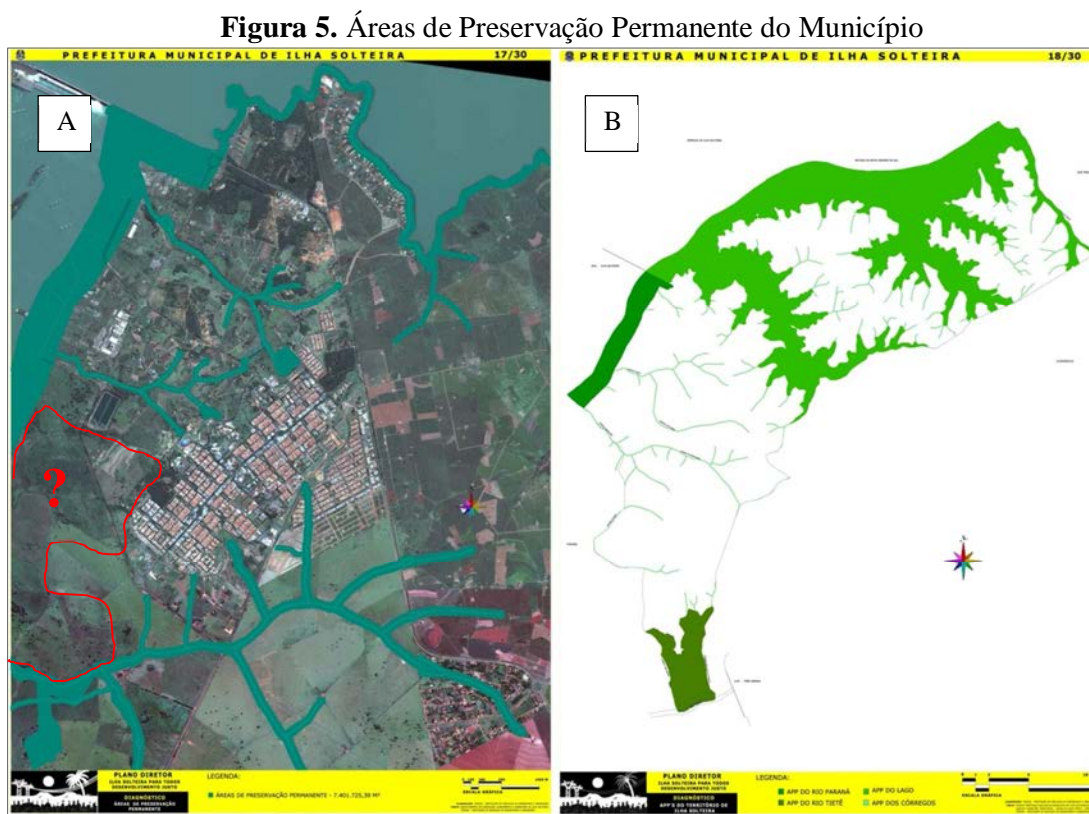
Dentre os princípios da política municipal de habitação tem-se a implementação de programas de educação ambiental, de modo a assegurar a preservação das áreas de mananciais, a não ocupação das áreas de risco e dos espaços livres de uso público ou destinado a bens de uso comum da população e o incentivo de parcerias com universidades, institutos de pesquisa ou empresas privadas para o desenvolvimento de alternativas de menor

¹³ Os dados serão apresentados na caracterização da área de estudo.

custo, maior qualidade e produtividade das edificações residenciais (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

Em relação às áreas públicas, a referida lei visa à recuperação e a revitalização de áreas degradadas ou que venham a se caracterizar como áreas degradadas, em especial as áreas do interior do “Violão”, do “Cinturão Verde”, Alameda dos Pescadores, da Praia Catarina e da Praia da Marina, além de controlar a poluição visual e sonora, dos recursos hídricos, do solo e do ar que possam afetar a paisagem urbana e ambiental (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

Segundo o Plano Diretor Municipal, as Áreas de Preservação Permanente (APP) estão representadas de acordo com a Figura 5. Nestes “mapas”, se observa a falta de conhecimento técnico e conceitual das áreas de preservação permanente, proteção ambiental, reservas legais e principalmente, do Código Florestal Brasileiro. Isso porque tanto na delimitação das APP's em nível municipal, quanto em nível de detalhe para a área da cidade estas delimitações estão equivocadas.



Fonte: Adaptado de Ilha Solteira (2008b).

Na imagem do lado esquerdo da figura acima (A), falta também a delimitação de alguns trechos hídricos. Já na imagem posicionada do lado direito (B) da Figura 5 falta a

delimitação das APP's, pois o que foi indicado representa em sua maioria os rios principais que drenam o município, sem contar o equívoco no extremo sul do limite municipal, que foi indicado como APP do Rio Tietê, uma área que drena pequenos cursos d'água.

Neste contexto, cabe salientar o sistema de informações apresentado no Plano Diretor. Segundo esta lei municipal, o Poder Executivo deverá criar e manter atualizado, permanentemente, o Sistema de Informações do Município de Ilha Solteira - SIMIS, como uma unidade funcional-administrativa de gestão da informação vinculado ao setor de urbanismo e será constituído de informações sociais, demográficas, culturais, econômicas, financeiras, patrimoniais, administrativas, físico-territoriais, cartográficas, geológicas, ambientais, imobiliárias e outras de relevante interesse para o Município, georreferenciadas em meio digital (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

Assim, verifica que embora haja contradições técnicas perante a teoria e prática, por ser uma cidade de pequeno porte, existe uma tentativa de se fazer um planejamento urbano da cidade, uma vez que outras cidades, até maiores, estão bem atrás em termos de materiais disponíveis à população. No entanto, o município tem a vantagem de ter a universidade que gera materiais atualizados e investe em pesquisa.

Deste modo, cabe salientar que o município conta com uma área localizada ao norte da área urbana conhecida como Cinturão Verde, o qual trata de um projeto de reassentamento implantado em 1984 pelo Governo Estadual (HERNANDEZ. et al., 2000). Nesta área, estudos indicam que qualidade dos cursos d'água no Cinturão Verde estão adequadas para o uso em irrigação, como apresentados por Moura et al. (2011).

3.2.2.2 Plano Diretor de uso e parcelamento do solo urbano de Ilha Solteira

Dentre os princípios do modelo espacial e uso do solo no município de Ilha Solteira, tem-se a preservação e proteção de áreas impróprias à urbanização, de urbanização controlada, e áreas especiais de interesse ambiental e, a adoção de microbacias hidrográficas como unidades territoriais de planejamento regional, gestão ambiental, monitoramento e gerenciamento dos recursos hídricos e manejo do solo (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

O macrozoneamento territorial delimita o município em três divisões: **Zona Urbana** (área intensiva de ocupação), **Zona Periurbana** (uso semi-extensivo, de baixa densidade com características funcionais de ecocidade, com um cinturão verde intermediário de preservação

e proteção, predominância de um conjunto de atividades de produção e promoção econômica sustentável e de gestão ambiental, estrutura fundiária baseada na pequena propriedade, com usos rural e urbano combinados) e **Zona Rural** (área extensiva, onde as diretrizes de uso e ocupação, devem promover prioritariamente as atividades agroindustriais, agroecológicas e de eco-turismo) (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

O uso do solo no município de Ilha Solteira é definido e constituído por cinco categorias gerais. São elas: **Rural** (que se subdivide em: Rural de Produção Agrícola; Rural de Produção Agroindustrial; e Rural de Lazer); **Especial** (que se subdivide em: Especial de Interesse Social; Especial de Interesse Turístico; Especial de Proteção e Recuperação Ambiental; Especial de Preservação e Proteção do Patrimônio; Especial de Reestruturação Produtiva; e Zona Especial de Interesse Estratégico); **Residencial** (que se subdivide em: Residencial Unifamiliar; Residencial Multifamiliar; Misto Predominantemente Residencial; e Residencial Especial de Interesse Social); **Comercial e de Serviços** (que se subdivide em: Comércio e Serviços de Nível local; Comércio e Serviços de Nível Geral; Comércio e Serviços Pesados; Serviços Institucionais de Nível Local; Serviços Institucionais de Nível Municipal; e Serviços Institucionais de Nível Geral; e **Industrial** (que se subdivide em: Industrial Leve, médio e pesado) (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

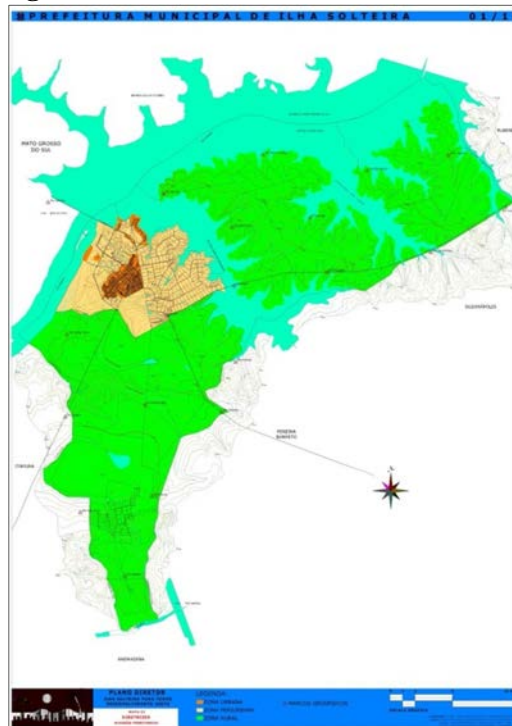
Vale destacar que nas zonas especiais há uma maior atenção do poder público municipal frente às ações e diretrizes municipais para uso e ocupação da terra e aplicação dos instrumentos da política urbana, sejam elas atividades para preservação, proteção, monitoramento e manutenção de áreas ambientais e aquelas ligadas a riscos geotécnicos, sejam as que visam o desenvolvimento do turismo e educação ambiental, que apresentam valor histórico e cultural, ao qual se deve preservar. Ainda nessa categoria “Especial”, existem as áreas de interesse estratégico de desenvolvimento econômico e social e de expansão urbana, as quais possuem atrativos devidos suas características de localização, geomorfológicas, topológicas e de contigüidade ao perímetro urbano (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

Por isso, segundo a Lei nº 1137/2004, estas áreas estratégicas para a expansão urbana devem ser monitoradas, evitando ocupações que impeçam ou prejudiquem a futura expansão da estrutura urbanística de Ilha Solteira. Nesse sentido, em relação ao parcelamento do solo, apresentado no Título V desta lei, além da necessidade de licença prévia expedida pela Prefeitura, o parcelamento só poderá ser feito mediante loteamento, desmembramento, desdobro de lote, reloteamento e remanejamento. Segundo o Art. 194:

Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos nas glebas localizadas em zona urbana conforme apresentadas no mapa 01/10 do Anexo III ou em contigüidade ao perímetro urbano consolidado, nas áreas da Zona Especial de Interesse Estratégico – ZEIE (Mapa 6/10 do Anexo III), quando declaradas de expansão urbana por Lei Municipal após parecer favorável do Conselho da Cidade. **Parágrafo Único** - Não será permitido o parcelamento do solo: **I** - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas às providências para assegurar o escoamento das águas; **II** - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados; **III** - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas as exigências específicas das autoridades competentes; **IV** - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação; **V** - em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção; **VI** - nas ZEPRAS – Zonas Especiais de Preservação e Recuperação Ambiental (ILHA SOLTEIRA, 2008a, p. 99).

Os mapas citados neste Artigo 194 estão apresentados nas Figuras 6 e 7. Na figura 6 se observa que o bairro rural do Córrego do Ipê está demarcado como área periurbana, sendo, no entanto, um bairro rural de chácaras. Na figura 7 se observa que na Zona Especial de Interesse Estratégico não foram considerados sobre o *buffer* as Áreas de Preservação Permanente e, o mesmo se repete em toda a extensão dos córregos que compõem a Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula. Neste “mapa” há áreas com demarcação de glebas, tanto em Zonas Especial de Interesse Social, quanto de Proteção e Recuperação Ambiental.

Figura 6. Divisão territorial de Ilha Solteira



Fonte: Ilha Solteira (2008b)

Figura 7. Zonas de Especial de Interesse



Fonte: Ilha Solteira (2008b)

Como observado nas Figuras 6 e 7, há uma contradição com o próprio Plano Diretor, pois no Artigo 210, obriga a reserva de faixa “*non aedificandi*” nos projetos de loteamentos e proíbe projetos de parcelamento do solo em terrenos sujeitos a inundação, mas não é o que está representado nestas “mapas” da Prefeitura. Além disso, ao se comparar a Figura 6 com a Figura 4, se observa que o bairro rural do Córrego do Ipê se insere na zona denominada periurbana e no perímetro urbano consolidado (não total), o que torna os materiais um pouco contraditório quanto à sua interpretação.

3.2.2.3 Plano Diretor de drenagem urbana de Ilha Solteira

A drenagem urbana¹⁴ é o processo pelo qual se remove as águas pluviais por meio de obras, muitas vezes, estruturais para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações. No Brasil, muitos projetos ainda são desenvolvidos sob a ótica de expulsar a água do local o mais rápido possível. Este princípio, todavia, transfere o problema de montante à jusante agravando ainda mais a situação, e fazendo com que as inundações ocorram mais rápidas, com maior frequência e maior magnitude (SANTIM, 2007).

Segundo Canholi (2005) e Tucci (2001), a ampliação dos problemas ocorre devido a uma avaliação apenas da situação local, sem contemplar toda a bacia e sem a compreensão integrada do ambiente urbano e das relações entre os sistemas que o compõe (SANTIM, 2007). A falta desta análise, segundo Tucci (2000) é pela inexistência de suporte técnico especializado neste assunto por parte da administração da drenagem urbana, que é feita, na maioria das vezes, pelos municípios. Isto leva à implantação de soluções pontuais com pequena vida útil e, portanto mais onerosas a longo prazo (SANTIM, 2007).

Nesse sentido, cabe apresentar o Plano diretor de drenagem urbana de Ilha Solteira, o qual está descrito no Título II, Capítulo 4, Seção III, Subseção V. Em seu **Art. 92** constituem os objetivos gerais para o Sistema de Saneamento Ambiental e Serviços Urbanos em relação à Drenagem Pluvial, que são:

I - assegurar através de sistemas físicos naturais e construídos, o escoamento das águas pluviais em toda a área do município de modo a propiciar segurança e conforto aos cidadãos priorizando as áreas sujeitas a inundações; II - garantir a segurança à margem de curso d'água e outras áreas de fundo de vale, onde haja risco de inundações de edificações; III - administrar os cursos d'água cujas bacias de contribuição se localizam integralmente no Município; IV - articular

¹⁴ Cabe destacar o conceito de hidrologia urbana, erroneamente confundido por drenagem urbana. Na hidrologia urbana, estudam-se os processos hidrológicos em ambientes afetados pela urbanização (LAZARO, 1990 apud SANTIM, 2007).

com os Municípios vizinhos a realização de ações de interesse comum visando a conservação das bacias de contribuição e os sistemas de drenagem; **V** - implantar gestão integrada da infra-estrutura de drenagem urbana; **VI** - criar mecanismos e parâmetros técnicos de macrodrenagem que garantam o equilíbrio do ciclo hidrológico nas bacias de contribuição do município, em especial no núcleo urbano, visando evitar pontos de alagamento; **VII** – implementar medidas estruturais e não estruturais para a gestão de drenagem (ILHA SOLTEIRA, 2008a, p. 48, grifo nosso).

O Artigo 93 assegura através de sistemas físicos naturais e construídos, o escoamento das águas pluviais em toda a área do município de modo a propiciar segurança e conforto aos cidadãos priorizando as áreas sujeitas a inundações e, garante a segurança à margem de curso d'água e outras áreas de fundo de vale, onde haja risco de inundações de edificações. Já no Artigo 94 diz que serão administrados pelo Poder Executivo, os cursos d'água cujas bacias de contribuição se localizam integralmente no município e, o mesmo promoverá articulações com os municípios vizinhos para a realização de ações de interesse comum.

A respeito das diretrizes do Sistema Municipal de Drenagem Urbana, tem-se que no Artigo 95:

I - as obras civis de canalização serão realizadas diretamente pela Divisão de Obras e Serviços Públicos ou através da contratação de terceiros; **II** - os serviços de Limpeza do sistema serão realizados pela Divisão de Obras e Serviços Públicos da Prefeitura de Ilha Solteira, ou através de concessão; **III** - a manutenção do sistema de drenagem inclui a limpeza e desobstrução dos cursos d'água, várzeas, canais e galerias, e as obras civis de recuperação dos elementos de canalização construída bem como desassoreamento das lagoas de contenção existente; **IV** - as edificações, ocupações irregulares e obstáculos situados nas áreas sujeitas a inundação dos corpos d'água, canais e nas faixas de proteção, serão removidas para permitir o livre escoamento e vazão das águas e respectiva manutenção dos cursos d'água; **V** - são essenciais, além das calhas ou leitos principais dos canais, as respectivas faixas de proteção sanitárias para drenagem da águas pluviais; **VI** - promover campanhas públicas educativas para o uso, manutenção e limpeza do sistema de drenagem, curso d'água, canais e galerias, bem como a preservação das faixas sanitárias, várzeas e fundos de vale; **VII** - definir procedimentos administrativos e de treinamento de pessoal para a prevenção de enchentes, inundações urbanas, erosões do solo, deposição de entulhos de construção civil e lixo domiciliar em áreas não licenciadas, queimadas e desmatamentos; **VIII** – elaborar e manter atualizada a base cadastral do sistema de drenagem urbana; **IX** - realizar projetos e obras do sistema de drenagem do município, redes de galerias, lagoas de contenção, sistemas de captação e intervenções em áreas sujeitas a impactos de inundação; **X** - implantar e regulamentar os sistemas de retenção de água pluvial em lotes e glebas de áreas privadas, comerciais e industriais, áreas públicas e institucionais, e empreendimentos

urbanísticos de parcelamento do solo, com a implementação de reservatórios de retenção de água pluvial regulamentado por normas técnicas e leis específicas, bem como a aplicação de parâmetros urbanísticos de zoneamento, uso e parcelamento do solo, como o índice de permeabilidade e o índice de cobertura vegetal, como procedimentos normativos para reduzir a sobrecarga temporária do sistema público de drenagem urbana e a implantação de programas de reúso da água para determinadas atividades; **XI** - nos projetos de drenagem e intervenções urbanísticas, incentivar e regulamentar a adoção de pisos drenantes e ecológicos, particularmente nas vias locais, de acesso, de pedestres, parques lineares e espaços livres públicos; **XII** - elaborar e executar o Plano Diretor de Drenagem Urbana, em consonância com um Plano de Gestão e Saneamento Ambiental, articulado com o a Diretoria de Habitação Saneamento e Urbanismo; **XIII** - elaborar estudo dos pontos de alagamento no perímetro urbano, visando corrigir as prováveis causas, prevenindo assim contra danos maiores no futuro (ILHA SOLTEIRA, 2008a, p. 48, grifo nosso).

Assim, em função das características do meio físico de Ilha Solteira e em destaque a Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula, critérios de ocupação urbana que levem em consideração as condições naturais deveriam ser previstos no Plano Diretor do Municipal e na Lei de Uso e Ocupação do Solo, a fim de reduzir a ocorrência desses eventos.

3.2.3 Análise de riscos aplicada a enchentes, alagamentos e inundações

Os fenômenos de enchentes e inundações relacionam-se a um conjunto de fatores naturais e artificiais. As condições naturais são aquelas cuja ocorrência é propiciada pela bacia em seu estado natural. As condições artificiais são aquelas provocadas pela ação humana (TUCCI, 2009).

Dentre os fatores naturais, considera-se o tipo, intensidade, distribuição e frequência de precipitação, o comportamento fluvial, a capacidade de drenagem, a cobertura vegetal, a morfometria e o relevo. Dentre os fatores artificiais ou antrópicos, considera-se quando ocorre a modificação do rio, como retificação e canalização (SIMÕES et al., 2012), bem como obras hidráulicas, urbanização, desmatamento (TUCCI, 2009), uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água, disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos d'água, impermeabilização, características do solo e o teor de umidade (REIS, 2011).

Segundo o Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG (2012) as formas do relevo podem influenciar substancialmente o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, uma vez que o relevo de uma bacia tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e

hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial, e conseqüentemente o tempo de concentração, são determinados pela declividade do terreno, fato que pode potencializar a ocorrência de enchentes.

Dessa forma, quando o relevo é acidentado, as áreas mais propícias à ocupação são as planas e mais baixas, justamente aquelas que apresentam alto risco de inundação. Em relação às precipitações, as mais intensas atingem áreas localizadas e são em geral dos tipos convectivo e orográfico. Já as precipitações frontais atuam sobre grandes áreas provocando as maiores inundações nos grandes rios. Quanto à cobertura vegetal, esta atua na interceptação de parte da precipitação que pode gerar escoamento e na proteção do solo contra erosão. A perda desta cobertura tem produzido como consequência o aumento da frequência de inundações devido à falta de interceptação da precipitação e do assoreamento dos rios (TUCCI, 2009).

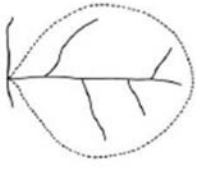

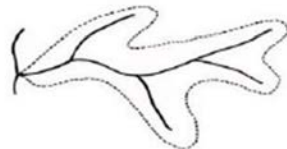
Nesse sentido, diversos autores apontam a análise morfométrica como uma ferramenta estratégica no estudo e caracterização de um sistema fluvial, onde se incluem os eventos de inundações e enchentes (IFMG, 2012). As características morfométricas podem ser geométricas (área da drenagem, perímetro, coeficiente de compacidade, fator forma, índice de circularidade e padrão de drenagem), de relevo (orientação, altitude mínima, média e máxima e declividade mínima, média e máxima e declividade média do curso d'água principal) e da rede de drenagem (comprimento do curso d'água principal, comprimento total dos cursos d'água, ordem dos cursos d'água e densidade da drenagem) (TONELLO et al., 2006; MOREIRA et al., 2011).

A área da drenagem (A) e o perímetro da bacia (P) são elementos básicos para o cálculo das outras características físicas (REIS, 2011) e correspondem, respectivamente, à projeção horizontal delimitada pelos divisores topográficos da bacia, expressa em km², e ao comprimento periférico à bacia, expresso em km (BASTOS, 2009).

O coeficiente de compacidade (Kc) também denominado de índice de Gravelius, é determinada pela relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Isso representa que quanto mais irregular for a bacia tanto maior será o coeficiente de compacidade e um coeficiente mínimo, igual à unidade (Kc=1), corresponde à bacias circulares que determinam, caso os outros fatores sejam iguais, ser mais acentuada a disposição da bacia para enchentes (BASTOS, 2009).

O fator forma (Kf) da bacia irá influenciar no tempo de concentração das águas, ou seja, o tempo necessário, a partir do início da precipitação, para que a água saia dos limites da bacia e chegue em seu exutório. Bacias alongadas, com índices inferiores a 0,51, favorecem o escoamento, tendo, portanto, baixa susceptibilidade à formação de inundações. Do contrário, bacias circulares, com índices superiores a 0,51, favorecem a formação de inundações (SIMÕES et al., 2012). A forma de uma bacia pode ser circular, elíptica, radial ou ramificada (Figura 8).

Figura 8. As formas da bacia: circular, elíptica e ramificada

Formas	Circular	Elíptica	Ramificada
Ilustrações			

Fonte: Reis (2011).

O índice de circularidade (I_c) é determinado pela divisão da área da bacia e a área de um círculo de igual perímetro. Quanto mais se aproxima da unidade ($I_c = 1,0$) a bacia tende à forma circular. Índices como o coeficiente de compacidade, o fator forma e o índice de circularidade determinam grandezas diretamente relacionadas com a forma da bacia, influenciando, diretamente, o tempo de concentração (BASTOS, 2009).

Os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Assim têm-se os tipos fundamentais dos padrões de drenagem: dentrítico, em treliça, paralela, radial e anelar (REIS, 2011).

As direções dos cursos d'água de uma rede definem a orientação de drenagem da bacia. Um padrão de drenagem pode apresentar uma ou mais direções, ou não apresentar nenhuma. Assim, a orientação da bacia define a direção geral para qual a declividade está exposta e dessa forma está correlacionada com os ventos prevalecentes, o padrão de deslocamento de tempestades e a exposição aos raios solares (MOREIRA et al., 2011).

A altitude influencia a quantidade de radiação que a bacia recebe e, conseqüentemente, influencia a evapotranspiração, temperatura e precipitação. Quanto maior a altitude da bacia, menor a quantidade de energia solar que o ambiente recebe e, portanto, menos energia estará

disponível para esse fenômeno. Além do balanço de energia, a temperatura também varia em função da altitude: grandes variações na altitude ocasionam diferenças na temperatura, que, por sua vez, causam variações na evapotranspiração (TONELLO et al., 2006).

A declividade controla a velocidade do escoamento superficial de um terreno, de modo a influenciar no tempo que levará a água de chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem as redes de drenagem das bacias. A declividade, ou inclinação, refere-se à relação entre a amplitude e o comprimento de rampa, que pode ser expressa em grau ou porcentagem. A determinação da declividade ou gradiente topográfico pode ser feita diretamente no campo, por meio de levantamentos topográficos, ou, indiretamente, por meio de cartas topográficas (REIS, 2011).

O comprimento do curso d'água principal (C_p), ou comprimento axial, é medido seguindo o curso d'água mais longo desde a cabeceira mais distante da bacia até a desembocadura (MOREIRA et al., 2011), isto é, da foz ao ponto mais longínquo do espigão. O comprimento total dos cursos d'água compreende o comprimento total dos cursos d'água secundários, sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes.

Como critérios de ordenamento dos canais da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, destacam-se os de *Horton* e de *Strahler*. A partir desses critérios, os rios são classificados como de primeira ordem, segunda ordem, terceira ordem, quarta ordem e assim sucessivamente. A densidade de drenagem (D_d) é uma boa indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem: correlaciona o comprimento total (L) dos canais de escoamento com a área (A) da bacia hidrográfica (REIS, 2011). Quanto maior a densidade da drenagem mais rápido é o escoamento superficial e, por sua vez, mais propenso à inundações.

Assim, a partir da análise morfométrica de uma bacia pode-se observar como os fatores naturais criam condições aos fenômenos de enchentes, alagamentos e inundações. Paralelamente a estas variáveis físicas, há os fatores antrópicos que podem potencializar a ocorrência de tais fenômenos, levando a prejuízos de ordem material, social e ambiental.

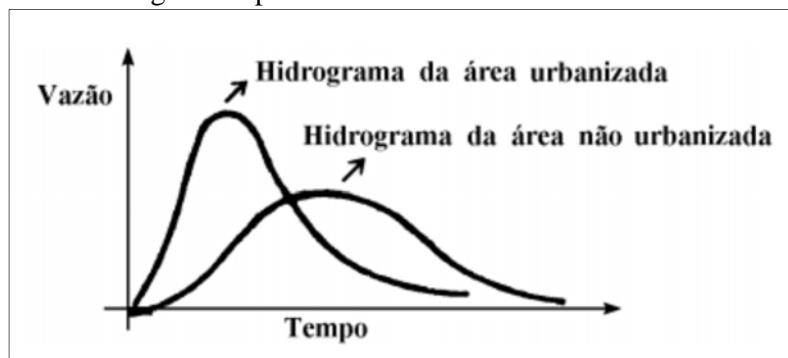
Por isso, enquanto uma bacia rural possui maior interceptação vegetal, maiores áreas permeáveis, menor escoamento na superfície do solo e drenagem mais lenta, uma bacia urbana possui superfícies impermeáveis, tais como telhados e ruas, e produz aceleração no escoamento, através da canalização e da drenagem superficial. Dessa forma, os resultados da

urbanização sobre o escoamento são o aumento da vazão máxima e do escoamento superficial, redução do tempo de pico e do tempo de base (TUCCI, 2009).

Sendo assim, a parcela da água que antes se infiltrava diretamente no solo, passa a escoar superficialmente. Da mesma forma, o volume que antes escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido nas plantas, com a urbanização, passou a escoar no canal, ordenando uma maior capacidade de escoamento das seções das tubulações (TUCCI, 1995).

Para elucidar esse contraste, a Figura 9 demonstra as diferenças entre os hidrogramas de uma bacia natural e do período referente à posterior urbanização, onde observam-se o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial.

Figura 9. Hidrograma hipotético de uma área urbanizada e não urbanizada



Fonte: Tucci (1995)

Do mesmo modo, outras causas podem ocasionar efeitos que induzem as inundações urbanas. Estas estão sintetizadas no Quadro 1.

Quadro 1. Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização	Maiores picos e vazão
Redes de drenagem	Maiores picos a jusante
Lixo	Degradação da qualidade da água Entupimento de bueiros e galerias
Redes de esgoto deficientes	Degradação da qualidade da água Moléstias de veiculação hídrica Inundações
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes Erosão Assoreamento em canais e galerias
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos Maiores picos Maiores custos de utilidades públicas

Fonte: Porto et al. (2009).

Nesse sentido, o planejamento dos fenômenos de enchentes, alagamentos e inundações podem ser observados de diferentes maneiras na literatura. Jonkman et al. (2008) desenvolveram um modelo hidrodinâmico-econômico combinando informações sobre o uso da terra, dados econômicos e dados sobre as características de inundação para estimar os danos causados pelas inundações no sul da Holanda. Os danos calculados pelos autores puderam chegar a 24 bilhões de euros e mais de 700.000 pessoas afetadas.

Righi e Robaina (2012) realizaram um zoneamento de risco à inundação no município de São Borja – RS embasado em dados históricos de inundação, imagens de satélite, imagens SRTM e dados fluviométricos. As áreas suscetíveis verificadas corresponderam a 11% da área urbana e o mapa de risco de inundação foi elaborado caracterizando três níveis - baixo, médio e alto. Andrade, Danna e Silva (2012) também realizaram o mapeamento de riscos de inundações e processos relacionados (enchentes, alagamentos, enxurradas e solapamento de margens) no município de Aparecida - SP com uso de produtos de sensoriamento e geotecnologias visando identificar a probabilidade de ocorrência dos eventos, seu nível estimado de atingimento e sua distribuição espacial ao longo do município.

Barreto (2008) realizou análise dos impactos das chuvas de verão no Distrito Federal, durante os meses de fevereiro de 2004 e março de 2005, visando verificar o comportamento das chuvas durante estes períodos e identificar as áreas susceptíveis em função das chuvas concentradas. Para tal, foram espacializados e analisados dados pluviométricos, de infraestrutura e ocupação urbana, bem como registros de ocorrências de alagamentos e inundações dos períodos estudados. Os resultados apontaram a localização das áreas susceptíveis aos eventos extremos de chuva, levando-se em consideração condicionantes físicos e sociais. Desta maneira, o Distrito Federal apresentou áreas mais susceptíveis a inundações nas regiões administrativas que apresentam menor infraestrutura, relevo mais acidentado e ocupações de moradia irregulares.

3.2.4 A cartografia do meio físico como ferramenta para o planejamento

De acordo com Zuquette e Gandolfi (2004) praticamente toda a extensão brasileira está suscetível a algum tipo de evento perigoso relacionado ao meio físico, os quais, cada vez mais, exigirão grandes investimentos para recuperação da área quando atingida.

Assim, a partir da década de 1980 iniciou-se no Brasil a tomada de medidas para a prevenção de acidentes naturais em função dos eventos de deslizamento em centros urbanos.

Tais medidas compreenderam no avanço da cartografia do meio físico, pois até essa época o material cartográfico existente era baseado na experiência dos profissionais responsáveis pelo mapeamento (BATISTA, 2014).

Nesse sentido, o mapeamento do meio físico tem sido aplicado como uma ferramenta de suporte para o planejamento urbano e regional, uma vez que respeita os recursos naturais, as limitações e as condições favoráveis que induzem as situações de ocupação (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004). Aliado aos materiais cartográficos, a geoinformação trouxe ferramentas como os dados espaciais, inicialmente em duas dimensões e impressas em papel e, mais recentemente, em forma digital em três e quatro dimensões, além de bancos de dados (agora digital) cada vez mais combinados com modelos espaciais (CULSHAW; PRICE, 2011) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Os SIGs são um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real para um objetivo específico, onde há pelo menos três maneiras de serem utilizados: como ferramenta para produção de mapas, e ainda para geração e visualização de dados espaciais; como suporte para análise espacial de fenômenos e para a combinação de informações espaciais, e; como bancos de dados geográficos, que tem funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais (BURROUGH; McDONNELL, 2004). Além disso, os SIGs podem ser usados em todas as áreas que possam ter suas informações mapeadas, sejam elas relativas ao espaço físico ou as relações sociais, econômicas e humanas (PIROLI, 2010a).

Com o apoio destas ferramentas, trabalhos de previsão seriam capazes de evitar perdas econômicas e sociais, havendo ainda a possibilidade da adoção de medidas preventivas no planejamento do processo de ocupação (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004). Tucci (2009) ainda propõe o zoneamento como ferramenta para o planejamento de áreas sujeitas à inundação. Para ele, é necessário determinar os riscos de enchentes, mapear as áreas de inundação e proceder aos zoneamentos das áreas de risco.

Deste modo, a partir do material elaborado pelo mapeamento do meio físico, órgãos públicos poderão utiliza-los para fiscalização da ocupação do espaço planejado. Além disso, permitirá a avaliação da predisposição de uma área a processos naturais como erosão, inundação, movimentos de massa gravitacionais e subsidências (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

3.3 MUDANÇAS NO USO DA TERRA E SEUS EFEITOS NA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

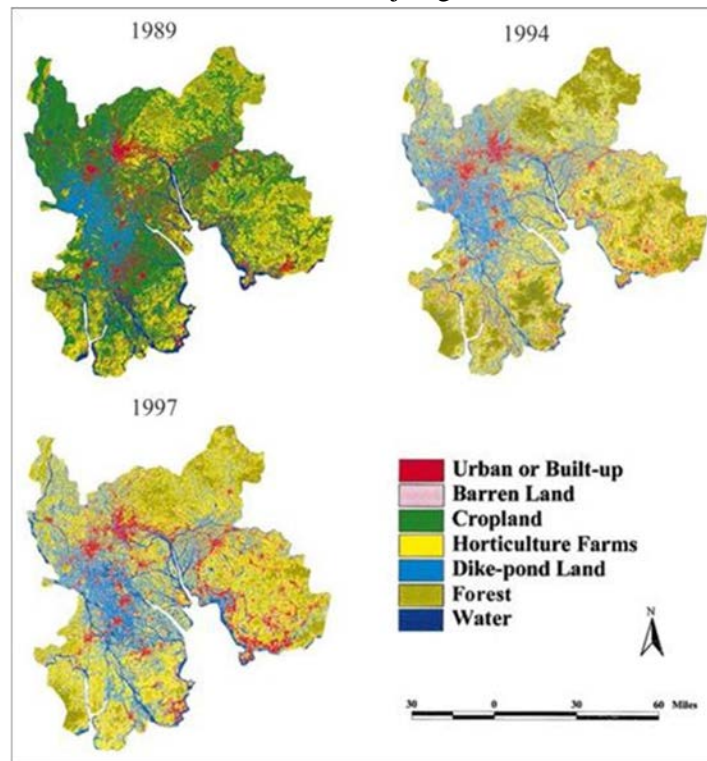
As mudanças no uso da terra decorrentes principalmente da expansão urbana geram impactos negativos sobre o meio ambiente. Dentre estes impactos, podemos citar como exemplos de degradação ambiental: desmatamento, processos erosivos, compactação, deslizamentos de terra, enchentes, alagamentos e inundações, além da perda da biodiversidade (fauna e flora) e da qualidade dos corpos d'água.

Na maioria dos casos, estes impactos ocorrem devido à retirada da cobertura vegetal, da impermeabilização dos córregos e áreas de várzea, e de ocupações em áreas que deveriam ser preservadas pelo seu caráter geológico, geomorfológico, pedológico e de drenagem. Deste modo, em locais onde o planejamento urbano foi negligenciado estes impactos no meio físico podem causar desastres significativos.

Por isso a detecção destes fenômenos é importante para o planejamento urbano e ambiental. Nesse contexto, cabe ressaltar alguns trabalhos práticos envolvendo tal assunto.

A partir dos mapas de mudança de uso e cobertura da terra no Delta Zhujiang, sul da China, entre os anos de 1989 e 1997, Weng (2002) verificou o fenômeno de rápida expansão urbana atribuída à urbanização rural, comum após a reforma na China (Figura 10).

Figura 10. Uso e cobertura da terra no Delta Zhujiang, sul da China, entre 1989 e 1997



Fonte: Adaptado de Weng (2002).

De forma semelhante, ao avaliar a mudança de uso da terra e a expansão urbana de Greater Dhaka, capital do Bangladesh, Dewan e Yamaguchi (2009) utilizaram imagens de satélite e dados socioeconômicos. A análise feita no período de 1975 e 2003 verificou a diminuição significativa nas áreas de corpos d'água, terras agrícolas, vegetação e áreas úmidas.

Por outro lado, os autores verificaram que as áreas construídas aumentaram significativamente no período de 1992 a 2003. A rápida expansão urbana foi impulsionada pelo crescimento da população e pelo desenvolvimento econômico. Entre a década de 1996-2006 a população de Dhaka dobrou de 1,5 milhões para 3,4 milhões de habitantes, o que resultou em impactos ambientais como a perda da biodiversidade e da qualidade do habitat, além do estabelecimento de aterros sanitários, que intensificaram a ocorrência de inundações durante a estação chuvosa (DEWAN; YAMAGUCHI, 2009).

Daca, segundo Dewan e Yamaguchi (2009) está prevista para ser a terceira cidade maior do mundo em 2020 e o rápido crescimento urbano experimentado pela cidade nas últimas décadas, é um dos mais altos do mundo.

Em contrapartida, ao analisar a expansão urbana em Xangai, através das mudanças no uso da terra ao longo do período de 1974 a 1996, Ren et al. (2003) relacionaram a qualidade da água do Rio Huangpu ao processo de urbanização, impulsionado pela Reforma Econômica da China. A análise revelou que a rápida urbanização corresponde à rápida degradação da qualidade da água: há uma forte correlação positiva entre o uso da terra urbano (por exemplo, residencial e industrial) e a qualidade da água ao longo do Rio Huangpu e, uma forte correlação negativa entre o uso da terra agrícola e a qualidade da hídrica.

Paralelamente, segundo Ahearn et al. (2005) na Califórnia poucos estudos analisam a qualidade da água em bacias hidrográficas comparando em anos seco e úmido, devido ao fator climático, típico do mediterrânico. Por isso, os autores propuseram analisar a influencia dos impactos do uso da terra à presença de sedimentos e nitrato na bacia hidrográfica do Rio Cosumnes, localizado a sudeste de Sacramento, na Serra Nevada, estado da Califórnia – EUA, onde concluíram que a densidade populacional não tem uma forte influência no fluxo de nitrato e sedimentos até o a construção da estação de tratamento de águas residuais dentro da bacia, onde passaram a receber efluentes.

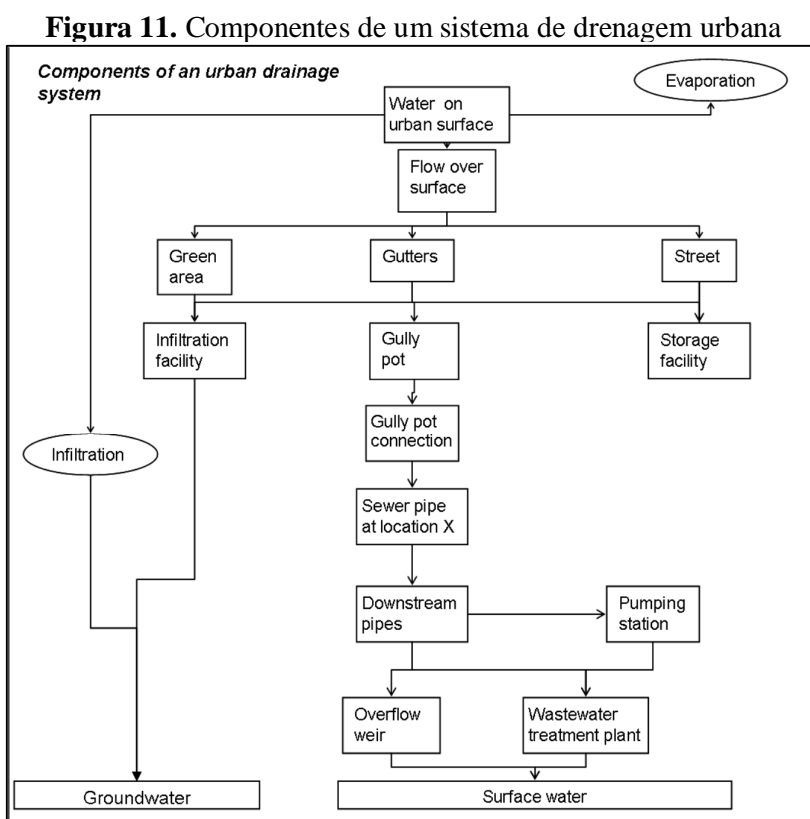
Chang (2008) analisou oito parâmetros (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sedimentos em suspensão, fósforo total e nitrogênio total) de qualidade de água na bacia do Rio Han, maior bacia hidrográfica da Coreia do Sul, com o objetivo de identificar as tendências espaciais e temporais que refletem na qualidade da água, de modo a comparar os fatores antropogênicos, como a cobertura da terra e naturais, como a topografia e os solos.

Neste estudo, Chang (2008) teve como principal conclusão o fato da degradação da qualidade da água Rio Han durante o período do estudo (1990-2000) coincidir com importante desenvolvimento urbano nas imediações da cidade de Seoul, em virtude da remoção de áreas agrícolas e naturais. Do mesmo modo, o autor verificou que determinadas áreas da bacia hidrográfica não possuem tratamento de resíduos urbanos e agrícolas, e a descarga ocorre diretamente nos corpos hídricos. Além disso, não há políticas ambientais, propiciando erosões nas margens.

De forma prática, Ten Veldhuis (2010) explorou dados históricos sobre incidentes de inundação em áreas urbanas a partir da análise da árvore de falhas (*fault tree analysis*) nas cidades de Haarlem e Breda, na Holanda com o objetivo de avaliar quantitativamente o risco de inundação urbana. Para construção do modelo, foram considerados todos os possíveis mecanismos de falha que pode ocasionar enchentes urbanas de uma forma sistemática - desde

o aumento da urbanização em áreas inadequadas até a variável climática que, podem ocasionar falhas de outros sistemas urbanos quando combinados.

Ten Veldhuis (2010) considerou em seu sistema de drenagem urbana componentes que podem causar cenários diferentes. Por exemplo, a água presente na superfície pode evaporar, infiltrar ou escoar. Nesse caso, pode-se ter um cenário com áreas verdes, com calhas ou mesmo a própria rua (vias públicas). Tais situações como apresentado na Figura 11, vão permitir que, em cada caso, a água possua um caminho para seguir. Assim, neste método de análise de árvore de falhas foi possível analisar os destinos dessa parcela d'água, que pode permanecer em superfície ou não.



Fonte: Ten Veldhuis (2010)

A partir do método adotado, Ten Veldhuis considerou os componentes de um sistema de drenagem urbana como atributos condicionantes para análise de risco de enchentes urbanas. Paralelamente podemos entender que seus atributos estão relacionados às dinâmicas que existem entre eles. Para a escala utilizada as variáveis foram pertinentes, porém para uma escala mais local, uma microbacia ou bairro, por exemplo, outros componentes seriam necessários: variáveis físicas (geológicas, hídricas e climáticas) e condicionantes socioeconômicas e culturais, como uso e ocupação da terra.

Santos (2014) considerou as características do meio físico como melhor método para evitar a degradação ambiental em bacias hidrográficas. Por isso, ao caracterizar o meio físico, utilizou-se de metodologias de cartografia apoiada em técnicas de tratamento digital de dados.

Ao realizar a caracterização preliminar do meio físico a partir de dados do Projeto Topodata, Vivanco (2013) classificou as feições do relevo, quanto à declividade, a orientação das vertentes, as curvaturas (vertical e horizontal), especificando as formas do relevo da área de estudo de forma técnica e detalhada. Comparou seus resultados com trabalhos anteriores de zoneamento do meio físico da área em estudo, feitos por Lollo (1998).

A partir de trabalhos anteriores, Santos (2014) considerou a litologia, a espessura, a textura e a gênese, a permeabilidade, a densidade de drenagem e as unidades de terreno. Além disso, foram obtidos os atributos geomorfológicos (dados oriundos do Projeto Topodata) como a declividade e a altimetria e atributos hidrológicos (dados obtidos do ArcHydro), como a direção de fluxo, o fluxo acumulado, a extração da drenagem e a delimitação da bacia hidrográfica.

É desta forma que em sua caracterização do meio físico, Santos (2014) utiliza como metodologia para bacias hidrográficas, os atributos hidrológicos e geomorfológicos, como sendo fundamentais. No entanto, tanto Santos (2014) como Vivanco (2013) em suas áreas de estudo, caracterizam a geologia (unidades geológicas), a pedologia (tipos de solos), o relevo (relevo de ocorrência na área de estudo e perfil de solo), o clima (classificação), a vegetação (tipo), a hidrografia (caracterização da ocorrência dos rios), bem como os componentes socioeconômicos.

Nestes dois trabalhos, desenvolvidos por Vivanco em 2013 e Santos em 2014, nota-se a preocupação de utilizar as características do meio físico, fato este não considerado por Ten Veldhuis em 2010. Também utilizaram dados oriundos de trabalhos anteriores, o que reforça a pertinência para o estudo do meio físico. Além disso, Santos (2014) apresenta a importância de técnicas e metodologias cartográficas, o que permite melhor caracterização do meio físico, de acordo com o autor.

Dessa forma, intervir em processos geodinâmicos superficiais requer entendimento dos atributos do meio natural que condicionam os processos, sua inter-relação e suas relações com as atividades humanas na área de forma a permitir o correto entendimento da dinâmica do escoamento.

Para testar tal abordagem, o projeto será desenvolvido na área da Microbacia do Córrego Caçula em Ilha Solteira a qual teve ocorrências de enchentes e alagamentos na área urbana intensificado nos últimos anos em função de características o projeto de drenagem urbana de Ilha Solteira (com aumento da área de contribuição no ramo do sistema que é conduzido para a bacia) e com a intensificação da ocupação.

Intervenções realizadas pelo poder público na Microbacia não foram efetivas em solucionar o problema exatamente, porque não consideraram de forma adequada os condicionantes naturais e as atividades humanas na área. Deste modo, Santim (2010) defende que o efetivo conhecimento da dinâmica da Microbacia permite promover a integração das informações de forma a subsidiar ações de planos diretores, orientando as decisões tomadas pelos planejadores urbanos.

Além disso, processos erosivos decorrentes de ocupações inadequadas e o avanço recente da agricultura de cana-de-açúcar na Microbacia têm gerado comprometimentos à qualidade da água dos mananciais superficiais. Vivanco, Lollo e Lorandi (2014) afirmam que no processo de expansão urbana de Ilha Solteira, o modo de ocupação da área tem favorecido o surgimento de processos erosivos que tendem a carrear materiais que podem comprometer a qualidade da água na Microbacia Córrego Caçula.

Nesse contexto, um processo de caracterização que conjugue os condicionantes naturais, as características do sistema de drenagem urbana na área, e as mudanças nos padrões de uso do solo na mesma, pode ser uma alternativa interessante para identificar causas e propor intervenções na Microbacia.

3.3.1 HAND para detecção de áreas suscetíveis a enchentes, alagamentos e inundações

O HAND (do inglês Height Above the Nearest Drainage ou distância vertical à drenagem mais próxima) é um algoritmo desenvolvido pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2013a). Segundo Rennó et al. (2008) essa variável descreve a distância vertical de cada ponto referente à drenagem mais próxima e pode ser detectada remotamente através da topografia proveniente de dados de SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*).

Os dados SRTM originais da USGS (*United States Geological Survey*) possuem resolução horizontal de 3 arco-segundos (~ 90m) e resolução vertical de 1m (RENNÓ et al., 2008). Recentemente foram lançados os dados SRTM de 30 metros, cuja resolução horizontal

é de 1 arco-segundo (~ 30m). Ambos têm projeção Lat/Long e Datum WGS84 e são disponibilizados gratuitamente (USGS, 2015a).

Deste modo, o HAND gera um DEM (*Digital Elevation Models*) produzido matematicamente a partir da superfície da terra que possibilita aplicar análises matemáticas para a descrição quantitativa e a compreensão das propriedades dos terrenos cuja representação é dada em 3D (NOBRE, 2012), pois permite relacionar a hidrologia e geomorfologia através da normalização de dados topográficos.

Isso possibilita a comparação dos terrenos bem como a capacidade de prever a presença de água no solo (RODRIGUES et al., 2011) uma vez que o modelo gera mapas de proximidades topográficas ou desníveis relativos a cursos d'água. Estes desníveis relativos são boa indicação da susceptibilidade à enchente de cada ponto na paisagem (NOBRE, 2012), que pode ser empregado para compor cenários cujas projeções possibilitaram o planejamento e ordenamento do território para áreas propensas a enchentes, alagamentos, desmoronamentos e desbarrancamentos, a partir de dados topográficos (RODRIGUES et al., 2011) uma vez que o modelo foi desenvolvido para delimitar áreas úmidas, podendo ser usado na delimitação de zonas de risco de enchentes e escorregamentos (NOBRE, 2012).

Dessa forma, o HAND permite, a partir de um modelo digital de elevação a definição de caminhos de fluxo; traçado de canais de drenagem, e potencial de infiltração; escoamento da água no solo; informações úteis para o entendimento da dinâmica da bacia. Além disso, este algoritmo normaliza a topografia de acordo com as alturas relativas locais encontradas ao longo da rede de drenagem, apresentando a topologia do terreno em relação aos locais de drenagem (NOBRE et al., 2011). Na aplicação, o nível de referência deixa de ser fixo em relação ao nível do mar e passa a ser relativo à rede de drenagem mais próxima, ou nível de base local (RODRIGUES et al., 2011).

Em outras palavras, o valor do atributo de altitude de um determinado ponto é definido pela posição que este se encontra em relação a o curso d'água para o qual ele deságua, iniciando a contagem a partir de zero (na drenagem) e aumentando na medida em que este se distância da drenagem, permitindo uma avaliação mais precisa da dinâmica da bacia.

A aplicação foi inicialmente desenvolvida no ENVI/IDL (*Interactive Data Language*) por Rennó et al. (2008) citado por Rodrigues et al. (2011) e posteriormente implementado no *software* livre TerraHidro, destinado à modelagem hidrológica distribuída, baseado na biblioteca geográfica TerraLib e na biblioteca de grafos Boost Graph Library – BGL, ambas

desenvolvidas na linguagem C++, sendo disponibilizado pelo INPE para *download* (<http://www.dpi.inpe.br/terraview>) em sua versão mais recente como suíte do TerraView - 4.2.2 (SANTOS; LINHARES, 2012; INPE, 2013b).

Ao verificar a influência da resolução espacial na modelagem, Rodrigues et al. (2011) compararam os mapeamentos HAND a partir de dados de 30 e 90 metros de resolução, e concluíram que em análises locais, o dado de 30 metros oferece maiores informações que os de 90 metros, porém, em escalas globais, os dados de 90 metros são mais aconselháveis.

Pires e Borma (2013) avaliaram a utilização do modelo HAND em ambiente de cerrado, para uma a Sub-Bacia do Ribeirão Taquaruçu com área de 104,7360 ha e uma Microbacia do Córrego Buritizal com área de 46.307,31 ha localizada no estado do Tocantins, Brasil e avaliaram que na escala regional, onde há uma grande variação de altitude, o HAND tende a gerar melhores resultados do que o SRTM, pois normaliza o dado de acordo com a distância vertical à rede de drenagem mais próxima, independente da altitude do terreno.

Mengue e Fontana (2013) utilizaram o modelo HAND para determinar áreas de aptidão para o plantio de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. A metodologia do mapeamento classificou as áreas de arroz às áreas inundação e, segundo os autores o modelo foi eficiente porque conseguiu separar o arroz irrigado de outros cultivos, além de ser destacada por eles a vantagem do modelo ser de baixo custo e de rápida execução.

3.3.2 LCM para modelagem das mudanças

O *Land Change Modeler* – LCM é um módulo inserido no SIG Idrisi. O Idrisi é um aplicativo criado na Universidade de Clark, Massachusetts, EUA, que tem como principal desenvolvedor, o Doutor J. Ronald Eastman. O nome Idrisi é uma homenagem ao cartógrafo e geógrafo Abu Abd Allah Muhammed al-Idrisi, que nasceu no ano de 1099 d.C. na colônia espanhola de Ceuta, ao norte da África (hoje Marrocos). A primeira versão do SIG Idrisi surgiu em 1987, em uma parceria com a Organização das Nações Unidas - ONU (PIROLI, 2010b). Este sistema vem sendo usado em cerca de 120 países em órgãos públicos, no planejamento local, como fonte de gerenciamento e em instituições educacionais (EASTMAN, 1998).

Pirolí (2010b) descreve o Idrisi como um Sistema de Informações Geográficas que conta com um banco de dados capaz de capturar (adquirir), armazenar, recuperar e manipular informações digitais, georreferenciadas, provenientes de imagens, mapas e modelos

numéricos do terreno e de efetuar análises geográficas e gerar a saída de dados na forma de mapas, gráficos e tabelas. Além disso, o Idrisi é líder na funcionalidade analítica *raster*, cobrindo todas as necessidades de SIG e de sensoriamento remoto, desde a consulta a banco de dados e modelagem espacial até realce e classificação de imagens (EASTMAN, 1998).

Apesar da natureza altamente sofisticada destas funções, este aplicativo é muito utilizado atualmente, tendo em vista sua relação custo-benefício, preço bastante acessível, fácil manipulação e interação com o usuário (PIROLI, 2010b; EASTMAN, 1998).

O módulo *Land Change Modeler* foi desenvolvido pela *Clark Labs* com o apoio do *Andes Center for Biodiversity Conservation* da ONG *Conservation International*, e tem a função de analisar as mudanças no uso da terra entre duas datas, avaliar as perdas, ganhos e persistências no uso do solo, as contribuições de cada tipo de uso do solo para conversão em outra classe, além de prever e modelar as variáveis relativas às transições do ambiente e habitat, como utilizados em projetos destinados a reduzir emissões por desmatamento e degradação florestal (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation - REDD*) (EASTMAN, 2012a, 2012b).

O LCM tem sido utilizado para análise de mudanças no uso da terra em microbacias hidrográficas. Piroli, Ishikawa e Demarchi (2011) e Piroli, Perusi, e Zanata (2012) verificaram os impactos causados pela mudança de cobertura do solo através dos mapas de ganho de cada categoria de uso, de perda e de persistência das classes de uso da terra entre os anos estudados.

Oñate-Valdivieso e Sendra (2010) utilizaram o LCM para elaboração de cenário de uso da terra para o ano de 2012, a partir de tendências históricas na Bacia do Catamayo – Chira, fronteira entre o Equador e o Peru. A projeção para o ano de 2012 pretendeu ser utilizada para estimar a localização de futuras mudanças na paisagem de modo a auxiliar as zonas de cultivo dentro da área de estudo, para evitar as variações sazonais – seca e destruição causada por inundações.

Dado o aumento do risco de inundações devidas a alterações locais nos sistemas hidrológicos e hidrometeorológicos, bem como o processo de expansão urbana, Huong e Pathirana (2013) elaboraram um conjunto de simulações para construção de cenários futuros, onde o crescimento urbano da cidade foi projetado para 2100, com base nos padrões de crescimento histórico, usando como parâmetro o uso da terra.

Como observado, os trabalhos utilizando o LCM, se preocuparam em analisar os impactos e avaliar os cenários para o uso e ocupação da terra a partir de dados históricos. No entanto, dada à necessidade de avaliação dos efeitos de mudança, na ocorrência de enchentes e alagamentos, o presente projeto pretende associar o módulo do LCM com as ocorrências de enchentes e alagamentos na previsão de cenários futuros de ocupação da Microbacia do Córrego Caçula, como estudado por Huong e Pathirana (2013).

Assim, a combinação das ferramentas do módulo LCM para previsão de cenários associadas a uma sistemática para previsão de fenômenos de enchentes e alagamentos poderá ser utilizada em outras microbacias urbanas, as quais poderão ser implantadas em órgãos interessados no planejamento e gestão ambiental das bacias hidrográficas.

3.3.3 Medidas de intervenção para redução ou solução do problema

As medidas mitigadoras são baseadas na previsão de eventos adversos sobre o meio ambiente, tendo por objetivo a eliminação ou atenuação de tais eventos. Dentre estas medidas, tem-se a de caráter preventivo e corretivo. A primeira consiste em uma medida que tem como objetivo minimizar ou eliminar eventos adversos que se apresentam com potencial para causar prejuízos aos itens ambientais destacados nos meios físico, biótico e socioeconômico. Este tipo de medida procura anteceder a ocorrência do impacto negativo. A segunda consiste em uma medida que visa mitigar os efeitos de um impacto negativo identificado, quer seja pelo restabelecimento da situação anterior à ocorrência de um evento adverso sobre o item ambiental destacado nos meios físico, biótico e socioeconômico, quer seja pelo estabelecimento de nova situação de equilíbrio harmônico entre os diversos parâmetros do item ambiental através de ações de controle para neutralização do fator gerador do impacto (CEPEMAR, 2010).

Nesse sentido, as medidas de prevenção e correção são classificadas, de acordo com sua natureza, em medidas estruturais e não-estruturais (CANHOLI, 2005).

As medidas estruturais são aquelas onde se aplicam soluções da engenharia, executando-se obras de estabilização de encostas, sistemas de micro e macro drenagem, obras de infra-estrutura urbana e relocação de moradias, por exemplo. Em relação especificamente às enchentes e inundações, as ações estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial, evitando prejuízos decorrentes das enchentes e inundações, onde se aplicam soluções de engenharia construindo reservatórios, diques, bacias de contenção e canalizações, além de

modificações na morfologia dos rios (retificação da calha do rio). No entanto, essas ações são normalmente muito custosas (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

As medidas estruturais ainda são caracterizadas como intensivas e extensivas (CANHOLI, 2005). As medidas intensivas são aquelas que agem no rio e na dinâmica fluvial, podendo acelerar o escoamento, aumentando a capacidade de descarga dos rios por meio do corte de meandros e retificação dos canais; retardando o escoamento por meio de reservatórios e bacias de contenção (piscinões); e desviando o escoamento por meio de obras como canais de desvio (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007), além da introdução de ações individuais visando tornar as edificações à prova de enchentes (CANHOLI, 2005).

As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão em áreas muito urbanizadas, como a recomposição da cobertura vegetal, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

Em contraposição às medidas estruturais, que podem criar uma sensação de falsa segurança e até induzir à ampliação da ocupação das áreas inundáveis, há as medidas não-estruturais que são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes (TUCCI, 2009). Estas medidas estão relacionadas às políticas urbanas, ao planejamento urbano, a legislação, aos planos de defesa civil e a educação. São consideradas tecnologias brandas e, normalmente, têm custo muito mais baixo que as medidas estruturais, além de apresentar bons resultados, principalmente na prevenção dos desastres. Tratam-se, portanto, de medidas sem a intervenção de obras de engenharia (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

Segundo Canholi (2005) as medidas não-estruturais podem ser agrupadas em: ações de regulamentação do uso e ocupação do solo; sistemas de alerta e previsão de enchentes; seguro-enchente e educação ambiental.

No campo da legislação, conforme o Jacareí (2012), o estatuto da cidade pode regulamentar o uso e ocupação do solo (estabelecendo critérios de ocupação e utilização do solo, orientar o crescimento da cidade visando à minimização dos impactos sobre áreas ambientalmente frágeis, prever e controlar densidades demográficas e de ocupação de solo e permitir a multiplicidade de usos do solo) e o zoneamento de áreas de risco de inundação e áreas de restrições ambientais (aplicando restrições a ocupação dessas áreas, de modo a considerar a elaboração do mapa de risco, a preservação de áreas com restrições ambientais, a

recuperação da vegetação e contenção de processos erosivos, a remoção de ocupações irregulares, o aumento da permeabilidade e a contenção de assoreamento).

Nesse sentido, há os sistemas preventivos de alerta e planos de ação em situações de emergência. Enquanto que os sistemas de alerta baseiam-se no monitoramento das chuvas, nas previsões de meteorologia e nos trabalhos de campo (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007), os planos de ação em situações de emergência visam articular os sistemas e estruturas institucionais de alerta de enchentes e de defesa civil, estruturando um conjunto de medidas de prevenção de acidentes, possibilitando a convivência, de forma menos vulnerável, com situações de anormalidade associadas aos processos de natureza hidrológica. Dessa forma, contemplam em geral, mapa de riscos de inundação; monitoramento, previsão e alerta; sistema de informações e sinalizações. Assim, estes planos, de divulgação intensa e permanente, devem conter informações objetivas sobre os mapeamentos das áreas de riscos; procedimentos e cautelas a serem adotadas na ocorrência de chuvas intensas; rotas alternativas para o acesso a abrigos e locais de maior segurança, os quais devem previamente identificados e estruturados para estas finalidades (JACAREÍ, 2012).

Em seguida, Carvalho, Macedo e Ogura (2007) propõem a difusão para a população por meio de palestras, folhetos, cursos, oficinas, manuais, livros, cartilhas e a realização de simulados (ensaios) de evacuação de áreas, além dos meios massivos de informação como rádio, televisão e imprensa escrita. O conteúdo desses instrumentos deve abranger a identificação dos perigos, vulnerabilidades, medidas de prevenção e mitigação, legislação e sistemas de alerta.

Assim, a educação ambiental como meio de conscientização da sociedade, pesquisas, cursos de treinamento e capacitação, devem ser incentivadas para que promovam o desenvolvimento de políticas municipais adequadas às realidades locais. Como afirma Jacareí (2012), para que desenvolva a gestão integrada é necessário a atuação nos diferentes níveis de decisão: estadual, envolvendo as entidades que atuam em recursos hídricos e no meio ambiente; bacia hidrográfica, envolvendo o comitê de bacia; e municipal, onde as decisões envolvem a jurisdição de um município e suas ações locais e setoriais.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

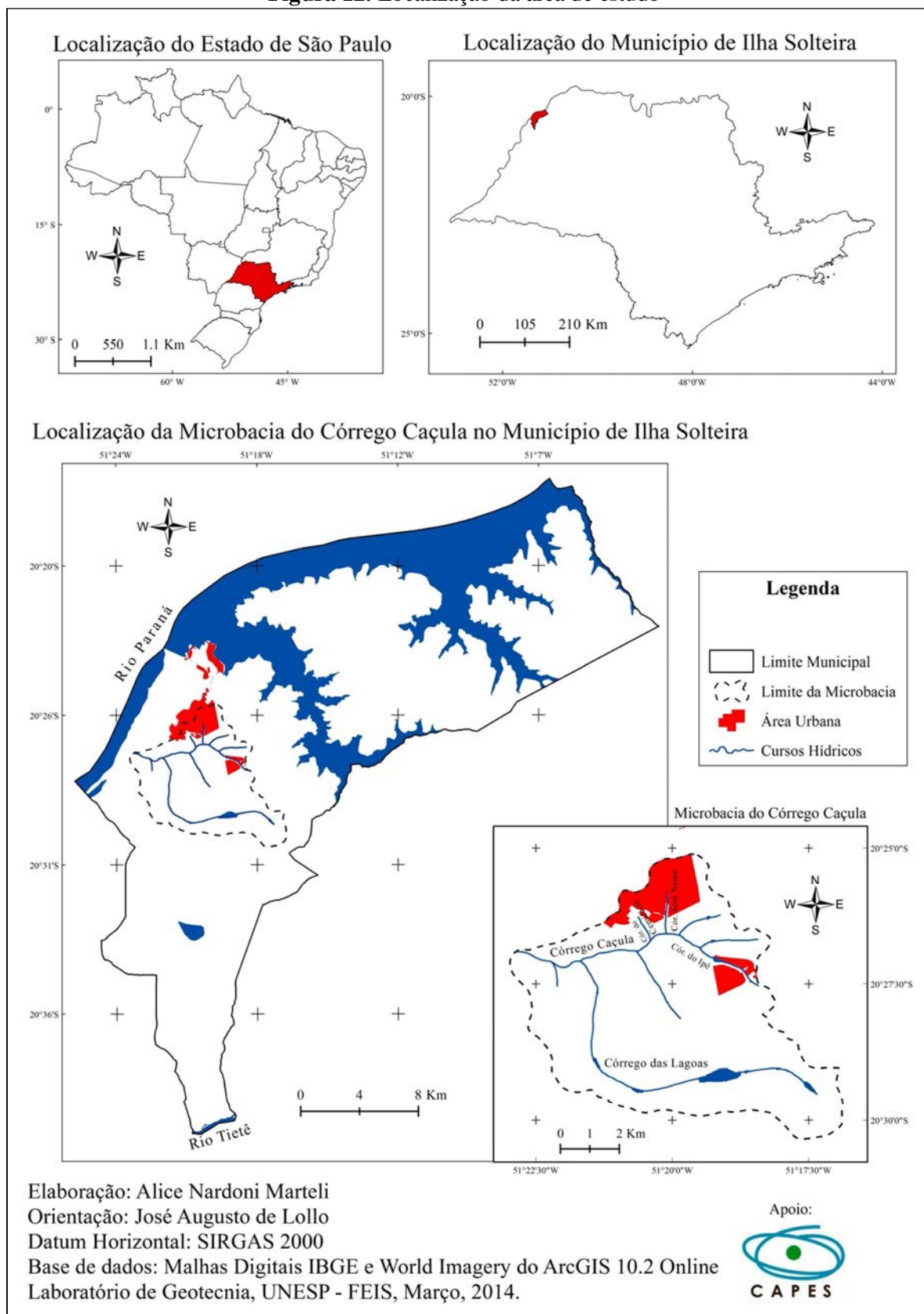
4.1 LOCALIZAÇÃO

O município de Ilha Solteira está localizado no extremo noroeste do Estado de São Paulo, a 680 Km da capital, na divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul (SÁVIO, 2011), entre os meridianos 51°00' e 51°30'W e os paralelos 20°15' e 20°45'S, em uma área territorial de 652,449 km² (IBGE, 2014).

O município se estende pela margem paulista do Rio Paraná, abaixo da confluência com o Rio São José dos Dourados. Na direção sul, faz divisa com Itapura, onde o Rio Tietê deságua no Rio Paraná (SÁVIO, 2011). Ainda apresenta limites territoriais com o município de Rubinéia ao norte; Andradina ao sul; Pereira Barreto e Suzanápolis a leste; e o Estado do Mato Grosso do Sul a oeste (LIMA; CAVALHEIRO, 2004).

A área de estudo compreende à Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula inserida totalmente no município de Ilha Solteira (Figura 12), desaguando na margem esquerda do Rio Paraná.

Figura 12. Localização da área de estudo



Fonte: Dados da pesquisa.

4.2 ASPECTOS HISTÓRICOS E SOCIOECONÔMICOS DO MUNICÍPIO

Em 1933 os imigrantes japoneses iniciaram a construção de um povoado denominado Bela Floresta, situada entre Itapura e Novo Oriente, num ponto de passagem da produção ao longo da margem do Rio Paraná. Em 1944 o distrito de Bela Floresta foi criado oficialmente pela Lei Estadual nº 14.334/1944 (SÁVIO, 2011).

Paralelamente, no cenário brasileiro, a década de 1950 foi marcada por um forte desenvolvimento industrial, onde havia uma tendência na construção de Usinas Hidrelétricas (LIMA, 2013). Nesse contexto, nas terras de Bela Floresta iniciou-se em 1965 a construção do núcleo urbano de Ilha Solteira¹⁵ (DOURADO; SILVA, 2005). Isso se deu devido à necessidade de se dar abrigo aos trabalhadores da Companhia Energética de São Paulo (CESP) que iriam trabalhar na construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (DOURADO et al., 2003). Assim, Ilha Solteira foi planejada, construída e administrada pela CESP, permanecendo como distrito do município de Pereira Barreto até 1991, quando foi emancipada¹⁶ (DOURADO; SILVA, 2005; SÁVIO, 2011).

Em 1966 teve início a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, a qual foi inaugurada em 16 de Janeiro de 1974. Atualmente é a terceira maior geradora de energia do Brasil. Possui uma barragem de 6500 metros de comprimento e estanca as águas do Rio Paraná formando um lago com 54 metros de profundidade. Juntamente com as hidrelétricas Engenheiro Souza Dias, em Jupia e Três Irmaões, em Pereira Barreto, Ilha Solteira compõe um dos maiores complexos hidrelétricos do mundo, com 5.802.700 KW de capacidade instalada (SÁVIO, 2011).

O projeto inicial de Ilha Solteira obedeceu a uma estrutura urbanística derivada da necessidade de seguir um padrão arquitetônico único. Sendo assim, o planejamento urbano foi estabelecido a partir de um zoneamento habitacional, baseado na existência de seis diferentes categorias funcionais e salariais da CESP, para as quais foram definidos seis tipos de moradias conforme o tamanho do lote e o tipo de residência (DOURADO et al., 2003).

Dessa forma, por ter sido planejada, a cidade nasceu com algumas desvantagens e vantagens segundo alguns autores. Como desvantagem, Dourado e Silva (2005) apontam a divisão sócio espacial em Ilha Solteira, a qual reflete na própria estrutura da cidade que teve seu espaço físico definido pela aglomeração dos diferentes tipos de casas, caracterizada como

¹⁵ O nome da cidade de Ilha Solteira tem origem a uma ilha, solitária e pequena, situada no Rio Paraná, próximo ao local onde foi construída a hidrelétrica. Seu nome foi dado pelos pioneiros da região (SÁVIO, 2011).

¹⁶ Para mais informações sobre a criação e emancipação do município de Ilha Solteira, consultar Sávio (2011).

uma cidade compacta e com poucos espaços livres entre as habitações. Assim, a segregação sócio espacial foi observada na distribuição residencial: as casas foram distribuídas espacialmente de acordo com o cargo que o empregado exercia na construção da Usina Hidrelétrica (LIMA, 2013).

Estas casas, preservadas desde sua fundação, estão dispostas horizontalmente de maneira repetitiva e simétrica (uma ligada a outra), formando quarteirões, denominados passeios, onde as residências são dispostas em fileiras, uma em frente a outra e separadas por ruas sem calçadas, as quais são chamadas de vielas. A disposição espacial das casas geminadas faz com que seja limitada, ou mesmo inviável, a ampliação e reforma, devido principalmente a falta de espaço, deficiência na ventilação e iluminação (DOURADO et al., 2003; LIMA, 2013).

Outro problema destacado por Dourado et al. (2003) é referente às casas geminadas, onde há à falta de higiene provocada pelo sistema de escoamento da água de chuva, visto que as águas pluviais são captadas em série, através de canais interligados a céu aberto, os quais são dispostos paralelamente ao muro de divisa da propriedade. A falta de manutenção nesses canais causa sérios problemas, em função do acúmulo de lixo e dejetos de animais domésticos que passam de uma residência a outra, servindo de criadouro de ratos, baratas e outros insetos. Na época de chuvas mais intensas ocorre o entupimento desses canais e conseqüentemente a inundação das propriedades pela água e toda sujeira transportada por ela.

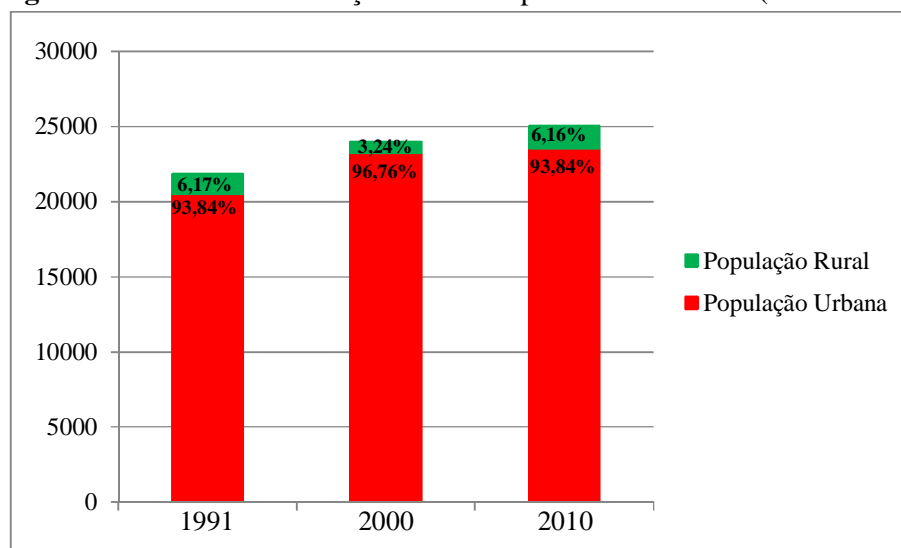
Dourado e Silva (2005) ressaltam também as diferenças no tratamento das vias principais em relação às áreas residenciais, onde as praças dessas áreas são menos equipadas e esteticamente não dispõem de atrativos, se comparadas às rotatórias da Avenida Brasil, já que tais praças não têm projetos paisagísticos e requerem reformas urgentes.

Como vantagem, Ilha Solteira apresentava em todas as cinco mil casas construídas redes de água, esgoto e energia elétrica e, por muitos anos os moradores sequer precisaram pagar por esses benefícios. Atualmente, Ilha Solteira tem 25 campos de futebol, 10 quadras esportivas, 7 ginásios e 8 academias ao ar livre o que de acordo com Sávio (2011) representa um dos maiores índices mundiais para o tamanho da cidade.

No ano 2000 foi elevada à categoria de Estância Turística por seus recursos naturais e paisagísticos e em 2001, um programa de governo municipal a intitulou de Capital da Cultura (DOURADO; SILVA, 2005).

Segundo a ONU citado por Exame (2013), Ilha Solteira é a 18ª melhor cidade para se viver do Brasil entre as 50 melhores cidades brasileiras classificadas. Seu Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) é de 0,812 e a expectativa de vida está em torno de 77 anos de idade. De acordo com o censo de 2010, Ilha Solteira apresenta uma população de 25.064 habitantes, sendo 23.520 na área urbana (IBGE, 2014). Pelo fato do município ter desde sua criação, uma tendência urbana, apresenta alto índice de urbanização, com uma taxa de urbanização de 93,84% (Figura 13).

Figura 13. Taxa de Urbanização no município de Ilha Solteira (1991 – 2010)

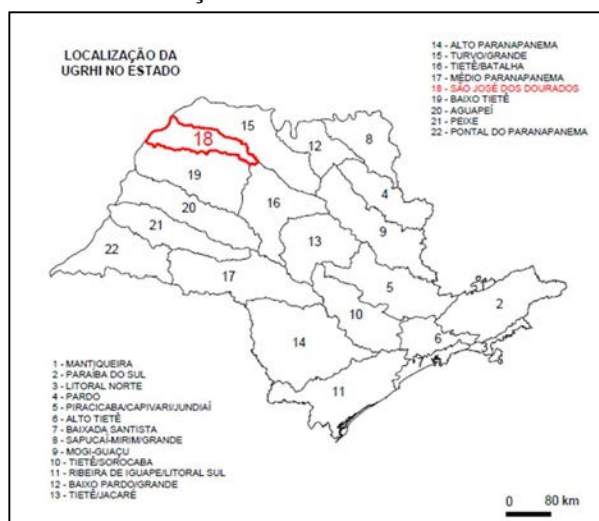


Fonte: IBGE (2014) e CEURB (20??).

O município pertence a 9ª Região Administrativa do Estado de São Paulo (Região Administrativa de Araçatuba) e é um dos 26 municípios¹⁷ integrantes do Comitê da Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados (CBH-SJD) – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI - 18). A Bacia do Rio São José dos Dourados localiza-se no Noroeste do Estado de São Paulo (Figura 14) e tem como limítrofes a UGRHI 15 (Turvo/Grande), a norte e nordeste, a UGRHI 16 (Tietê/Batalha), a sudeste, e a UGRHI 19 (Baixo Tietê), a sul. A bacia é subdividida em três porções: Alto, Médio, e Baixo São José dos Dourados (Figura 15), cujo tributário mais importante é o da sub-bacia do Rio São José dos Dourados, que por sua vez é afluente do Rio Paraná, situado na porção oeste da Bacia (IPT, 2008).

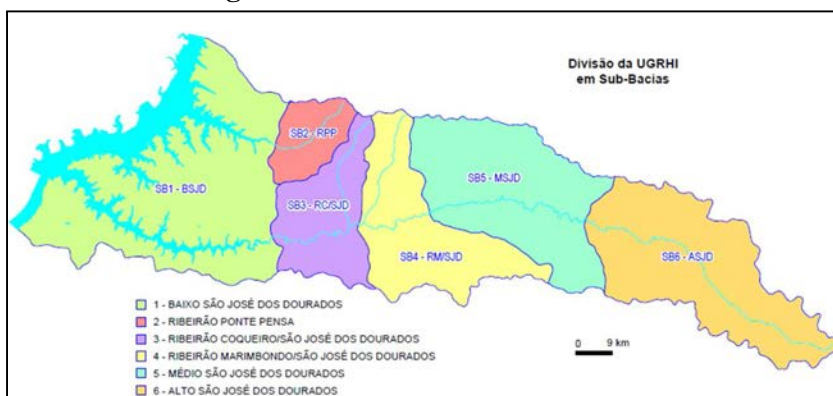
¹⁷ Os municípios são: Aparecida D'Oeste, Auriflora, Dirce Reis, Floreal, General Salgado, Guzolândia, Ilha Solteira, Jales, Marinópolis, Monte Aprazível, Neves Paulista, Nhandeara, Nova Canaã Paulista, Palmeira D'Oeste, Pontalinda, Rubinéia, Santa Clara D'Oeste, Santa Fé do Sul, Santa Salete, Santana da Ponte Pensa, São Francisco, São João das Duas Pontes, São João de Iracema, Sebastianópolis do Sul, Suzanápolis e Três Fronteiras (SÃO PAULO, 2012).

Figura 14. Localização UGRHI 18 no Estado de São Paulo



Fonte: IPT (2008).

Figura 15. Sub-Bacias da UGRHI 18



Fonte: IPT (2008).

A UGRHI 18 abrange área total de 2.243,48 km², com área de drenagem de 6.783 km² e uma população de 223.063 habitantes. A UGRHI 18 produz abacaxi, algodão, arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja, sorgo, seringueira, banana, borracha, café, coco-da-baía, laranja, limão, manga, tangerina e uva. Em termos da criação de animais na Bacia, têm-se bovinos, suínos, eqüinos, asininos, muares, bubalinos, ovinos, aves e caprinos. Os produtos de origem animal são leite, casulo do bicho-da-seda, ovos de galinha e mel (IPT, 2008; SÃO PAULO, 2012).

Nas atividades industriais, a agroindústria tem importante papel, principalmente as usinas de álcool e açúcar, e curtumes (UGRHI 18, 2004?). Portanto, de acordo com IPT (2008) tem-se a economia regional baseada na produção agropecuária e integrada às atividades agroindustriais, uma das principais características do desenvolvimento econômico recente verificado na UGRHI.

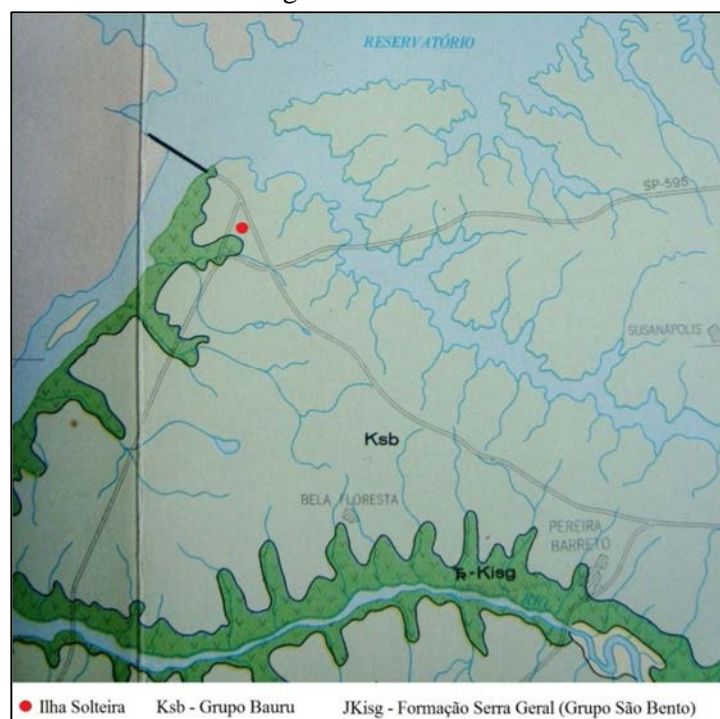
No município de Ilha Solteira, segundo Lima e Cavalheiro (2004), a principal fonte de economia está representada na geração de energia elétrica e na produção de mão-de-obra qualificada pela FEIS-UNESP.

4.3 ASPECTOS FÍSICOS E AMBIENTAIS DO MUNICÍPIO

O município de Ilha Solteira pertence à unidade geotectônica da Bacia Sedimentar do Paraná, representado principalmente por rochas sedimentares do Grupo Bauru (Ksb¹⁸), Formação Santo Anastácio, que ocorre em áreas que acompanham as cotas mais baixas dos vales dos rios afluentes do Rio Paraná, e é composta por arenitos de granulação de fina a média (IPT, 1981a; SANTOS, 2014).

Nas cotas mais baixas dos vales dos Rios Paraná e Tietê observam-se afloramentos de basaltos do Grupo São Bento, Formação Serra Geral (Figura 16), a qual apresenta arenitos, siltitos, soleiras e diques de diabásio intercalados aos derrames basálticos (IPT, 1981a).

Figura 16. Unidades Geológicas de Ilha Solteira e seu entorno



Fonte: IPT (1981a). Org. pela autora.

Quanto a estas unidades geológicas, tais formações ocorrem em grande maioria dos municípios do Oeste Paulista. De acordo com estudos de Lollo (1998) a Formação Serra

¹⁸ Ksb- Arenitos e siltitos em parte carbonáticos, conglomerados e folhelhos.

Geral, de idade juro-cretácica, é composta por basaltos toleíticos podendo ser subdividida, na região, em dois domínios: (1) basalto vesicular – porção superior da formação com espessuras inferiores à 20m em geral; (2) basalto compacto – porção inferior com espessuras de até 300m.

Sobreposta à Formação Serra Geral ocorre a Formação Santo Anastácio¹⁹ que é representada na região por arenitos arcoseanos argilosos finos a médios com camadas conglomeráticas centimétricas (LOLLO, 1998).

Geomorfologicamente, Ilha Solteira está posicionada no Planalto Ocidental Paulista, em áreas indivisas. Predomina no município colinas amplas, seguidas por colinas médias e poucas extensões de planícies aluviais (Figura 17)²⁰ (IPT, 1981b).

Lollo (1998) descreve o relevo da área como ondulado a suavemente ondulado, pouco dissecado, composto por colinas amplas e médias com baixa declividade e vales amplos.

¹⁹ “Cessados os derrames de lavas da Formação Serra Geral, que marcaram o final dos eventos deposicionais e vulcânicos generalizados na área da Bacia do Paraná, observou-se uma tendência geral para o soerguimento epirogênico em toda a Plataforma Sul-Americana em território brasileiro. A porção norte da Bacia do Paraná, entretanto, comportou-se como área negativa relativamente aos soerguimentos marginais e à zona central da bacia, marcando início de uma fase de embaciamentos localizados em relação à área da bacia em um todo. Nessa área deprimida acumulou-se o Grupo Bauru, no Cretáceo Superior, que aparece em grande parte do Estado de São Paulo, recobrando as lavas basálticas do Planalto Ocidental” (IPT, 1981a, p.68).

²⁰ Colinas Amplas – predominam interflúvios com área superior a 4Km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

Colinas Médias – predominam interflúvios com áreas de 1 a 4Km², topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

Planícies Aluviais – terrenos baixos e mais ou menos planos, junto às margens dos rios, sujeitos periodicamente a inundações.

Figura 17. Unidades Geomorfológicas de Ilha Solteira e seu entorno



Fonte: IPT (1981b). Org. pela autora.

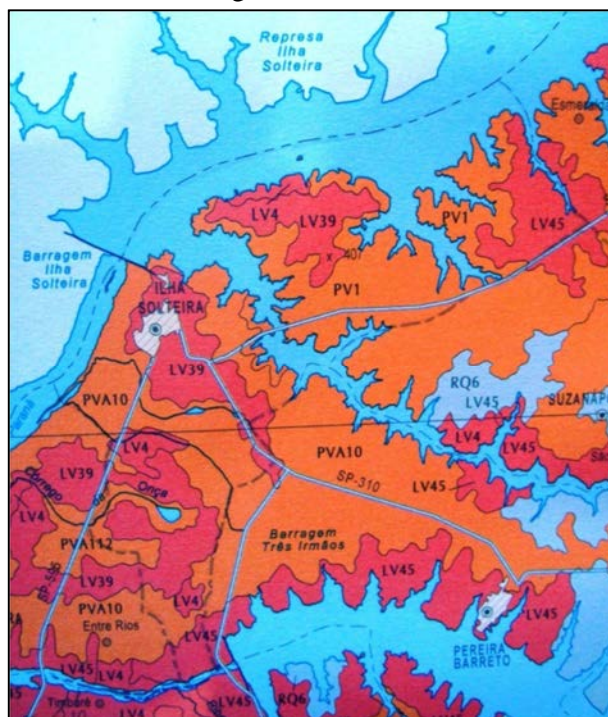
Ao longo da extensão municipal encontram-se Latossolos Vermelhos (LV4, LV39 e LV45)²¹, Argissolos Vermelhos (PV1)²² e Argissolos Vermelhos-Amarelos (PVA10 e PVA112)²³ (Figura 18) (OLIVEIRA et al., 1999). De acordo com Lollo (1998), o material de origem dos solos desta região são os basaltos e, principalmente, os arenitos. Assim, a principal característica dos solos provenientes deste material é o alto teor de areia em relação às demais frações do solo.

²¹ LV4 = Eutróféricos e Distroféricos + LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos, ambos A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado. LV39 = Distróficos A moderado, textura argilosa, relevo plano e suave ondulado. LV45 = Distróficos A moderado, textura média, relevo plano e suave ondulado.

²² PV1 = Eutróficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos, A moderado, textura arenosa a média e média, relevo suave ondulado.

²³ PVA10 = Eutróficos + ARGISSOLOS VERMELHOS Distróficos e Eutróficos ambos com textura arenosa a média e média, relevo suave ondulado + LATORSSOLOS VERMELHOS Distróficos, com textura média e relevo plano, todos A moderado. PVA112 = Eutróficos e Distróficos textura arenosa a média e média + LATOSSOLOS VERMELHOS + LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS ambos Distróficos textura média e argilosa, todos A moderado, relevo plano e suave ondulado.

Figura 18. Unidades Pedológicas de Ilha Solteira e seu entorno



Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (1999).

O município de Ilha Solteira encontra-se entre os rios Paraná, Tietê e o Rio São José dos Dourados sob o Aquífero Bauru-Caiuá, que apresenta como características ser poroso, livre a semiconfinado (SANTOS, 2014), com espessura média de 200m, e sobrepõe-se ao pacote de derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. O Sistema Aquífero Bauru-Caiuá é constituído por arenitos finos a médios, com intercalações de argilitos e siltitos, de origem predominantemente fluvial, das diversas formações componentes dos Grupos Bauru e Caiuá (CESP; DRENATEC ENGENHARIA, 2009).

Ainda segundo a CESP e Drenatec Engenharia (2009), apresenta área de recarga em grande parte do território sul-mato-grossense, em mais da metade do território paulista, e em áreas menos expressivas dos estados de Goiás e Minas Gerais. É a unidade de maior extensão aflorante na Bacia Hidrográfica do Paraná, e por sua acessibilidade, constitui importante recurso hídrico nos locais em que ocorre.

Segundo a classificação de Köppen, o clima varia do tipo Cwa a Aw (CINDIRU, 1995; LOLLO, 1998). O tipo Cwa, que abrange toda a parte central do Estado de São Paulo é caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. As regiões localizadas a noroeste do Estado de São Paulo são mais quentes e por isso, pertencem ao tipo Aw, tropical chuvoso com

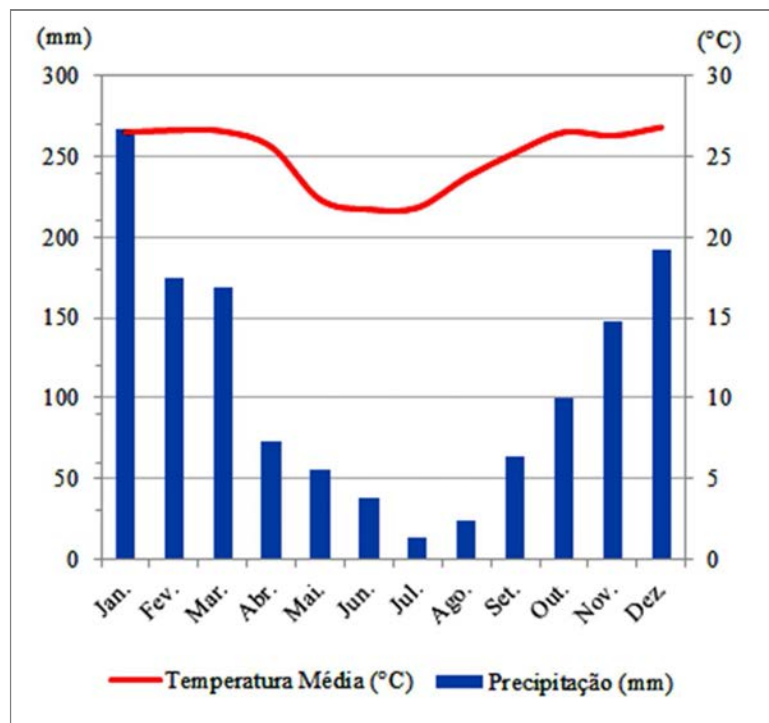
inverno seco e ameno, e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C (CEPAGRI, 2013).

De acordo com Cindiru (1995) o regime climático de Ilha solteira é controlado por quatro massas de ar: massa equatorial continental quente, massa tropical continental quente e seca, massa tropical atlântica e massa de ar polar do Atlântico Sul.

No município, o mês mais quente é o de janeiro, com temperatura média de 24°C a 25°C e média máxima de 30°C - 32°C. O mês mais frio é julho com temperaturas médias de 18°C a 20°C e médias mínimas de 11°C a 14°C. A precipitação pluviométrica varia entre 1.100 e 1.300 mm diminuindo para oeste. A estação seca ocorre entre os meses de maio e setembro/outubro com 300 mm. A estação seca prolongada constitui um dos fatores limitantes aos cultivos nesta região (CINDIRU, 1995; LOLLO, 1998), além do contraste entre fortes chuvas no verão e fracas no inverno (LIMA; CAVALHEIRO, 2004).

A análise de distribuição das chuvas no período de 1993 a 2013, a partir dos dados coletados na Estação Meteorológica da UNESP de Ilha Solteira (UNESP, 2014) revela a predominância de chuvas entre outubro e março, já o período seco concentra-se entre junho e agosto. Quanto à temperatura média, esta segue o regime pluviométrico, sendo o período seco de baixas temperaturas, e maiores temperaturas com a predominância de chuvas (Figura 19). Vale destacar que a ocorrência de precipitações mais intensas, aliada ao maior número de dias chuvosos durante o verão, permite apontar esse período como o mais favorável à intensificação das enchentes, alagamentos e inundações e, portanto, dos processos erosivos.

Figura 19. Gráfico com as médias mensais de temperatura média e precipitação do período de 1993 a 2013



Fonte: UNESP (2014). Elaboração da autora.

Sobre a vegetação, parte do sudoeste do Estado de São Paulo originalmente era coberto pela Floresta Estacional Semidecidual Submontana ou popularmente conhecida como Mata Atlântica de Interior (DAMASCENO, 2010). Essa formação florestal é caracterizada por ser mais seca que a atlântica e menos xeromorfa que o cerrado. Por isso, é também denominada de “floresta mesófila”, a qual está inserida dentro do bioma Mata Atlântica. A floresta estacional semidecidual foi o tipo florestal mais rápido e extensamente devastado no Estado de São Paulo. Atualmente, esse ecossistema está representado por pequenos fragmentos bastante isolados (GOMES et al., 2012).

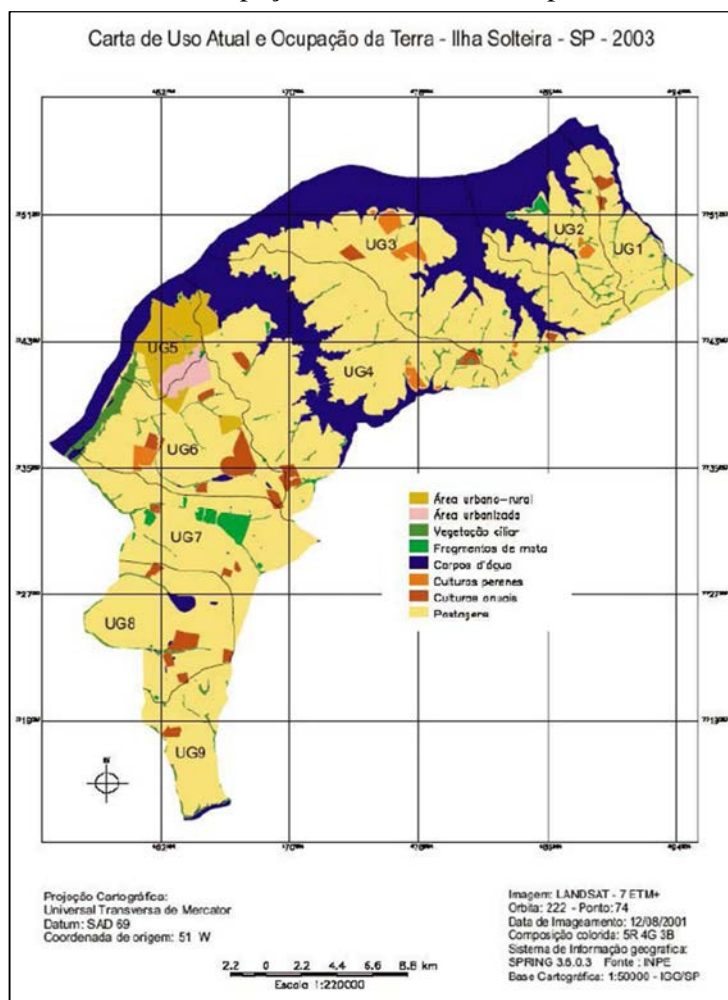
A vegetação remanescente na Bacia do Rio São José dos Dourados é composta das formações de Floresta Estacional Semidecidual e a Formação Arbórea Arbustiva em região de várzea, ocupando 449km², isto é, 6,5% da área da UGRH I8. No entanto, não há Unidades de Conservação em seu território (SÃO PAULO, 2012).

De acordo com os estudos feitos pela CESP citado por Dias (2014) para o licenciamento ambiental da UHE Ilha Solteira, a vegetação predominante na região é a Floresta Estacional Semidecídua Submontana, nas áreas mais elevadas, e Floresta Estacional Semidecídua Aluvial, também chamada de mata ciliar, disposta ao longo dos cursos d’água.

Tais vegetações também são chamadas de mata úmida e mata seca (SILVA et al., 2006). Há também zonas de contato entre os biomas Mata Atlântica e Savana (cerrado), onde ocorre a formação Savana Arbórea Densa, ou cerradão (DIAS, 2014).

No município, a maior parte dessa cobertura original foi eliminada com a ocupação da área, sendo atualmente a cobertura principal do solo representada pelos campos antrópicos (pastagens) e pelas atividades agrícolas (LOLLO, 1998; SILVA et al., 2006). De acordo com o levantamento feito por Lima, Silva e Altimare (2004) os principais usos da terra no município de Ilha Solteira são pastagens, corpos d'água, áreas urbano-rurais, culturas anuais, vegetação ciliar, culturas perenes, fragmentos de mata e área urbana respectivamente (Figura 20).

Figura 20. Carta de Uso e Ocupação da Terra do município de Ilha Solteira



Fonte: Lima, Silva e Altimare (2004).

Atualmente, o remanescente dessa vegetação encontra-se no Parque Zoológico “Centro de Conservação de Fauna Silvestre de Ilha Solteira – CCFS” (DIAS, 2014), com uma área de 17,76 hectares, coberta por remanescente das fisionomias Floresta Estacional Semidecídua e Savana Arbórea Densa, onde há uma área aberta à visitação pública (CESP; DRENATEC ENGENHARIA, 2009). Mesmo com as intervenções antrópicas, por estar inserida num contexto urbano, essa área guarda as características edáficas originais.

4.4 A MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CAÇULA

De acordo com Manoel (2013), a Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula engloba uma porção urbana (Bairro Jardim Aeroporto), uma porção periurbana (chácaras), localizada no Bairro do Ipê, abrigando uma das nascentes do Córrego do Ipê, afluente do Córrego Caçula e a porção rural do Bairro Cinturão Verde e Assentamento Estrela da Ilha, além de grandes propriedades (Fazendas Lagoinha, Bacuri, Santa Pedrina, Caçula, St^a Edwirges e Santa Maria II) que rodeiam o núcleo urbano, com distâncias que variam de 1 a 20 km.

Para caracterizar os aspectos socioeconômicos, ambientais e físicos da microbacia serão utilizados principalmente os trabalhos de Manoel (2013) e Santos (2014).

4.4.1 Aspectos socioeconômicos da microbacia

Manoel (2013) caracterizou algumas variáveis socioeconômicas das propriedades rurais da Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula e constatou que a renda predominante destas propriedades é de produção agropecuária, seguida de trabalho não agrícola, aposentadoria ou pensão e arrendamentos. Também foi identificado que ainda não existe nenhuma associação formada, onde apenas cinco propriedades relataram dispor de alguma assistência técnica, fato este que prejudica a atividade agrícola no município. Por isso, é que verifica-se a tendência cada vez maior do pequeno produtor rural, desprovido de capital e assistência técnica, de arrendar suas terras para grandes produtores.

A maioria das propriedades inseridas na microbacia do Córrego Caçula apresenta área de até 10 hectares, evidenciando propriedades de pequeno porte (MANOEL, 2013). Como no município de Ilha Solteira o módulo fiscal corresponde a 30 hectares (CATI, 2011), pode-se dizer que na microbacia predomina agricultores familiares²⁴.

²⁴ Considerando o conceito de agricultura familiar, previsto na Lei 11.326/2006, que em seu Art. 3 considera agricultor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, que não detenha, a qualquer título, área

Sobre o uso e ocupação do solo, Manoel (2013) identificou principalmente grandes áreas de pastagem, a cultura de cana-de-açúcar e a expansão urbana (Bairros Nova Ilha e Ilha Bela) e conseqüentemente a redução das áreas de matas. Também foram identificadas culturas perenes e anuais. Embora a área plantada seja pequena e limitada às pequenas propriedades, as culturas perenes, têm destino tanto para autoconsumo como para comercialização e as culturas anuais são destinadas, principalmente, a comercialização. Como culturas perenes há manga, banana, limão, pinha, uva, jabuticaba, laranja, acerola, coco, café, mamão, abacate, seringueira e caju, e como culturas anuais há o milho e a cana-de-açúcar²⁵.

No que diz respeito à produção animal, o rebanho predominante é de bovinos, seguido de aves, equinos e suínos. Estes rebanhos, assim como a agricultura na região, são destinados principalmente à subsistência. Nas grandes propriedades, o excedente é comercializado, já nas pequenas propriedades, quando há necessidade de capital, realiza-se a venda de alguns animais para o levantamento de recursos financeiros (MANOEL, 2013).

As principais fontes de água utilizadas nas propriedades da microbacia são provenientes do abastecimento público, seguidas por poços na propriedade, córregos, represas, açudes, lagos e nascentes. A utilização de água tratada foi registrada por Manoel (2013) na maioria das propriedades e o uso da água do manancial foi constatado que 44% não utilizam, 25% é utilizada por animais diretamente (bebedouros), 19% para irrigação, 9% para abastecimento de instalações de animais e apenas 3% para abastecimento humano.

Já em relação à destinação final de esgoto, Manoel (2013) observou que 88% das propriedades utilizam fossas sépticas. As demais propriedades verificadas utilizam-se de outras formas de destinação final do esgoto, muitas inadequadas como o lançamento direto no solo ou em córregos, o que contribui para a contaminação do solo e da água e do nível freático, promovendo a proliferação de doenças de veiculação hídrica.

maior do que 4 (quatro) módulos fiscais; utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; tenha percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento, na forma definida pelo Poder Executivo; e dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família (BRASIL, 2006).

²⁵ A cultura da cana-de-açúcar na região de Ilha Solteira se deu a partir de 2006. Manoel (2013) acredita que este fato possa estar fortemente relacionado com a construção da Usina Interlagos, a atual Usina Santa Adélia Pioneiros, localizada na divisa entre Ilha Solteira e Pereira Barreto, que gerou nos pecuaristas da região a tendência em substituir a pecuária pela monocultura de cana-de-açúcar.

4.4.2 Aspectos ambientais da microbacia

De acordo com Manoel (2013), as propriedades localizadas no entorno do município têm sofrido com a expansão urbana devido a problemas de erosão, assoreamento e voçorocas, além da falta de conservação das pastagens, que agravam estes problemas. Nesse sentido, o autor destaca que é a drenagem de água pluvial vinda da área urbana que tem contribuído principalmente para o assoreamento dos mananciais, os quais se encontram desprovidos de mata ciliar.

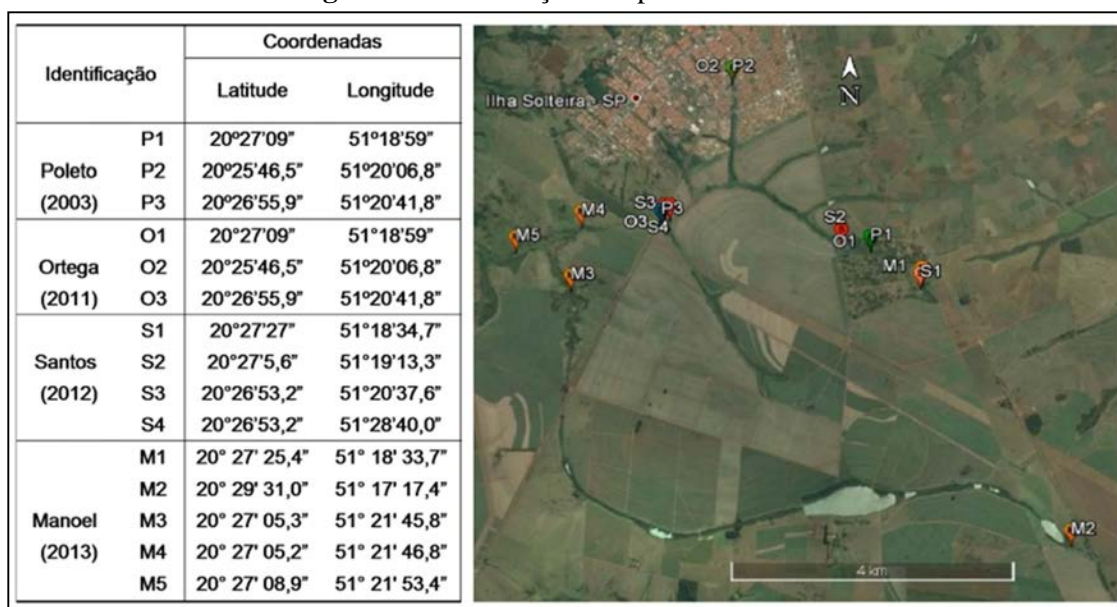
Para Manoel (2013), a situação das matas ciliares, não difere da situação encontrada em grande parte dos municípios do noroeste do Estado de São Paulo, onde a maioria dos cursos d'água está desprovida de vegetação ciliar. Segundo o autor,

os produtores tem consciência dos prejuízos advindos do desmatamento, da falta de práticas conservacionistas e da falta de recomposição da mata ciliar, porém, não se propõem por iniciativa própria a iniciar uma reforma dos terraços e a recomposição da mata ciliar. Na maioria dos casos os proprietários levam em consideração apenas os gastos com estas práticas e não avaliam o ganho ambiental que a propriedade terá (MANOEL, 2013, p,78).

A respeito do uso e ocupação nas nascentes dos córregos do Ipê e da Lagoa, e as fozes dos córregos Caçula, do Ipê e da Lagoa, todos inseridos na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula, Manoel (2013) verificou que a nascente do Córrego do Ipê possui uso do solo agrícola e urbano; a nascente do Córrego da Lagoa tem uso agrícola; a foz do Córrego do Ipê possui uso agrícola e urbano, a foz do Córrego da Lagoa possui uso agrícola e a foz do Córrego Caçula apresenta uso agrícola e pecuário.

Quanto à qualidade física, química e biológica das águas da microbacia hidrográfica do Córrego Caçula, Marteli e Lollo (2015) levantaram dados da literatura correspondente, relacionando aos padrões da Resolução 357/05 do CONAMA (BRASIL, 2005). A distribuição dos pontos de coletas pode ser observada na Figura 21.

Figura 21. Localização dos pontos de coletas



Fonte: Marteli e Lollo (2015).

A partir das análises química, física e biológica dos cursos d'água da microbacia hidrográfica do Córrego Caçula (Tabela 2) Marteli e Lollo (2015) observaram que todos os parâmetros verificados apresentaram pontos com valores em desconformidade com a Resolução CONAMA 357/05, com destaque para os índices de fósforo, DBO, nitrogênio e coliformes fecais.

Tabela 2. Análise química, física e biológica da microbacia hidrográfica do Córrego Caçula

Identificação	Coordenadas		Parâmetros analisadas									
	Latitude	Longitude	pH	Turbidez (NTU)	Fósforo total (mg/L)	DBO (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)	OD (mg/L)	ST (mg/L)	Coliformes fecais (NMP/100ml)	Temperatura (°C)	Época da Coleta
P1	20°27'09"	51°18'59"	5,87	4,5	0,34	5	4	6,63	101	6300	19,3	
Poleto (2003)	P2	20°25'46,5"	7,39	39	0,17	38	11	6,34	108	19000	20,4	Ago. 2002
	P3	20°26'55,9"	6,75	15,65	0,39	1	0,6	6,53	498	200	20,9	
	O1	20°27'09"	51°18'59"	6,04	46,3	0,6	6	4	2,03	365	564	21,5
Ortega (2011)	O2	20°25'46,5"	7,01	49,5	0,3	45	11	6,09	301	0	20,8	Ago. 2011
	O3	20°26'55,9"	6,41	28,9	0,72	2	0,6	4,78	754	0	21,7	
	S1	20°27'27"	51°18'34,7"	7,5	150	NA	NA	NA	17,4	293	420	30
Santos* (2012)	S2	20°27'5,6"	7,7	15,4	NA	NA	NA	16	154	360	31	2006 a 2011
	S3	20°26'53,2"	7,4	183	NA	NA	NA	18	255	11520	30	
	S4	20°26'53,2"	7,7	89,3	NA	NA	NA	16	222	11520	29	
	M1	20° 27' 25,4"	51° 18' 33,7"	7,58	40,1	2,95	2	2,5	10,5	150	300	25
Manoel* (2013)	M2	20° 29' 31,0"	6,32	6,19	1,2	5	3	4,78	130	500	25	
	M3	20° 27' 05,3"	7,57	11,7	2,09	2	1,5	10,91	150	100	23	Mai 2012- Abr 2013
	M4	20° 27' 05,2"	7,56	22	5	6	5,4	8,9	340	800	24	
	M5	20° 27' 08,9"	7,72	21,1	3,74	8	2,5	12,78	310	500	25	
	Resolução CONAMA 357/05			6,0 a 9,0	≤ 100	<0,05	< 5,0	pl. pH ≤ 7,5 = <3,7 pl. 7,5 pH ≤ 8,0 = <2,0 pl. 8,0 pH ≤ 8,5 = <1,0 pl. pH > 8,5 = <0,5	≥ 5,0	<500	<1000/100ml	

* Valores máximos

Em vermelho = variável em desconformidade com a Resolução CONAMA 357/05

NA = Não Avaliado

DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio

OD = Oxigênio dissolvido

ST = Sólidos Totais

Fonte: Marteli e Lollo (2015).

Para Manoel (2013), as águas destes córregos estão sensivelmente prejudicadas pelas atividades antrópicas, devido o descarte de efluentes domésticos e agropecuários – lançamento de esgoto doméstico, lançamento de detergentes advindos das tubulações de residências que lançam *in natura* seus efluentes de pias, lançamento de detergentes diretamente no córrego, além do transporte de fertilizantes e adubos do solo sem conservação adequada. Dessa forma, os valores obtidos indicaram que as variáveis fósforo total, oxigênio dissolvido, pH e sólidos totais foram as principais responsáveis pela diminuição da qualidade da água dos córregos.

Outra variável que merece destaque é a presença de coliformes, com maiores concentrações no período chuvoso. Isso se deve pela proximidade aos locais com maior número de moradias, algumas das quais não apresentam fossa séptica e que apresenta dejetos de animais, tais como suínos, aves e bovinos, visto o seu caráter agropecuário, sendo visível o caminho dos dejetos até o córrego, intensificando o arraste de todo tipo de material para o curso d'água, durante a ocorrência de chuvas (MANOEL, 2013).

Assim, o uso inadequado do solo, as práticas agrícolas e a pecuária intensiva, propiciam o aumento da turbidez, havendo indícios de carreamento de fósforo, oriundos da dispersão difusa de fertilizantes e pesticidas usados nas atividades agrícolas, sendo acrescido pelo efeito dos solos carregados de áreas agrícolas e materiais sólidos oriundos das águas pluviais da cidade, mostrando a fragilidade e a exposição dos córregos pela falta de mata ciliar, que consomem nutrientes e age como barreira física das partículas sólidas carregadas pela chuva na área periurbana. No entanto, os valores de Índice da Qualidade da Água calculados indicaram que a qualidade das águas na nascente do Córrego do Ipê e do Córrego das Lagoas, foram classificadas como regular, e na Foz do Córrego do Ipê, Lagoas e Caçula foram classificadas como boa (MANOEL, 2013).

Além disso, Manoel (2013) identificou o pisoteio do gado, ausência de mata ciliar, proliferação de macrófitas e erosão, fato que intensifica o processo de lixiviação no período chuvoso, causando maiores vazões, provocando diferentes graus de erosividade e afetando os terrenos das encostas e das margens. Outro aspecto ambiental destacado foi a forma de eliminação do lixo doméstico e agrícola, em que na maioria das vezes não há depósitos específicos e nem um sistema de coleta de resíduos sólidos, sendo estes queimados, enterrados ou jogados em buracos ou poços abandonados na propriedade.

4.4.3 Aspectos físicos da microbacia

Santos (2014) elaborou cartas de altimetria, declividade, direção de fluxo de água, fluxo acumulado, litologia, textura e gênese dos materiais inconsolidados, espessura dos materiais inconsolidados, permeabilidade, densidade de drenagem e de unidades de terreno da microbacia hidrográfica do Córrego Caçula.

A carta de altimetria segundo Santos (2014) tem como objetivo a representação da distância vertical dos pontos a uma superfície de referência, o que permite fazer a representação do relevo, que varia na microbacia hidrográfica do Córrego Caçula de 283,7 metros a 418,9 metros. A carta de declividade (ou carta clinográfica) representa o grau de inclinação do terreno e é um importante fator para avaliação de alternativas de uso do solo na bacia hidrográfica. Dessa forma, as classes < 5% são áreas quase planas, adequadas para o uso e ocupação da terra, ou inadequadas (no caso de planícies fluviais, pelos riscos de inundação e por estarem em área de preservação e proteção ambiental); 5 a 10% seria a faixa de áreas com moderada susceptibilidade à erosão, com poucas restrições ao uso e ocupação; 10 a 20% são áreas com forte susceptibilidade a erosão, e que necessitam de manejo adequado para sua utilização, e por fim a classe 20 a 30% definem áreas com escoamento superficial muito rápido e muito forte susceptibilidade à erosão.

Na microbacia destacam-se principalmente as áreas de 5 a 10% predominantes nas margens dos cursos d'água, seguidas pela classe de 2 a 5% nas áreas de escoamento, a classe 0 a 2% encontra-se distribuída pela área de pesquisa. Por fim as classes 10 a 15%, 15 a 20% e 20 a 30% encontram-se principalmente próximo aos cursos d'água na parte norte da bacia hidrográfica, sendo pouco expressivas na bacia hidrográfica (SANTOS, 2014).

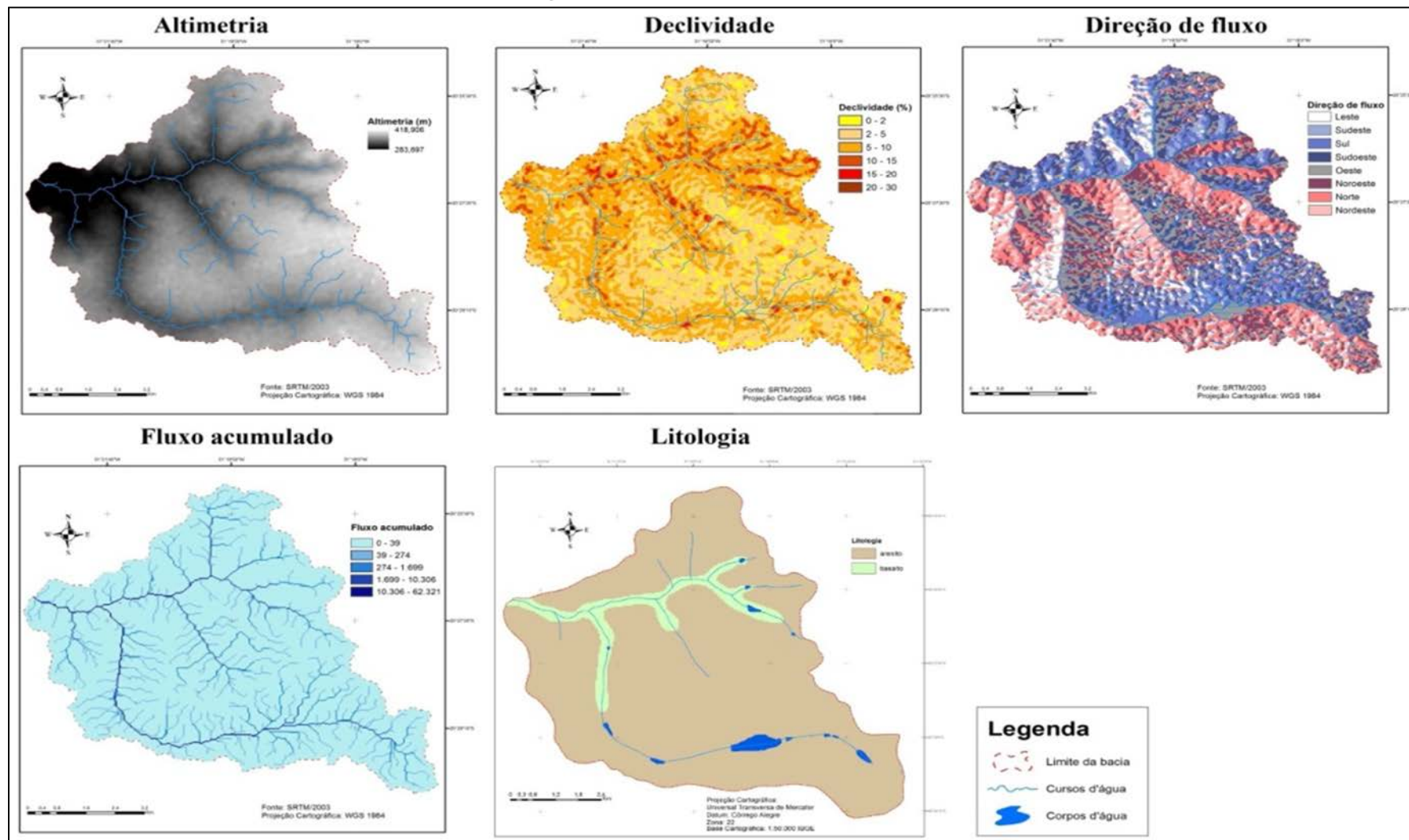
A carta de direção de fluxo de água define as relações hidrológicas entre pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica, ou seja, permite a observação da direção do escoamento de água nas vertentes. A continuidade topológica para as direções de fluxo é, conseqüentemente, necessária para que uma drenagem funcional possa existir. Após a determinação da direção de fluxo, Santos (2014) fez uma extração automatizada da rede de drenagem a partir do Modelo Digital de Elevação e obteve uma carta de fluxo acumulado. O fluxo acumulado é um parâmetro que indica o grau de confluência do escoamento e pode ser associado ao fator comprimento de rampa aplicado em duas dimensões.

A carta de litologia consiste na descrição de rochas em afloramento ou amostra de mão, com base em várias características tais como a cor, textura, estrutura, composição

mineralógica ou granulometria. As litologias identificadas na área de estudo são o arenito, seguido por uma parte dos fundos de vale por basalto.

As cartas de altimetria, declividade, direção de fluxo de água, fluxo acumulado e litologia da microbacia hidrográfica do Córrego Caçula estão sintetizadas na Figura 22.

Figura 22. Cartas de atributos físicos



Fonte: Adaptado de Santos (2014).

As classes de textura e gênese dos materiais inconsolidados verificadas na microbacia consistem em solos LV – Latossolo Vermelho Amarelo na parte norte na bacia e PVA – Argissolo Vermelho Amarelo no extremo oeste ao sul com uma pequena área na parte nordeste. Na carta de espessura dos materiais inconsolidados foram obtidos 4 classes divididas em: <1 metro, de 1 e 3 metros, de 3 a 5 metros e > que 5 metros. A classe com espessura menor que 1 metro apresenta uma pequena porção localizada no Córrego Caçula próximo a Foz da microbacia. Esta classe é considerada a mais favorável para o escoamento superficial, pois este passa a ser controlado pelo substrato rochoso (SANTOS, 2014).

Já as classes intermediárias com espessuras entre 1 a 3 metros apresentam maior potencial para o escoamento; a classe com espessura dos materiais entre 3 a 5 metros possui maior tendência para a infiltração; e as áreas que apresentam materiais com mais de 5 metros de espessura são as mais expressivas na bacia hidrográfica, e estão localizadas na parte norte, sul e central da bacia. Esta classe apresenta-se com uma maior tendência para a infiltração (SANTOS, 2014).

A partir das classes de permeabilidade obtidas por Lollo (1998), por meio de perfis de sondagens e ensaios de caracterização de solos da área de estudo, Santos (2014) verificou duas classes de permeabilidade da microbacia, sendo a classe 10^{-5} m/s com área mais significativa, presente na parte norte e central da bacia e a classe 10^{-4} m/s no extremo oeste ao sul com uma pequena área na parte nordeste.

Na classe 10^{-5} m/s a velocidade de percolação é lenta, facilitando o escoamento superficial, fato relacionado diretamente com o tipo de solo Latossolo Vermelho. Já a classe 10^{-4} m/s apresenta condições mais favoráveis para a infiltração, relacionado com o tipo de solo Argissolo Vermelho Amarelo (SANTOS, 2014).

A carta de densidade de drenagem possui duas classes. A classe mais expressiva apresenta menos que 2 canais/km² e a classe menos representativa, presente nos fundos de vale próximo a foz da bacia hidrográfica, está entre 2 e 4 canais/km² (SANTOS, 2014).

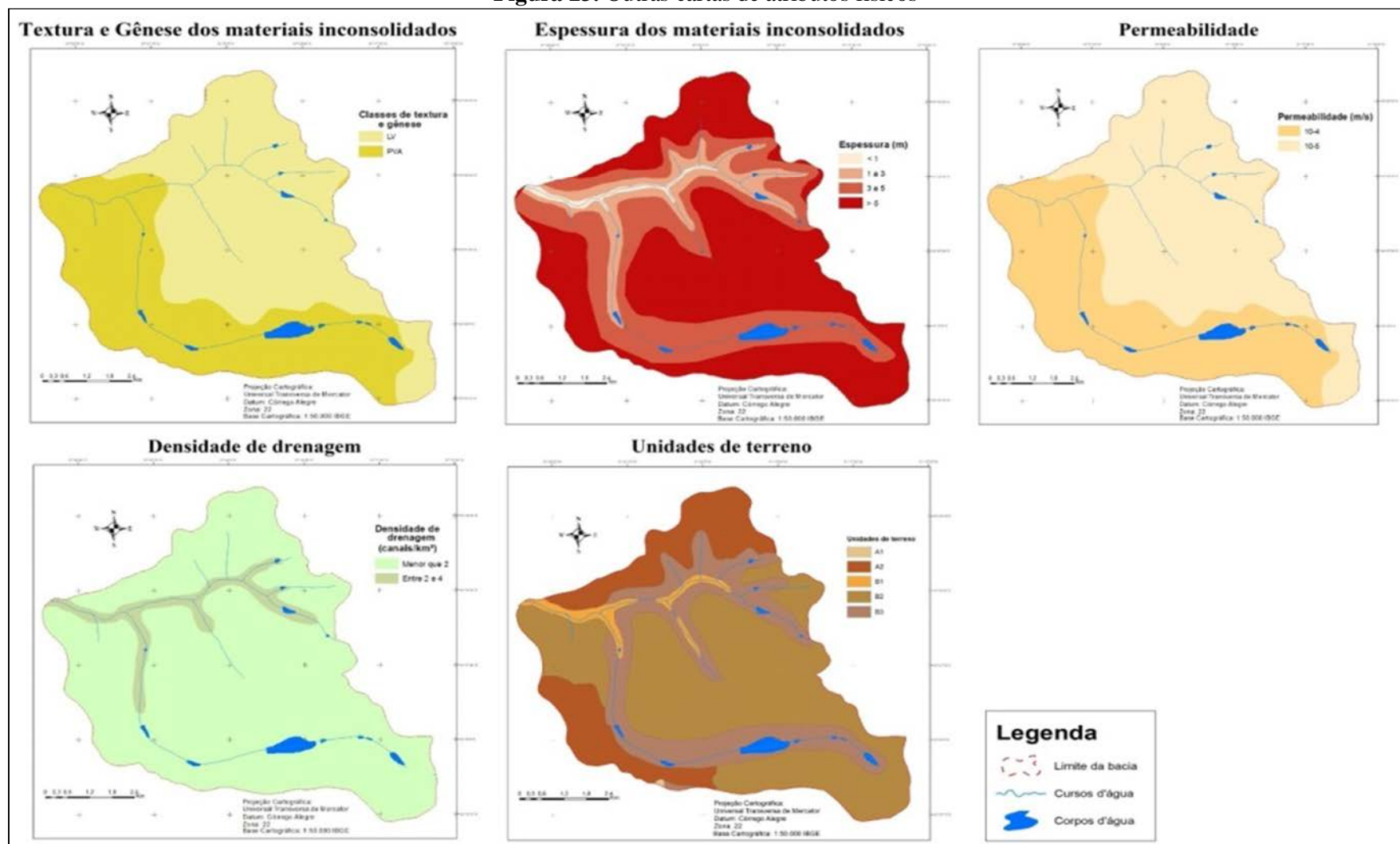
Na carta de unidades de terreno da bacia hidrográfica do Córrego Caçula, as unidades de terreno foram classificadas segundo o trabalho realizado por Lollo (1998). O autor, a partir da avaliação do terreno no município de Ilha Solteira reconheceu dois sistemas de terreno (denominados A e B), cuja subdivisão permitiu o estabelecimento de cinco unidades de terreno (duas pertencentes ao Sistema A denominada A.1 e A.2, e três pertencentes ao Sistema B, denominadas B.1, B.2 e B.3), onde A.1 - vales pequenos profundos com encostas convexas, evidências de processos erosivos na porção inferior das encostas; A.2 Colinas médias suave onduladas, com encostas convexas com média frequência de canais; B.1 - vales

amplos com encostas côncavas, alta frequência de canais, encostas abruptas suavizando-se em direção à drenagem, extensos depósitos aluviais na base; B.2 - colinas médias a amplas, suave onduladas, com encostas convexas na sua metade superior a côncavas na metade inferior com baixa frequência de canais; e B. 3 - vales médios com encostas côncavas à retilíneas, média frequência de canais.

Na carta de unidades de terreno elaborada por Santos (2014), a unidade B.2 é predominante, seguida pelas unidades B.3 localizada principalmente nos fundos de vale e A.2 com áreas nas porções norte, noroeste e sudoeste da bacia. A unidade B.1 é verificada nos fundos de vale próximo a foz da microbacia e a unidade A.1 está localizada ao sul da microbacia com uma pequena parte contribuinte.

Estas cartas de textura e gênese dos materiais inconsolidados, espessura dos materiais inconsolidados, permeabilidade, densidade de drenagem e de unidades de terreno estão sintetizadas na Figura 23.

Figura 23. Outras cartas de atributos físicos



Fonte: Adaptado de Santos (2014).

4.4.4 Histórico de eventos de enchentes, inundações e alagamentos na microbacia

Mesmo planejada, há muito tempo Ilha Solteira vem sofrendo com eventos de enchentes, inundações e alagamentos. As enchentes, naturais, são registradas principalmente no Córrego do Ipê, afluente ocupado (mas não urbanizado) da Microbacia do Córrego Caçula. As inundações desses corpos d'água “invadem” as rodovias próximas causando muitas vezes acidentes de trânsito.

No meio urbano, os alagamentos ocorrem em todos os eventos de chuva na Avenida Brasil, principal via de acesso, pois o sistema de drenagem urbana é insuficiente para o escoamento pluvial. Em casos de precipitações intensas, há sempre estragos na cidade. Esses estragos variam desde inundações em residências e em estabelecimentos comerciais até episódios de enxurradas. Pelo fato do município ser bem arborizado e conter várias praças distribuídas ao longo da cidade, sempre há registro de árvores caídas quando há tempestades (Figura 24).

Figura 24. Cena típica após eventos de chuvas



Fonte: Elaboração do autor (arquivo pessoal – 16/01/2015).

No entanto, não há registros oficiais de todos esses eventos. Alguns episódios são relatados em jornais locais e quando há impactos significativos, há registros em jornais regionais. Além disso, não se tem registros históricos de longa data.

O Canal da Irrigação (<http://www.agr.feis.unesp.br/irrigacao.php>) é um *site* da Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP – FEIS destinado a promover dentre outras coisas, informações a respeito do clima, dados meteorológicos, notícias de cunho climático e de irrigação (UNESP, 2015). Todavia, as notícias sobre precipitações em Ilha Solteira, raramente retratam os impactos diretos e indiretos que as chuvas intensas ocasionam, sejam eles no meio rural ou urbano.

Mesmo assim, o quadro a seguir tenta apresentar resumidamente os impactos destes fenômenos registrados em Ilha Solteira (Quadro 2).

Quadro 2. Histórico de eventos de enchentes, inundações e alagamentos

Data	Local mais atingido	Danos	Fonte de notícias
16/10/2010	Represa da usina	Temporal derrubou 12 torres de transmissão de energia	UNESP
11/04/2011	Av. Brasil e Al. São Paulo	Alagamentos, galerias pluviais ineficientes	UNESP
13/01/2013	Todo o município	~ 30 árvores caíram sob casas e vias públicas; alagamentos de residências e lojas; registro de enxurradas, energia elétrica e trânsito interrompidos; trechos interditados; acidentes de trânsito	G1 Rio Preto e Araçatuba (a)
08/05/2013	População ribeirinha do "Paranazão"	Inundações do Rio Paraná e da praia artificial de Ilha Solteira; limite máximo da capacidade nas barragens	Impacto Online (a)
08/05/2013	Cór. Ipê e Rodovias SP 310 e SP 595	Pista com 1m d'água, desbarracamento, enxurradas, inundação, paralisação do trânsito e acidentes	Impacto Online (b)
11/11/2013	Todo o município	Chuva alaga Av. Brasil, vento derruba árvores e danifica comércio, água e energia elétrica são interrompidos	UNESP
12/11/2013	Todo o município	Além dos danos do dia anterior, 80% da cidade fica sem energia elétrica	G1 Rio Preto e Araçatuba (b)
27/12/2013	Zona Sul	Alagamento de casas	Ilha de notícias
04/03/2014	"Prainha"	Temporal derrubou estrutura do carnaval universitário	G1 Rio Preto e Araçatuba
24/05/2014	Av. Brasil	Alagamentos e trânsito interrompido	UNESP
15/01/2015	Todo o município	Quedas de árvores, falta de energia e registro de granizo	FOLHA CIDADE

Fonte: Elaboração do autor.

Como pode-se observar no Quadro 2, há danos em comuns na maioria dos eventos registrados. Estes, por sua vez, atingem principalmente as populações de baixa renda. Por isso, cabem destaca-los, assim como o evento de 2010 que foi bem significativo.

Segundo UNESP (2010), um temporal com ventos de 120 quilômetros derrubaram 12 torres de transmissão de energia elétrica (Figura 25). O episódio, ocorrido em 16/10/2010, reduziu 74% da capacidade de geração de energia da usina. Conforme a notícia, esta foi a primeira vez que um incidente dessa proporção foi registrado na usina. Para o professor da UNESP de Ilha Solteira, Fernando Tangerino, o problema pode se tornar cada vez mais comum.

Figura 25. Estragos causados pelo temporal



Fonte: Adaptado de UNESP (2010) e G1 Rio Preto e Araçatuba (2010).

Por outro lado, as chuvas intensas atingem tanto o meio rural, como urbano. No meio rural, foi publicado no jornal Impacto Online (2013b) que pelo menos 6 veículos foram destruídos pela inundação do Córrego Ipê, pois fechou os acessos a Pereira Barreto e Itapura, ocasionando acidentes ao longo das Rodovias Feliciano Salles da Cunha e dos Barrageiros.

No meio urbano, cenas apresentadas na Figura 26 são cada vez mais frequentes.

Figura 26. 11 de Novembro de 2013

Fonte: Adaptado de UNESP (2013).

Neste episódio, a chuva que atingiu Ilha Solteira, acompanhada de fortes ventos, provocou estragos em toda cidade. A Avenida Brasil teve diversos trechos alagados, árvores foram arrancadas pelos ventos fortes e diversos estabelecimentos comerciais tiveram prejuízos. Além disso, na Alameda São Paulo, uma árvore caiu sob a fiação da iluminação pública, interrompendo o fornecimento de energia por cerca de três horas. O fornecimento de água também foi interrompido (UNESP, 2013).

Nestes eventos, os prejuízos materiais são inúmeros. Segundo o jornal local, Ilha de Notícias (2013), em 27 de Dezembro de 2013, para tentar fazer com que a água da chuva escoasse moradores do Passeio Itú, na Zona Sul de Ilha Solteira, foram para a rua para “lutar” contra o alagamento (Figura 27) que ameaçava suas casas na tentativa de desobstruir os bueiros: “esse problema aqui é antigo. Toda vez que chove forte é assim”, disse um morador que tentava desobstruir um bueiro.

Figura 27. Moradores tentando lutar contra alagamento



Fonte: Adaptado de Ilha de Notícias (2013).

Segundo a reportagem, uma das moradoras que foi para a rua só este ano enfrentou, pelo menos, três alagamentos. Portanto, mais uma vez, a casa dela foi atingida. A rede para os escoamento da água é insuficiente em dias de fortes de chuva. O problema existe há vários anos, mas continua sem solução, concluiu a reportagem (ILHA DE NOTÍCIAS, 2013).

Em outro evento que merece destaque, uma moradora tentou retirar a água que entrou em sua casa, sem sucesso (Figura 28). Carro, sofá, guarda-roupa e vários eletrodomésticos foram danificados - "isso acontece frequentemente, sofro há mais de 10 anos e não adianta reclamar na prefeitura, nada é feito. As bocas de lobo vivem sujas e nunca são limpas. É uma vergonha", comentou ela (G1 RIO PRETO E ARAÇATUBA, 2013a).

Figura 28. Moradora tenta tirar água de dentro de casa



Fonte: Adaptado de G1 Rio Preto e Araçatuba (2013a).

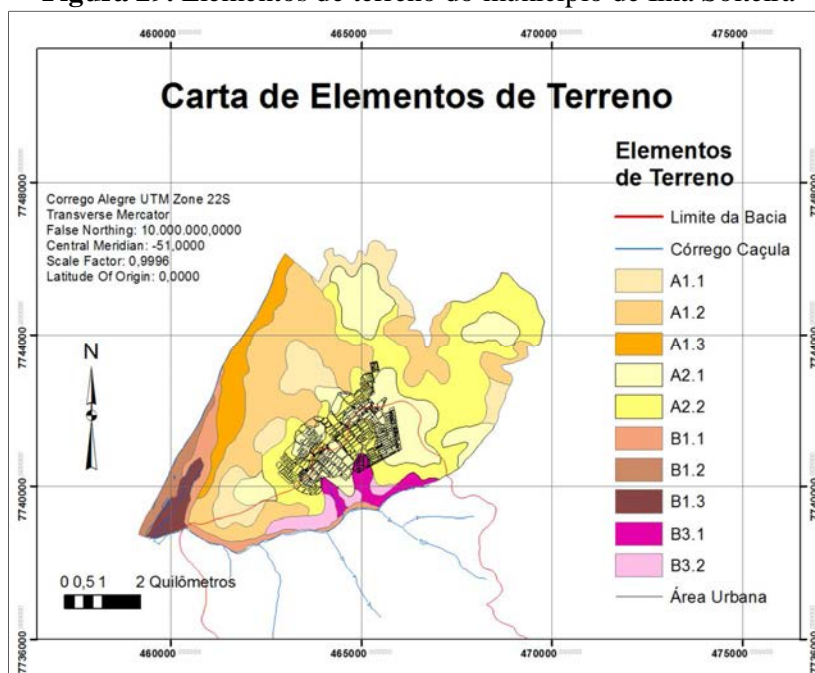
Neste mesmo temporal, outros estragos atingiram Ilha Solteira. Segundo informações do Corpo de Bombeiros (G1 RIO PRETO E ARAÇATUBA, 2013a), vários acidentes foram provocados por conta da chuva: na SP-310, um carro com três ocupantes rodou na pista e caiu no córrego da cidade; na mesma via, um caminhão bateu de frente com um carro; outro veículo foi arrastado pela enxurrada.

Ainda, segundo o jornal A CIDADE (2013) o município levou dias para se recuperar do temporal, principalmente a limpeza urbana, que foi agilizada pelo Corpo de Bombeiros e pela Prefeitura. Assim como os registros destacados acima, outros temporais possuem danos que perduram por dias até o município se reestruturar. No entanto, parece haver tentativas de treinamento por parte do Corpo de Bombeiros para enchentes e alagamentos na região (HOJE MAIS, 2014; IMPACTO ONLINE, 2015).

4.4.5 Histórico de processos erosivos na microbacia

Semelhante aos eventos de enchentes, inundações e alagamentos, descritos no item anterior, há tempo Ilha Solteira vem sofrendo com processos erosivos na área urbana e seu entorno. Segundo MN Consultoria (2009), esse processo tem origem na forma com que foram construídas as residências no município, que somado a processo de urbanização (impermeabilização), declividade do relevo e índice pluviométrico local, houve o sobrecarregamento dos pontos de descargas do sistema de galerias pluviais que lançam de forma inadequada nos talvegues receptores, ocasionando o surgimento de diversos pontos de erosão no meio urbano.

Ao mapear as formas de relevo do município de Ilha Solteira (Figura 29), Vivanco (2013) identificou que as áreas mais suscetíveis à erosão se concentram nos elementos de terreno A.1.1, A.2.1., A.2.2., B.3.1, e B.3.2., descritos por Lollo (1998), os quais se localizam na área urbana e nos limites dessa com a área de expansão, exatamente regiões com maior tendência de ocupação urbana no município. Além disso, os elementos de terreno A.2.1 e A.2.2 exibem solos de textura arenosa e perfis de solos bastante espessos, condições estas favoráveis a processos erosivos. Já os elementos B.3.1 e B.3.2, apresentam perfis de solos menos espessos e com textura média a argilosa, condições menos críticas para erosão. A unidade A.1.1 se situa nos limites da área urbana e apresenta solos arenosos, porém com camadas menos espessas o que diminui seu potencial erosivo. As características destes elementos de terreno estão detalhadas no Quadro 3.

Figura 29. Elementos de terreno do município de Ilha Solteira

Fonte: Vivanco (2013)

Quadro 3. Características dos elementos de terreno identificados

Elemento	Posição	Forma	Declividade	Textura	Espessura
A.1.1	1/3 superior	Colina com encosta convexa	5-10%	Arenosa	<7m
A.1.2	1/3 inferior	Colina com encosta retilinea	>10%	Arenosa	2-5m
A.1.3	1/3 inferior	Vale com encosta retilinea	>10%	Arenosa	<2m
A.2.1	Topo	Colina com encosta convexa	<2%	Arenosa	>20m
A.2.2	1/3 inferior	Colina com encosta convexa	2-5%	Arenosa	>10m
B.1.1	Fundo	Planície Aluvial	<2%	Arenosa	<5m
B.1.2	1/3 superior	Colina com encosta convexa	2-5%	Média	<10m
B.1.3	1/3 inferior	Vale com encosta côncava	>10%	Argilosa	<2m
B.3.1	1/3 inferior	Colina com encosta côncava	>10%	Média	<6m
B.3.2	1/3 superior	Colina com encosta convexa	5-10%	Argilosa	<10m

Fonte: Lollo (1998)

Exatamente nesse limite da área urbana, com as novas áreas loteadas, situada microbacia hidrográfica do Córrego Caçula, MN Consultoria (2009) identificou e caracterizou três processos erosivos, conceituados por “A”, “B” e “C” como apresentadas na Figura 30.

Figura 30. Localização das erosões ao norte da microbacia



Fonte: Adaptado de MN Consultoria (2009).

A erosão “A”, situada no córrego de denominação de Sem Nome, apresenta à sua montante um canal a céu aberto que por sua vez drena águas de diversas galerias. Nela, o solo da base possui certa resistência e a força das águas pluviais erodem as laterais, criando condições futuras para o desabamento de parte da área erodida (Figura 31), alargando cada vez mais a erosão nesse ponto (MN CONSULTORIA, 2009).

Figura 31. Erosão “A” em detalhe

Fonte: MN Consultoria (2009).

Nesta área, a erosão avança em direção a área pública e particular e continuará aumentando, segundo MN Consultoria (2009), que propõe a recuperação desta erosão com urgência devido ao alto grau de erodibilidade e de sua evolução. Além disso, foi verificado por MN Consultoria (2009) que a destruição das barreiras de contenção esteve atrelado, a pelo menos três fatores, como chuvas excepcionais, imprecisão do projeto e falta de manutenção.

Do mesmo modo, as barreiras construídas na erosão “B”, também foram destruídas pela ação do fluxo das águas pluviais. Já na erosão “C”, por se tratar de uma erosão margeada por mata ciliar em quase todo o trecho, a mesma não apresenta áreas tão críticas como as anteriores, que colocam em risco as vias públicas e as propriedades particulares em geral. Mesmo assim, esta erosão está localizada próxima a área da Horta Comunitária (MN CONSULTORIA, 2009) e ao Cemitério Municipal.

A recuperação dessas erosões sugeridas por MN Consultoria (2009) são obras estruturais (obras de engenharia) e obras não-estruturais, como a recuperação das margens através da cobertura vegetal, uma vez que esta vai permitir a contenção, retardamento e a infiltração, atendendo principalmente as margens limítrofes dos loteamentos Nova Ilha e Ilha Bela. Do contrário, o escoamento superficial deverá aumentar principalmente nessas áreas.

5 MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

5.1 MATERIAL

O material utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa foi:

- Documentos para caracterização física da área de estudo, contendo dados históricos de ocorrência de enchentes, inundações, alagamentos e erosões na Microbacia do Córrego Caçula;
- Cartas topográficas de Ilha Solteira (IGGSP, 1965) e Bela Floresta (IGGSP, 1967);
- *Software* Excel do pacote Office 2010 para criação de gráficos, tabelas e quadros e CorelDRAW Graphics Suite X7 para *layout* das figuras;
- Imagens do Satélite Landsat 1 e 5 (INPE, 2014a e 2014b) disponíveis gratuitamente no catálogo de imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>);
- Imagem do Satélite Landsat 8 e SRTM de 30 metros disponíveis gratuitamente no *site* da *United States Geological Survey* (USGS 2014 e 2015b) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>);
- Imagem SRTM 90 metros disponível gratuitamente no *site* Brasil em Relevo (EMBRAPA, 2013);
- Dados dos *sites* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) (<http://mapas.ibge.gov.br/>) e da Prefeitura Municipal (<http://www.ilhasolteira.sp.gov.br/>);
- HAND TerraView Hidro versão 0.4.3 (<http://www.dpi.inpe.br/~alexandre/TerraHidro/>) implementado no *software* livre TerraView 4.2.2 (<http://www.dpi.inpe.br/terraview/index.php>);
- Sistema de Informação Geográfica IDRISI Selva (EASTMAN, 2012a e 2012b) versão 17.02 (3/2013) e ArcGIS 10.2 Online;
- *Software* ENVI 5 (IDL - *Interactive Data Language*).

5.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

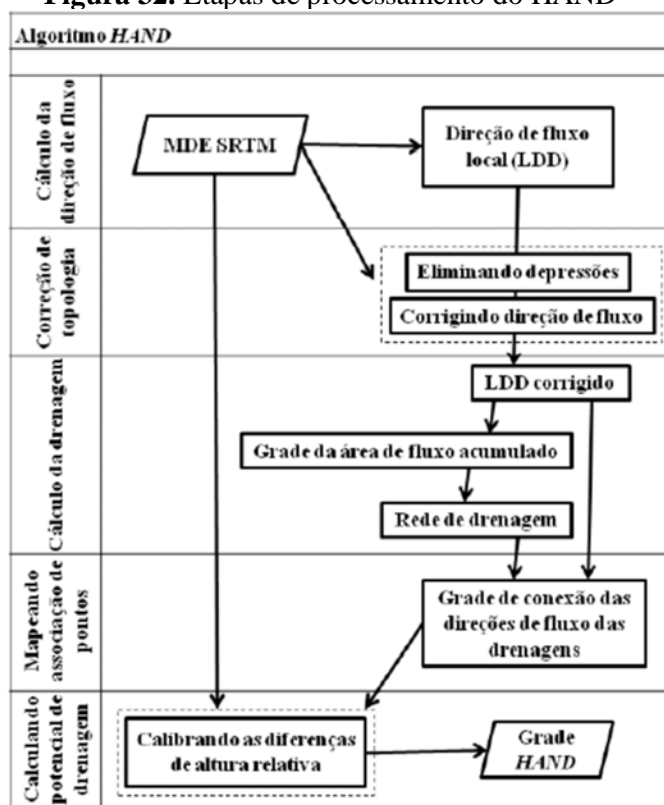
Para conhecimento das características físico-geológicas da área de estudo foram levantados dados bibliográficos da literatura correspondente, como de Lollo (1998), Lima, Silva e Altimare (2004), Rodrigues e Lollo (2004), Oliveira, Rodrigues e Lollo (2007), Cruz (2008), Santim (2010), Vivanco (2013), Lollo, Vivanco e Santos (2013), Santos (2014), Vivanco, Lollo e Lorandi (2014) e dados do IBGE e da Prefeitura Municipal.

Para o desenvolvimento prático da pesquisa foi adquirido o material necessário para montagem de um banco de dados, os quais foram tratados principalmente no TerraHidro e no SIG Idrisi Selva.

5.2.1 HAND

O tratamento dos dados para desenvolvimento e processamento do HAND foi feito no TerraHidro nas ferramentas hidrológicas, permitindo a geração do modelo da bacia hidrográfica do Córrego Caçula. As etapas de processamento do *HAND* são especificadas claramente em Rennó et al. (2008) e de forma simplificada na Figura 32.

Figura 32. Etapas de processamento do HAND



Fonte: Rennó et al. (2008) traduzido por Batista (2014).

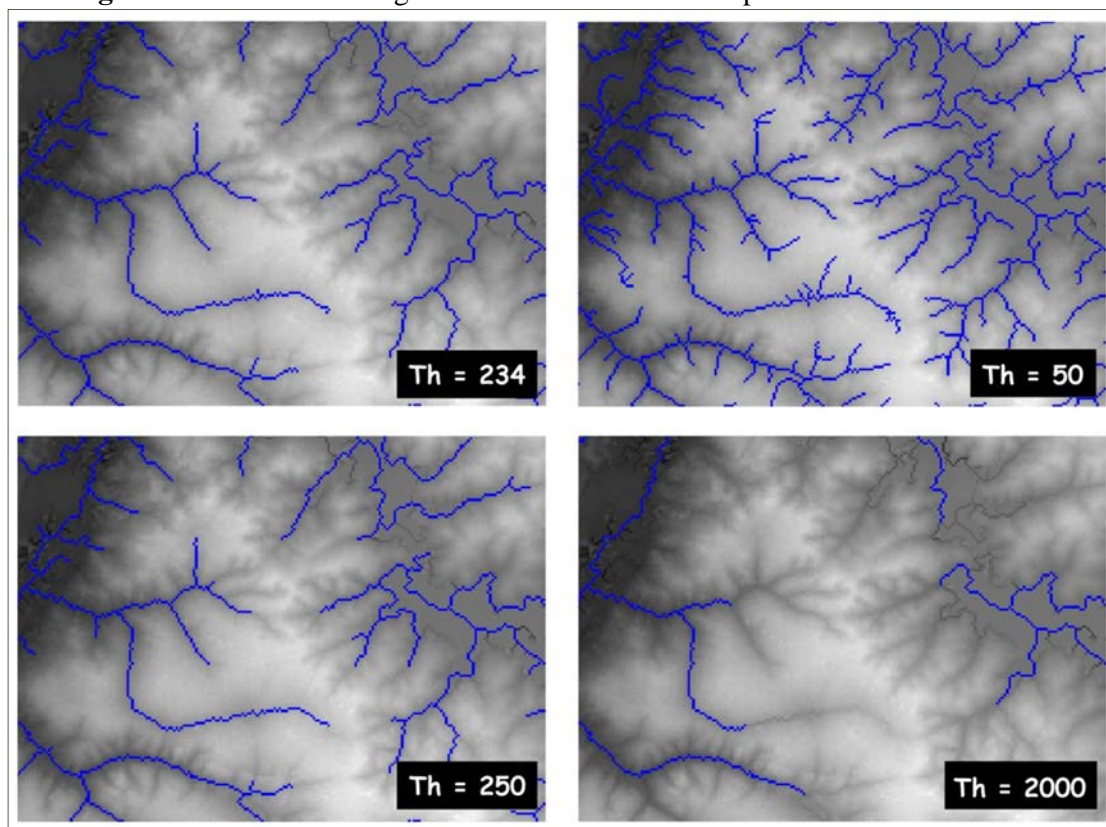
De uma maneira geral, conforme a Figura 32, o HAND tem seu ponto de partida no DEM (SRTM) onde há a computação das direções de fluxo (*Local Drain Directions – LDD*) e a correção da topologia do DEM. Em seguida, são calculadas as áreas de fluxo acumulado (*Accumulated Area Grid*), onde se obtêm a rede de drenagem (*Drainage Network*) por meio da área de fluxo acumulado e da definição de limiares (*threshold = th*) de extração da drenagem, que segundo Batista (2014) irá depender da escala de trabalho e nível de detalhe de drenagens necessário para o estudo ou aplicação.

Para seleção do limiar de drenagem, necessário para as simulações do HAND, inicialmente determinou-se a rede de drenagem a partir do HAND. Essa rede de drenagem simulada foi então comparada com a rede de drenagem do IBGE também utilizada por Santos (2014), visando identificar qual valor de limiar permite a simulação das ordens de rio de interesse para o presente trabalho. Para essa análise também foram utilizados os mapas temáticos de Santos (2014) utilizados para caracterização da área de estudo.

Toda esta etapa metodológica relativa ao HAND foi repetida para diferentes limiares de extração de drenagens, tanto para SRMT de 90m (Figura 33) quanto para SRTM de 30m (Figura 34). Os procedimentos detalhados do HAND estão descritos no Anexo 3²⁶.

Como se observa na Figura 33, os limiares testados foram 234 (valor padrão fornecido pelo *software* no momento do processamento), 50, 250 e 2000.

Figura 33. Redes de drenagem com diferentes limiares para SRTM de 90 metros



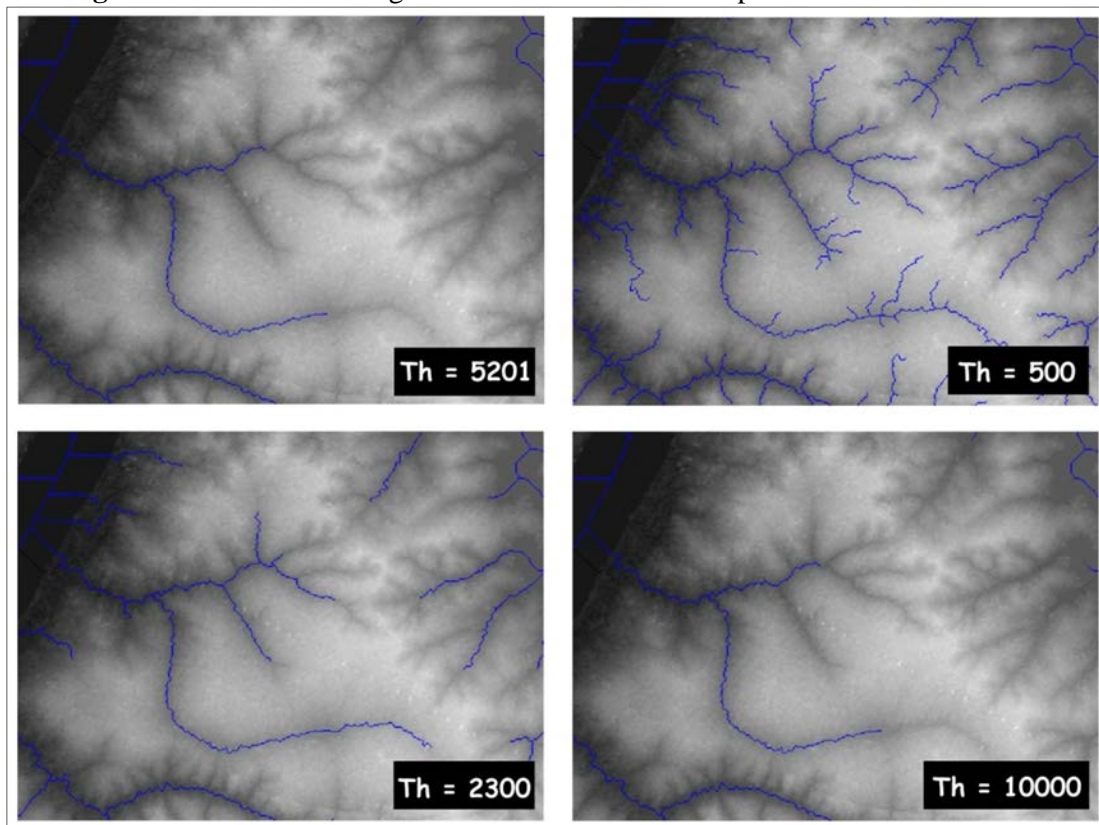
Fonte: Dados da pesquisa

Para a geração do dado utilizando a SRTM de 90m foi considerado um limiar de 250, ou seja, uma área de contribuição mínima de 250 pontos.

²⁶ Maiores detalhes matemáticos e computacionais da metodologia podem ser observados em Rennó et al. (2008), Nobre et al. (2011) e Batista (2014).

Na Figura 34, os limiares testados foram 5201 (valor padrão fornecido pelo *software* no momento do processamento), 500, 2300 e 10000. Nesta SRTM, de 30m, foi considerado um limiar de 2300.

Figura 34. Redes de drenagem com diferentes limiares para SRTM de 30 metros



Fonte: Dados da pesquisa.

Como se pode observar nas Figuras 33 e 34, quanto menor o limiar de extração de drenagem, maior quantidade de drenagens representadas. Após a seleção do limiar, foi rodado o modelo HAND para a Microbacia do Córrego Caçula.

O HAND possui valores numéricos que podem ser fatiados em classes. Por isso, gerada a imagem HAND, esta é exportada em formato *geotiff* e através do *software* ENVI 5 (IDL – *Interactive Data Language*), linguagem onde foi inicialmente construído o algoritmo HAND, descrito em Rodrigues et al. (2011), é feito o fatiamento da imagem para definir a área de inundação. Com a classificação, se obteve um mapa com 4 classes, segundo a metodologia proposta por Rennó et al. (2008).

No entanto, na análise dos resultados obtidos, foi verificado que a declividade não é fator determinante para esta área de estudo, por isso, foi desconsiderada²⁷. Outra correção foi referente às imagens SRTM. Em ambas nota-se que existe um erro sistemático referente ao valor digital dos pixels na área de estudo, fato que acentuou os erros dos resultados do HAND.

Esse mesmo erro sistemático, verificado na carta de declividade de Santos (2014), apresentada na Figura 22, é chamado de “vóids” ou “ruídos”, que são vazios ou pontos que não contêm dados de elevação. Segundo DG Advanced (2015), isso acontece devido à má dispersão do radar e em alguns lugares estes vazios podem “perturbar” claramente a percepção do terreno.

Para corrigir este erro, as imagens SRTM (de 90 e 30m) foram interpoladas utilizando o ENVI e os procedimentos automáticos da modelagem do HAND foram todos refeitos. A comparação dos resultados também será apresentada no item “Resultados e Discussão”.

Para a área de estudo, foram determinadas nesta pesquisa 3 classes do modelo HAND. Após, no Idrisi Selva, foram realizados os cruzamentos da área de inundação com as classificações de uso e cobertura da terra. Para isso, foi utilizado o módulo CROSSTAB, em *GIS Analysis, Database Query*. Esta operação realiza uma tabulação cruzada, entre dois ou três mapas.

A esta espacialização, foram associadas informações preexistentes, com as quais foi possível elaborar uma análise preliminar de riscos, de modo a possibilitar ao gestor a tomada de decisão quanto a futuros investimentos em programas de redução de danos.

5.2.2 Criação do banco de dados no SIG Idrisi Selva

Para criação do banco de dados foram escolhidas imagens dos satélites Landsat para os anos de 1975, 1994 e 2014.

Entre o período de 1973 a 1976, a cena de 25/04/1975 era a melhor que havia no catálogo de imagens do INPE, sendo que não havia nenhuma passagem do satélite para o ano de 1974. Assim, o ano de 1975 foi escolhido por ser a data mais próxima da implantação do núcleo urbano de Ilha Solteira (a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira foi inaugurada, segundo Sávio (2011), em 1974).

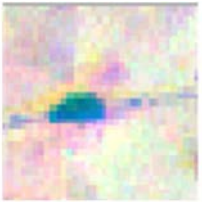


²⁷ Os resultados serão apresentados no item “Resultados e Discussão”.

Por conta da restrição encontrada para o ano de 1975, foi padronizado o mês de Abril, tanto para o ano de 1994 como para 2014, a fim de evitar possíveis erros de classificação devido à mudança sazonal na vegetação.

A escolha do ano de 1994 é que divide a série temporal escolhida. A cena de 27/04/1994 apresentava-se com boa qualidade e baixa cobertura de nuvens de forma a permitir uma classificação de usos fiel à realidade da época.

Para o ano de 2014 foi escolhida a cena de 02/04/2014. O ano de 2014 é devido ser do momento desta pesquisa. As informações destas cenas estão sintetizadas no Quadro 4.

Quadro 4. Características dos satélites Landsat

	Landsat 1	Landsat 5	Landsat 8
Período de Operação	1972-1978	1984 - 2013	2013 - em atividade
Bandas (Resolução Espacial)		1 (0,45 - 0,52 μm)	1 (0,43 - 0,45)
		2 (0,52 - 0,61 μm)	2 (0,45 - 0,51)
		3 (0,63 - 0,69 μm)	3 (0,53 - 0,59)
	4 (0,5 - 0,6 μm)	4 (0,76 - 0,90 μm)	4 (0,64 - 0,67)
	5 (0,6 - 0,7 μm)	5 (1,55 - 1,75 μm)	5 (0,85 - 0,88)
	6 (0,7 - 0,8 μm)	6 (10,4 - 12,5 μm)	6 (1,57 - 1,65)
	7 (0,8 - 1,1 μm)	7 (2,08 - 2,35 μm)	7 (2,11 - 2,29)
			8 (0,50 - 0,68)
			9 (1,36 - 1,38)
			10 (10,60 - 11,19)
			11 (11,50 - 12,51)
Sensor	MSS e RBV	MSS e TM	OLI e TIRS
Órbita	239	222	222
Ponto	74	74	74
Data da passagem	25/04/1975	27/04/1994	02/04/2014
Resolução espacial	80 m	30 m	30 m
Projeção cartográfica	UTM	UTM	UTM
Datum	WGS84	WGS84	WGS84
Formato	GeoTiff	GeoTiff	GeoTiff
Fonte	INPE	INPE	USGS
Composição	R7G5B4	R4G3B2	R5G4B3
Resultado da composição			

Fonte: Adaptado de Santos (2013) e USGS (2013).

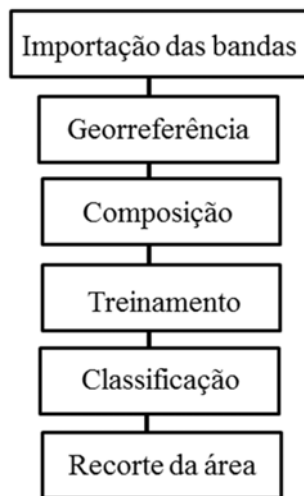
Para o Landsat 1 foi escolhida a composição R7G5B4 pois o satélite apresenta somente as bandas 4, 5, 6 e 7, sendo as bandas 6 e 7 do infravermelho próximo.

Para o Landsat 5 foi escolhida a composição R4G3B2, pois com a banda 4 (infravermelho próximo) os limites entre o solo e a água são mais definidos que a combinação R3G2B1 (composição colorida, real/natural). Os corpos d'água com sedimentos em suspensão aparecem em tonalidade azul clara e, os com poucos sedimentos em suspensão, em azul escuro. As áreas urbanas e o solo exposto aparecem em tonalidades de azul esverdeado. A banda 4 (filtro vermelho) é bastante sensível à clorofila, permitindo que se observem variações da vegetação, que aparecem em tonalidades de vermelho.

Para o Landsat 8 foi escolhida a composição R5G4B3 (infravermelho próximo) pois é a que corresponde a composição R4G3B2 do Landsat 5.

Deste modo, a partir da sequência de procedimentos básicos representados na Figura 35, foram elaboradas as classificações de uso e ocupação da terra para os anos históricos de interesse. Os procedimentos foram desenvolvidos no SIG Idrisi Selva de acordo com o APÊNDICE A.

Figura 35. Sequência de procedimentos utilizada na classificação das imagens



Fonte: Dados da pesquisa.

Vale destacar que a técnica empregada para a classificação da imagem foi a classificação supervisionada. A escolha desta classificação se deu porque em trabalho anterior, Santos (2014) testou na mesma área de estudo a classificação não supervisionada (onde são agrupados os pixels, segundo as suas características espectrais sem a influência do intérprete) e os resultados não foram adequados aos reconhecimentos das classes de uso de

interesse, pois apresentou confusão entre os usos, não obtendo assim, uma classificação fiel do uso e ocupação da terra.

No SIG Idrisi, a classificação supervisionada foi feita segundo Piroli (2010b), onde as coberturas do solo são identificadas e diferenciadas umas das outras pelo seu padrão de resposta espectral. Nesta classificação definem-se as assinaturas espectrais das categorias de uso conhecidas, e o aplicativo associa cada *pixel* da imagem à assinatura mais similar. Além disso, para que o *software* efetue este procedimento, necessita-se da definição de áreas de treinamento contendo os padrões que se deseja classificar.

Ainda segundo Piroli (2010b), as áreas de treinamento são delimitadas por polígonos desenhados sobre cada uso da terra na imagem. Estes polígonos devem ter o mesmo identificador para cada classe de uso.

Assim, após a obtenção das áreas de treinamento, foi utilizado o módulo MAKESIG do Idrisi para realizar a extração da assinatura espectral do conjunto de amostras. Para a classificação das imagens utilizou-se o algoritmo da máxima verossimilhança (MAXLIKE) que é o mais utilizado em classificação do uso e cobertura da terra por meio de imagens orbitais (COSTA; MARCO JÚNIOR; BRITES, 2005).

O “MAXLIKE” é um método considerado paramétrico, pois envolve parâmetros (vetor média e matriz de covariância) da distribuição gaussiana multivariada e supervisionado, pois estima estes parâmetros através das amostras de treinamento. Esse método considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. A distribuição de valores de refletância em uma área de treinamento é descrita por uma função de densidade de probabilidade, desenvolvida com base na estatística Bayesiana. Assim, esse classificador (MAXLIKE) avalia a probabilidade de um determinado pixel pertencer a uma categoria a qual ele tem maior probabilidade de associação (GUIDOLINI; PEDROSO; ARAÚJO, 2013).

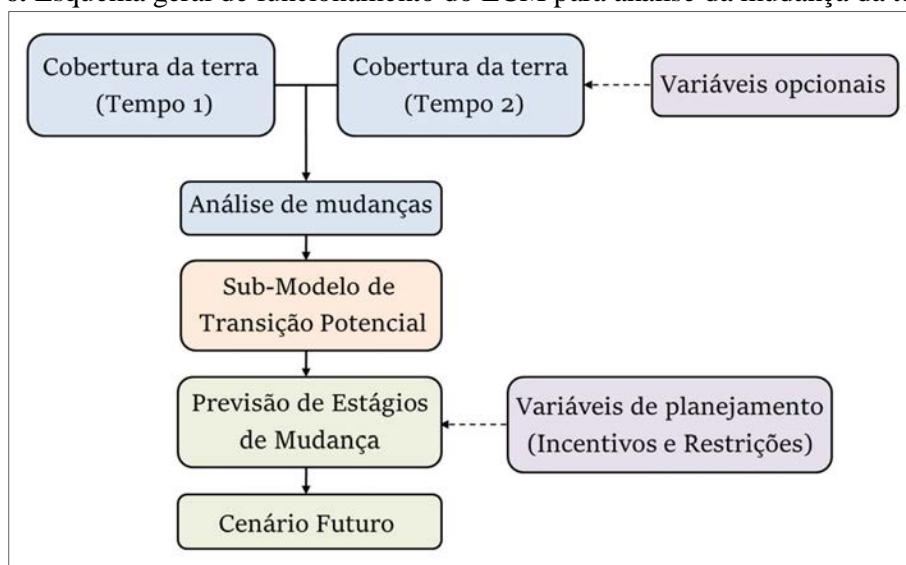
No entanto, até com esse tipo de classificação obtêm-se erros. Segundo Silva e Pereira (2007) mesmo que o desempenho da classificação dependa da capacidade de reconhecer as feições e da experiência do intérprete com a área de estudo, qualquer tipo de classificação está sujeita a erros, uma vez que o método simplifica a complexidade da imagem. Além disso, muitas vezes, as classes predefinidas são incompletas e apenas as características espectrais são consideradas pelo classificador.

5.2.3 Módulo LCM do SIG Idrisi Selva

As técnicas utilizadas para criação de cenários considerando dados históricos foram feitas baseadas nos trabalhos de Oñate-Valdivieso e Sendra (2010) e Huong e Pathirana (2013) e a validação da classificação recente (ano de 2014) foi feita com os dados oriundos de Santos (2014).

Para a previsão de mudanças, feita a partir da comparação de mapas de cobertura da terra, de duas datas distintas, é apresentado na Figura 36, o esquema geral do módulo LCM do Idrisi Selva.

Figura 36. Esquema geral de funcionamento do LCM para análise da mudança da terra



Fonte: Adaptado de Eastman (2012a, 2012b).

A partir da entrada dos mapas de cobertura da terra dos tempos 1 e 2, bem como de variáveis opcionais, o usuário constrói um sub-modelo de transição potencial baseado na análise de mudanças, isso é, nas transições das classes de cobertura de interesse (EASTMAN, 2012a, 2012b).

No módulo de análise de mudança são quantificadas e espacializadas algumas informações que permitem melhor entendimento sobre as mudanças da cobertura da terra, além das áreas de persistência, perdas e ganhos para cada classe de cobertura. A partir desta análise, tais informações permitem entender como se dá a dinâmica de mudança de cobertura, que serão utilizadas no módulo seguinte onde são definidas as transições potenciais (EASTMAN, 2012a, 2012b).

No sub-modelo de transição, é possível gerar as transições potenciais que tratam da alocação das mudanças, no tempo e no espaço. Nesta etapa, são definidas as classes de que se tem interesse em modelar. Além disso, de forma adicional, o modelo permite a incorporação de variáveis de restrições e incentivos (EASTMAN, 2012a, e 2012b).

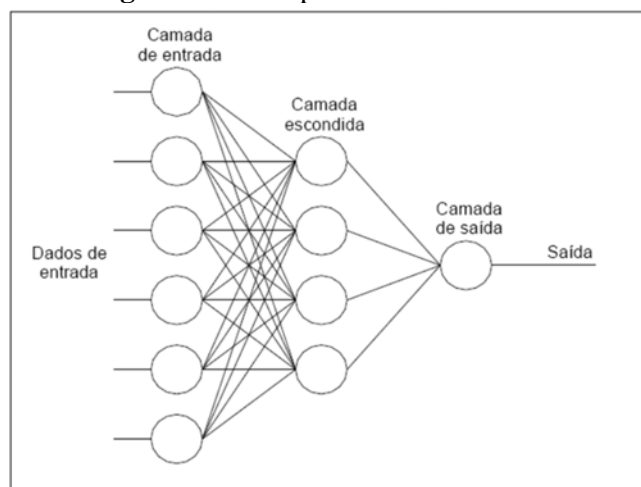
Como por exemplo, as áreas de proteção permanente, podem ser consideradas variáveis restritivas às mudanças de cobertura da terra; nesse caso, mesmo que a tendência modelada seja de mudança, é possível restringir essa tendência configurando essas áreas como variáveis restritivas. Por outro lado, as variáveis de incentivos, como projetos de implantação de rodovias, por exemplo, possibilitam um maior potencial de mudança (EASTMAN, 2012a, 2012b).

Ainda nesta etapa, é feita a modelagem da alocação de mudança utilizando-se uma das opções fornecidas pelo modelo. As opções que existem são: uma rede neural multicamadas (*Multi Layer Perceptron Neural Network* – MLPNN), SimWeight e Regressão Logística (EASTMAN, 2012a e 2012b). Nesta pesquisa foram testadas as três opções, mas será apresentada apenas a que se obteve a partir das redes neurais, por ter tido maior acurácia frente aos demais métodos²⁸.

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) se baseiam em uma técnica de inteligência artificial que surgiu como uma tentativa de simular parcialmente o funcionamento do cérebro humano, ou seja, são modelos matemáticos que tentam imitar o funcionamento das estruturas de redes neurais biológicas. Por ter uma variada aplicação e capacidade de processamento, vem sendo aplicado em dados obtidos por sensoriamento remoto (BELUCO, 2002).

Nesse sentido as RNAs mais utilizadas no sensoriamento remoto, é o perceptron multicamadas, do inglês *Multi Layer Perceptron* (MLP), cuja rede é constituída por várias unidades interligadas, as quais estão organizadas em camadas (Figura 37). Assim, as entradas das unidades de uma camada são saídas das unidades da camada anterior (REBOUÇAS; SOUSA; PIRES, 2015).

²⁸ Os Resultados serão apresentados no item “6.3.3.1 Potenciais de transição”.

Figura 37. Perceptron de Multicamada

Fonte: Rebouças, Sousa e Pires (2015).

Como observado, a primeira camada é a de entrada, e tem por finalidade repassar os padrões de entrada para os neurônios intermediários, não havendo, em geral, a realização de cálculos. A segunda camada é chamada de camada intermediária, “escondida” ou “oculta”. O número de elementos dessa camada é um fator significativo tanto para a acurácia dos resultados da rede como para a convergência do processo de treinamento. Isso porque nessa etapa acontecem os processamentos, que são transmitidos por meio de conexões entre as camadas de entrada e saída. Cada conexão tem um peso específico. Na terceira camada (camada de saída), as informações das camadas ocultas são recebidas, e são apresentados os dados de saída (BELUCO, 2002).

Em seguida, se tem como saída do sub-modelo, as áreas de transição potencial para cada uma das classes de interesse estabelecidas na construção do sub-modelo. A partir destes resultados, o módulo de predição de mudança utiliza essas informações para realizar a modelagem, que se dá pela Cadeia de Markov.

O LCM utiliza as Cadeias de Markov para predição das mudanças futuras. Segundo Eastman (2012a e 2012b), um processo Markoviano é aquele em que o estado de um sistema pode ser determinado sabendo-se o seu estado anterior. Nesse caso, as probabilidades de transição expressam a probabilidade que um pixel de uma determinada classe irá mudar para qualquer outra classe (ou permanecer a mesma) no próximo período de tempo, considerando as duas imagens de cobertura da terra, de datas diferentes, inseridas no processo inicial da modelagem. Além disso, nesta etapa, a alocação da mudança pode ser realizada por meio do

método *soft prediction* (vulnerabilidade à mudança) e ou pelo método *hard prediction* (cenário de mudança).

Nesta pesquisa, os mapas de uso da terra da Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula, dos anos de 1975 e 1994, feitos conforme a sequência de procedimentos descritos no Apêndice A, foram inseridos no módulo *Land Change Modeler*, do SIG Idrisi Selva e os procedimentos foram feitos conforme Eastman (2012a, 2012b). Estes procedimentos estão detalhados no Apêndice B.

Para criação de cenários futuros utilizando o LCM, Eastman (2012a, 2012b) recomenda realizar uma calibração do modelo com cenas históricas. Neste projeto isso foi feito com os mapas de uso da terra dos anos de 1975 e 1994 e, a projeção foi para o ano de 2014. Em seguida, foram comparados os resultados do LCM com o mapa de cobertura da terra de 2014, para validação do modelo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 RESULTADOS DA MODELAGEM HAND

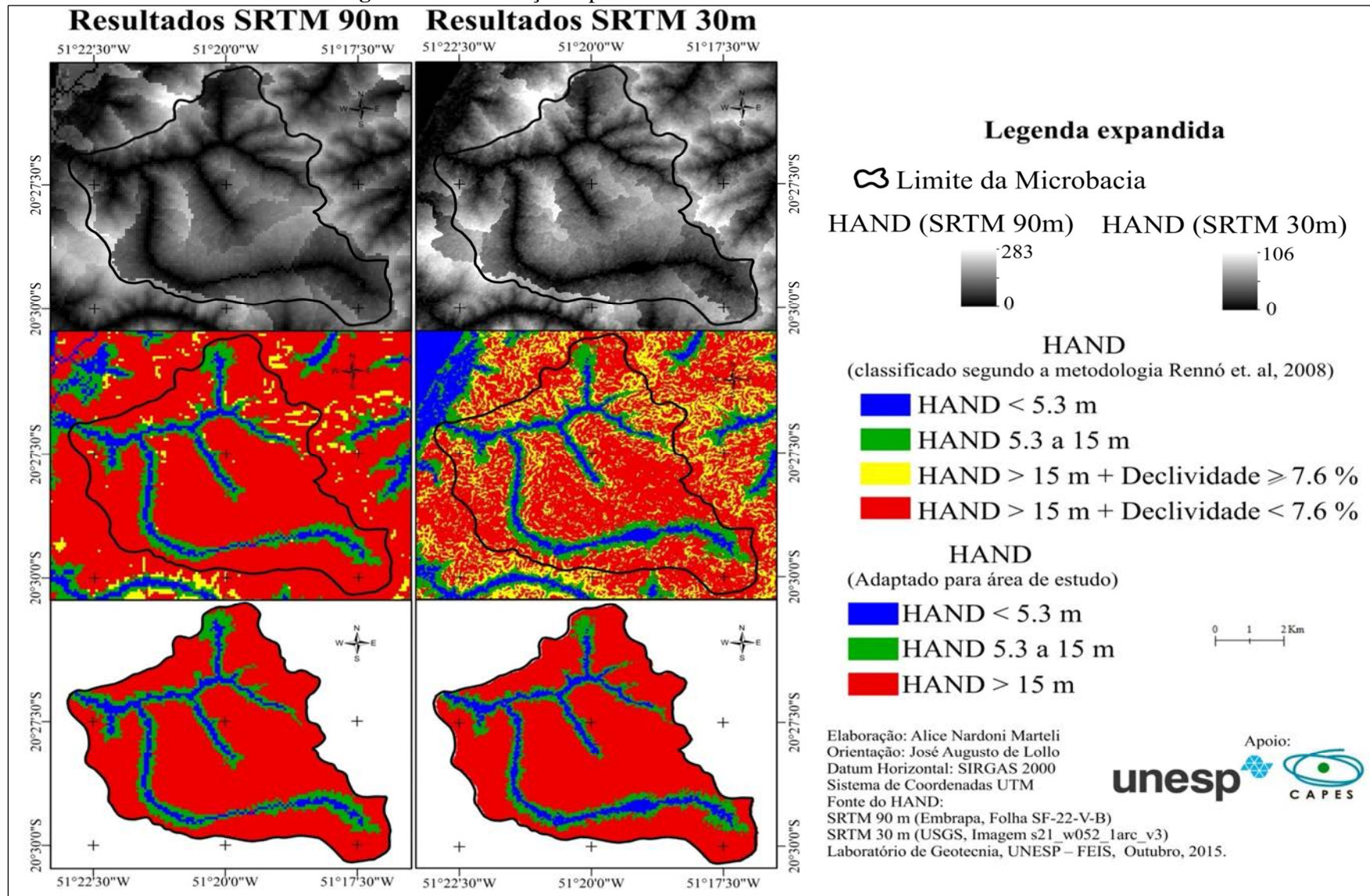
Ao registrar a altura acima da drenagem mais próxima, o HAND permite identificar as áreas mais planas, que por sua vez, estariam sujeitas a processos de enchentes e inundação nos períodos de cheia (RENNÓ et al., 2008). Indiretamente, os dados obtidos pelo HAND estão relacionados com a profundidade do nível freático, que por sua vez, indica a disponibilidade da água do solo (RENNÓ et al, 2008; PIRES; BORMA, 2013; INPE, 2015). Por isso, foram testados os dados SRTM-DEM de 90 e 30 metros, e os resultados da área classificada com o modelo HAND estão apresentados na Figura 38.

Como se observa, onde o HAND apresenta valores pequenos de distância vertical (próximos à zero), é indício de regiões cujo freático está próximo à superfície e, portanto, o solo se encontra em condições próximas à saturação. Já onde se observa valores altos de distância vertical, identificam as regiões com nível freático profundo, ou seja, áreas bem drenadas (RENNÓ et al, 2008; PIRES; BORMA, 2013; INPE, 2015).

Nos mapas de HAND classificados segundo Rennó et. al, (2008), a primeira classe (azul) representa ambientes onde o nível freático está à superfície do solo ou muito próximo dela, sendo normalmente denominados baixios. A segunda classe (verde) representa ambientes de transição com nível freático raso, denominada ecótono. Já a terceira e quarta classe representa aqueles ambientes cujo nível freático é suficientemente ou bastante profundo e engloba dois ambientes: o primeiro mais declivoso denominado vertente (amarelo) e o segundo mais plano denominado platô (vermelho).

Nos mapas onde a classificação do HAND foi adaptada, foi desconsiderada a declividade, mas a lógica permaneceu a mesma: a primeira classe (azul) representa ambientes onde o nível freático está à superfície do solo ou muito próximo; a segunda classe (verde) representa ambientes de transição com nível freático raso; e a terceira classe (vermelho) representa aqueles ambientes cujo nível freático é suficientemente profundo.

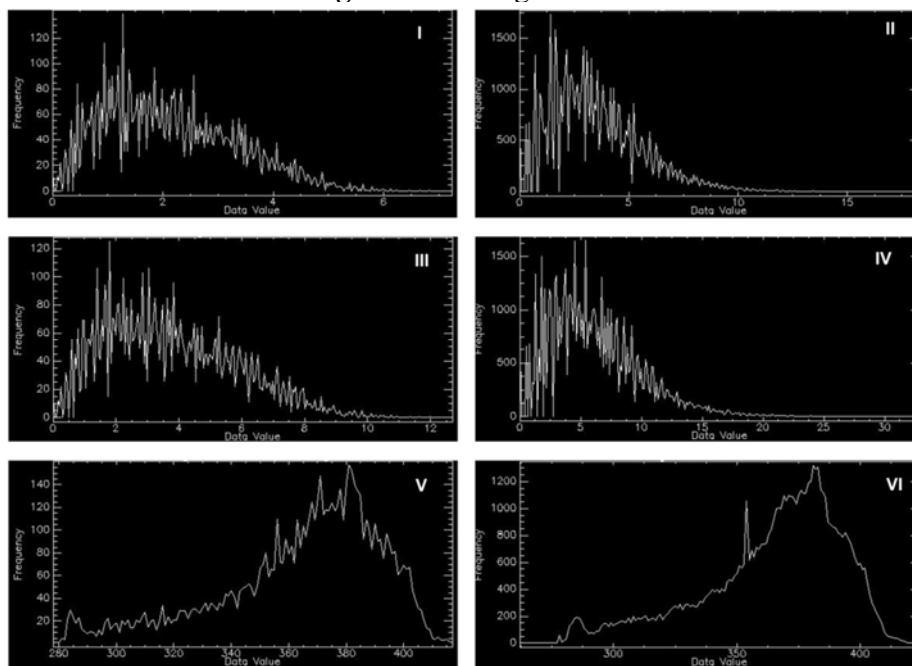
Figura 38. Distribuição espacial da área classificada com o modelo HAND



Fonte: Dados da pesquisa

Como se observa, na classificação segundo a metodologia de Rennó et. al, (2008), a declividade para esta área de estudo não é significativa, por isso a mesma foi desconsiderada, fato este que pode ser confirmado na Figura 39, onde tanto para a SRTM de 90m quanto para de 30m, a frequência dos pixels diminuem com o aumento da declividade (apresentada tanto em graus quanto em porcentagem). Além disso, a partir da análise dos histogramas do relevo (V e VI), os dados refinados da SRTM de 30m foram melhores representados.

Figura 39. Histogramas

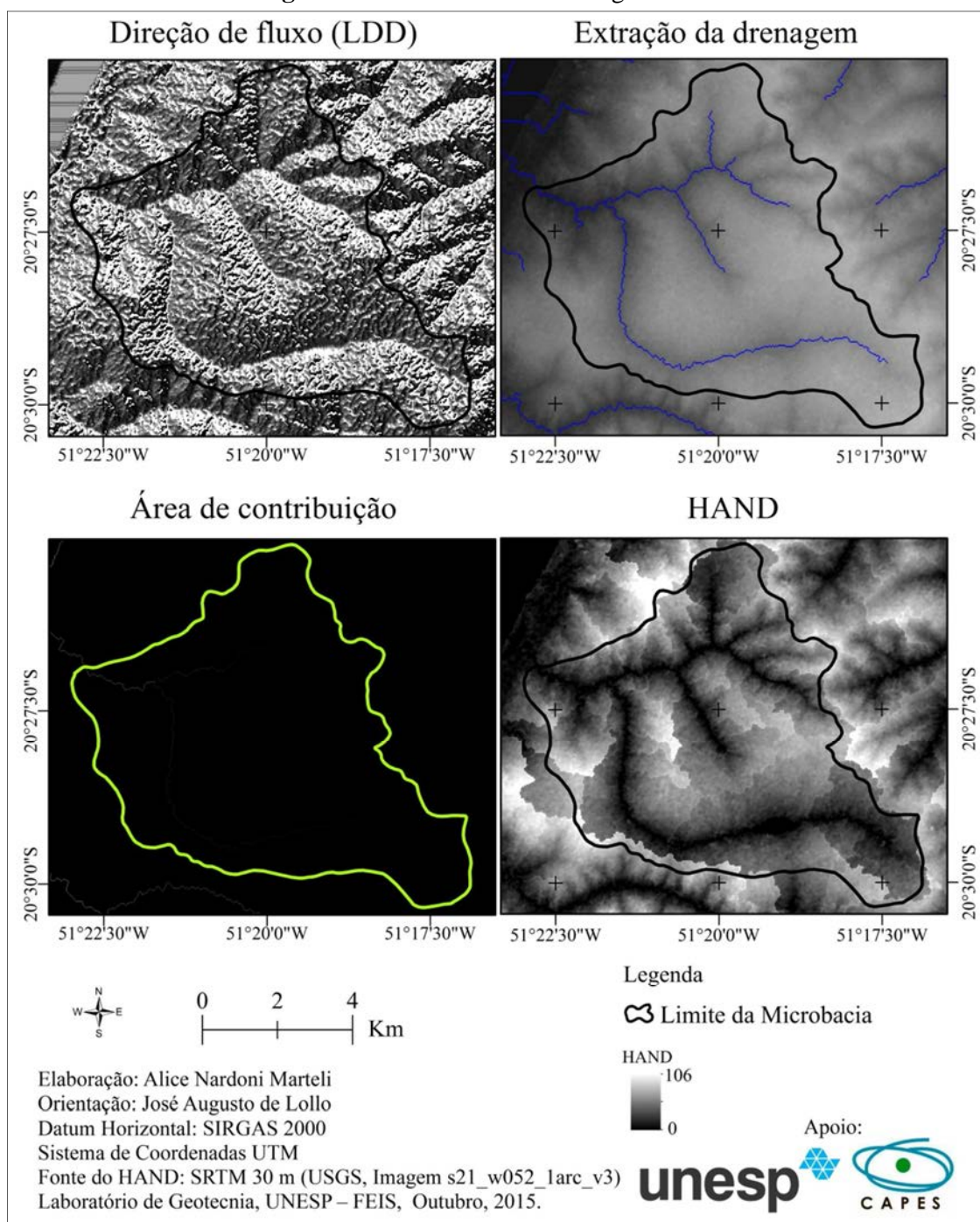


I – Histograma de declividade (em graus) da SRTM de 90m; II – Histograma de declividade (em graus) da SRTM de 30m; III – Histograma de declividade (em porcentagem) da SRTM de 90m; IV – Histograma de declividade (em porcentagem) da SRTM de 30m; V – Histograma do relevo (altitude) da SRTM de 90m; VI – Histograma do relevo (altitude) da SRTM de 30m.

Fonte: Dados da pesquisa

Nesse sentido, para este trabalho, foram considerados para análises os dados do HAND da SRTM de 30m. Na Figura 40 são apresentados os resultados intermediários ao HAND, que são obtidos na sequência dos procedimentos para modelagem do mesmo. Cabe ressaltar na figura, a extração de drenagem, onde a SRTM está corrigida (isenta de ruídos) para o limiar de 2300.

Figura 40. Resultados da modelagem HAND

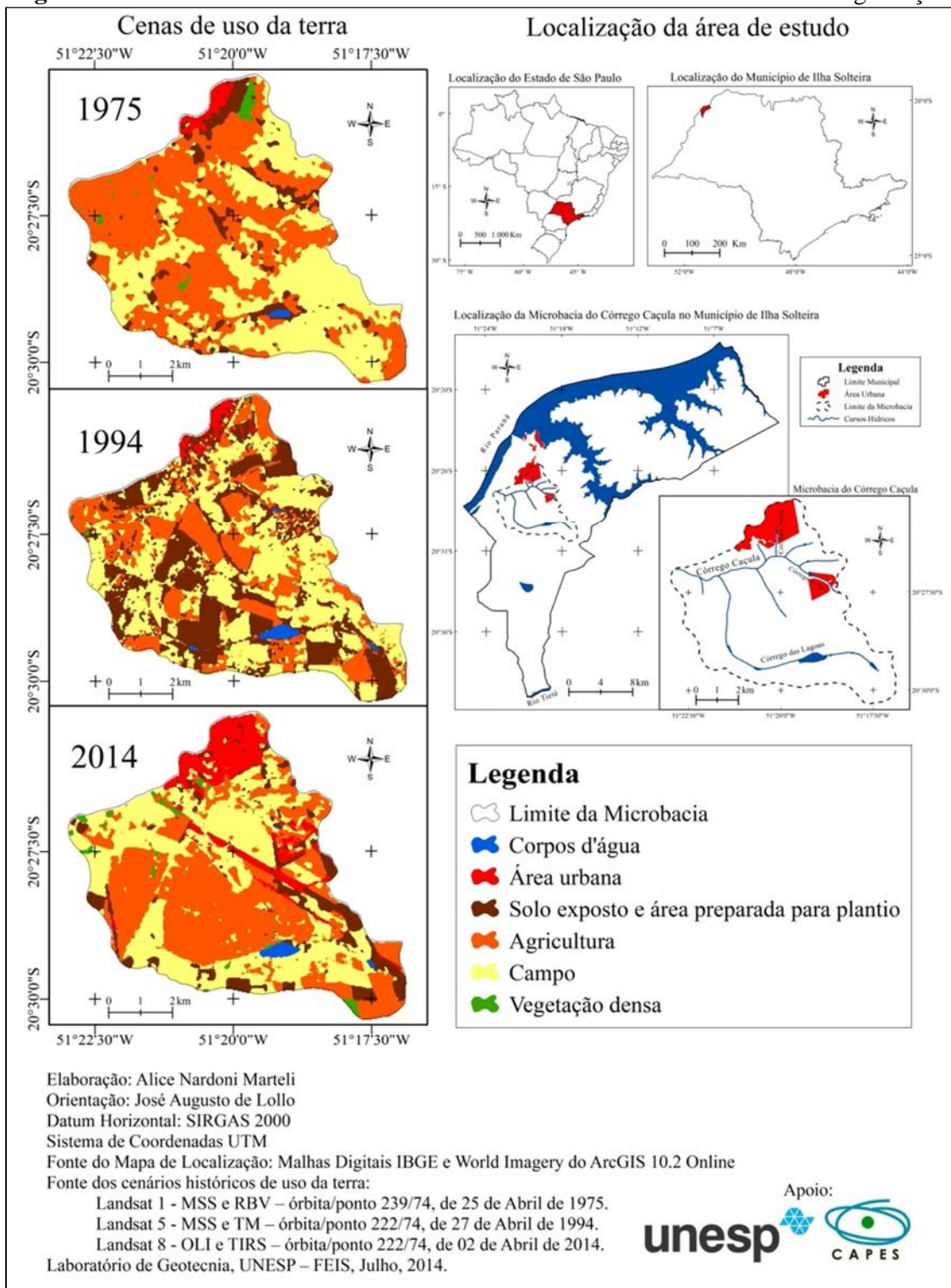


Fonte: Dados da pesquisa

6.2 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CAÇULA – MUDANÇAS DE 1975 A 2014

Os mapas de uso da terra mostraram um aumento significativo da expansão urbana do município no norte da microbacia do Córrego Caçula. Na espacialização das cenas históricas (Figura 41), observou-se no ano de 1975 um pequeno fragmento de mancha urbana ao norte da microbacia.

A partir de 1994 podem-se notar traços de estradas próximas à área urbana (Rodovia Gerson Dourado de Oliveira, também conhecida por “Barrageiros”) e uma ocupação no Córrego do Ipê, atual bairro rural. Em 2014, tal expansão fica mais evidente, e se observa a presença da Rodovia Feliciano Salles da Cunha como “urbano”.

Figura 41. Resultados das cenas históricas do uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula

Fonte: Dados da pesquisa

A área da microbacia é de 56,0115 km². Destes, 34,2414 km² de área sofreram mudanças, enquanto 21,7701 km² mostraram persistência dos usos.

De 1975 para 2014 houve um aumento de 4,7736 km² de área urbana na microbacia do Córrego Caçula. O solo exposto e área preparada para plantio teve um aumento no período de 1975 a 1994, mas decaiu no período de 1994 a 2014. Isto está diretamente relacionado a prática agrícola na microbacia, pois no mesmo período que o solo exposto aumentou a classe da agricultura diminuiu e, no período seguinte a área de solo exposto diminuiu e a classe de agricultura aumentou. No entanto, a área de agricultura na microbacia teve uma redução no período de 1975 a 2014 de 4,1994 km².

A classe denominada campo, composta por pastagens e vegetação rasteira teve diminuição gradativa ao longo do período de 1975 a 2014. A vegetação densa diminuiu de 0,6192 km² em 1975 para 0,1161 km² em 1994, mas entre 1994 a 2014 houve uma recomposição das áreas, aumentando para 0,7011 km².

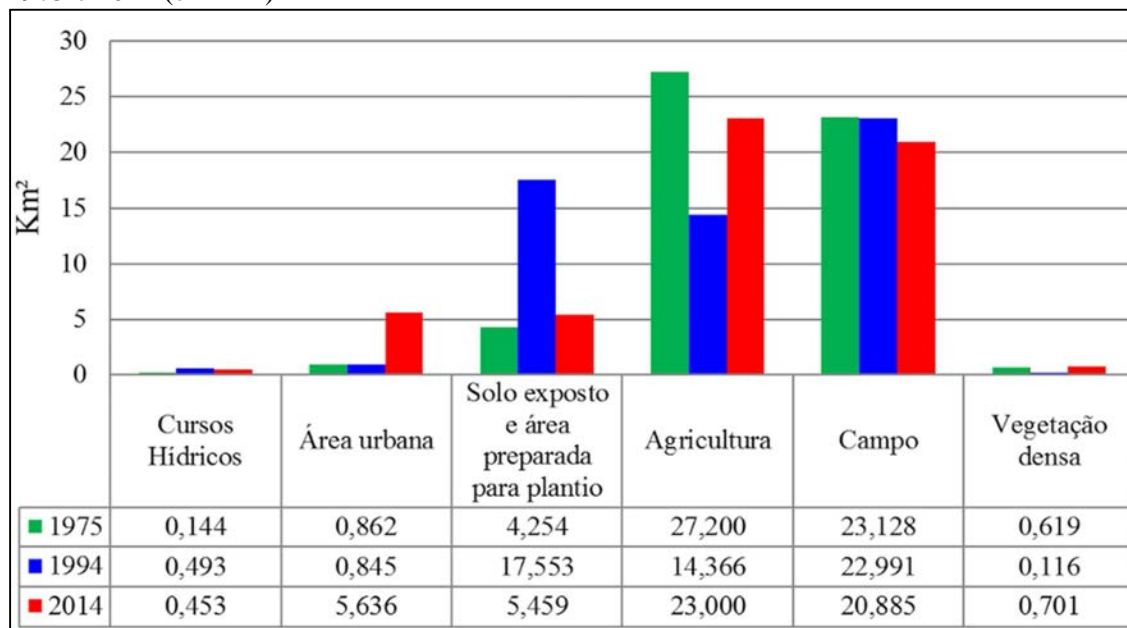
Quanto aos cursos hídricos, em teoria não deveria apresentar grandes variações. O que se observa é que houve um aumento significativo de 1975 para 1994. Isso pode estar relacionado à imagem de satélite de 1975, que embora reamostrada para uma resolução de 30m, a qualidade continua sendo inferior às demais. Por isso, os corpos d'água não foram representados na imagem do satélite Landsat 1, tão bem quanto se comparado às imagens dos satélites Landsat 5 e 8 (das imagens de 1994 e 2014 respectivamente). Assim, ao calcular a área nota-se o aumento da área desta classe no primeiro período avaliado.

No segundo período, de 1994 a 2014 a diferença pode estar relacionada à reflectância dos alvos, que pode ter classificado algum pixel equivocadamente, pois uma classificação supervisionada também apresenta erros, mesmo que as cenas históricas sejam do mesmo período anual (que em teoria deveria ter um comportamento sazonal parecido).

No entanto, mesmo em função do aumento de solo exposto e área preparada para plantio em 1994, pode-se dizer que desde o ano de 1975 a microbacia é predominantemente agrícola, sendo atualmente ocupada pela cultura da cana-de-açúcar.

A distribuição do uso e ocupação da terra na microbacia do Córrego Caçula, ao longo dos anos, pode ser melhor observado na Figura 42.

Figura 42. Uso e ocupação da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre 1975 e 2014 (em km²)

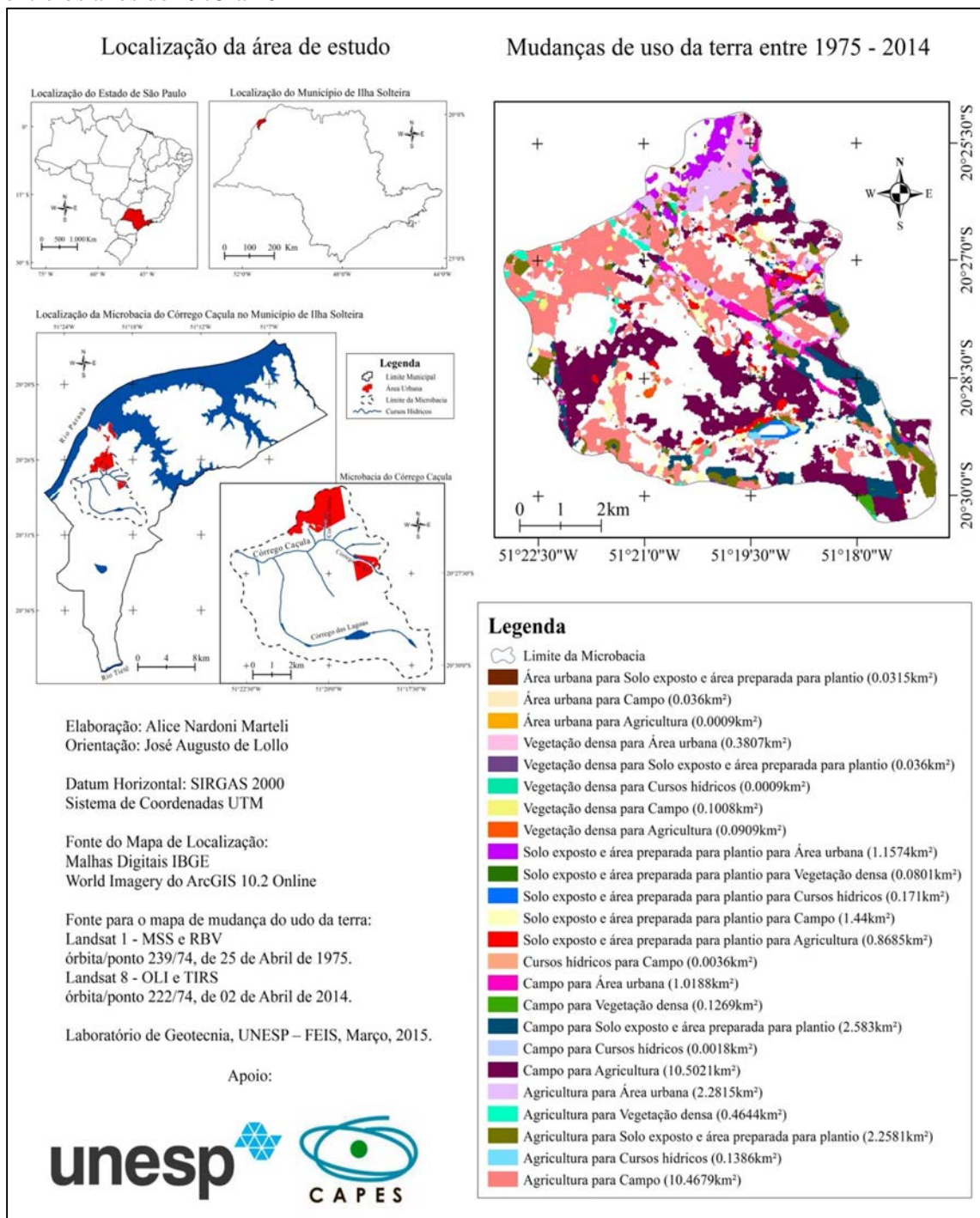


Fonte: Dados da pesquisa

Ao espacializar as classes de uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula se obtiveram todas as mudanças ocorridas no período de 1975 a 2014, bem como a persistência dos usos da terra.

As mudanças mais significativas ocorridas de 1975 a 2014 são as mudanças de campo para agricultura e agricultura para campo, ambas com aproximadamente 10,5 km². Também é possível verificar campo e agricultura mudando para solo exposto e área preparada para plantio e, estas classes de uso mudando para área urbana. Outras mudanças menos significativas são apresentadas no mapa de mudanças do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 2014 (Figura 43).

Figura 43. Mapa de mudanças do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 2014



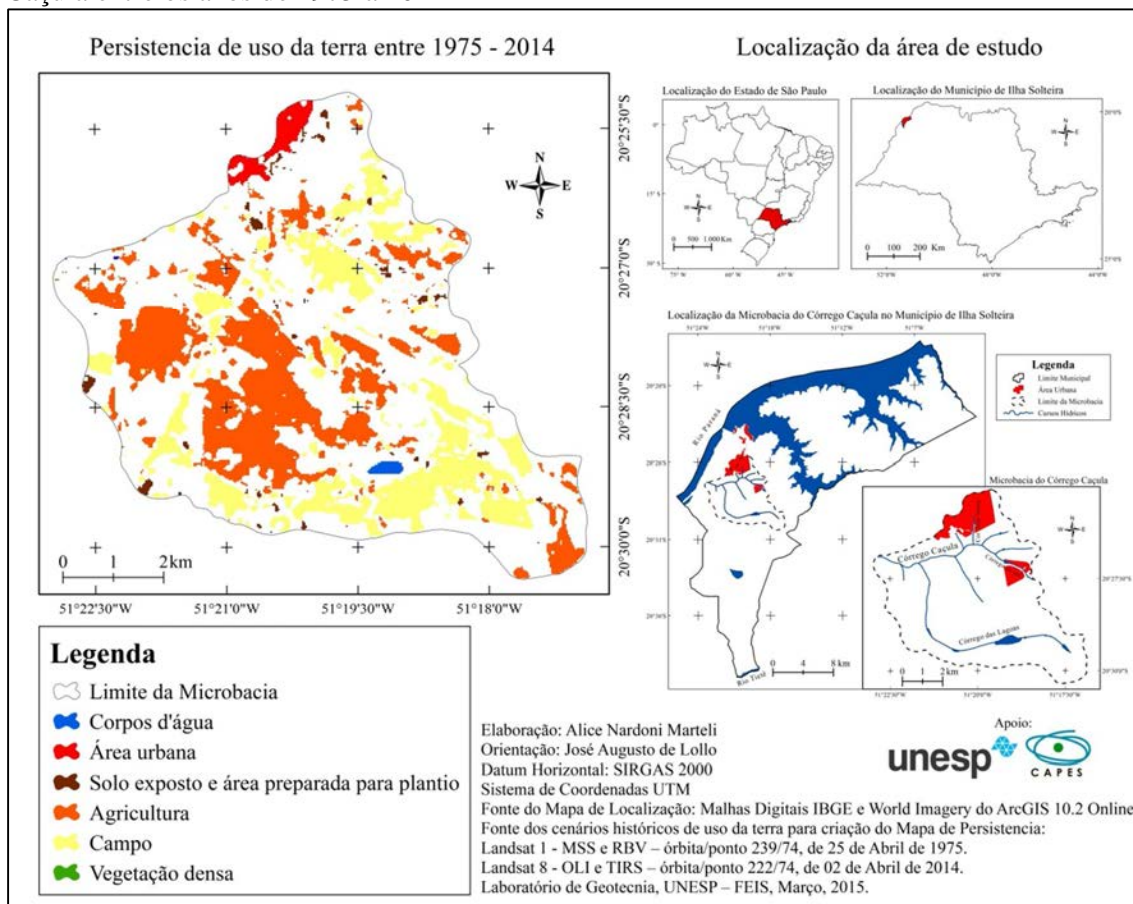
Fonte: Dados da pesquisa

Como observado na Figura 43, há áreas que foram identificadas com mudanças de área urbana para outros usos. Isso na prática não faz sentido, uma vez que é improvável que uma área consolidada como a área urbana venha a ter outros usos. Isso pode ser acontecer em

classificações, mesmo as supervisionadas. Para evitar, poderia ter inserido um limiar para determinar as mudanças de cobertura da terra, no entanto, isso não foi feito, pois não era o objetivo da pesquisa, uma vez que não se queria mascarar outras informações que poderiam ser apresentadas.

No período de 1975 a 2014, o uso da terra que mais persistiu foi a agricultura com 11,52 km². O campo teve 8,8 km² de persistência e o solo exposto e área preparada para plantio teve 0,5166 km² de persistência. A persistência dos usos está espacializada na Figura 44.

Figura 44. Mapa de persistencia do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 2014



Fonte: Dados da pesquisa

6.3 RESULTADOS DO LCM

6.3.1 Mudanças verificadas entre 1975 e 1994

Entre 1975 e 1994 houve um aumento de 312,6 % de ganho de solo exposto e área preparada para plantio, o que representa um ganho de 13,3 km² de área. Por outro lado, no mesmo período houve uma redução de 47,18% de agricultura, 0,59% de campo e 81,25% de vegetação densa, como observados na Tabela 3.

Tabela 3. Mudança da terra por categorias de uso entre 1975 e 1994 (perdas e ganhos)

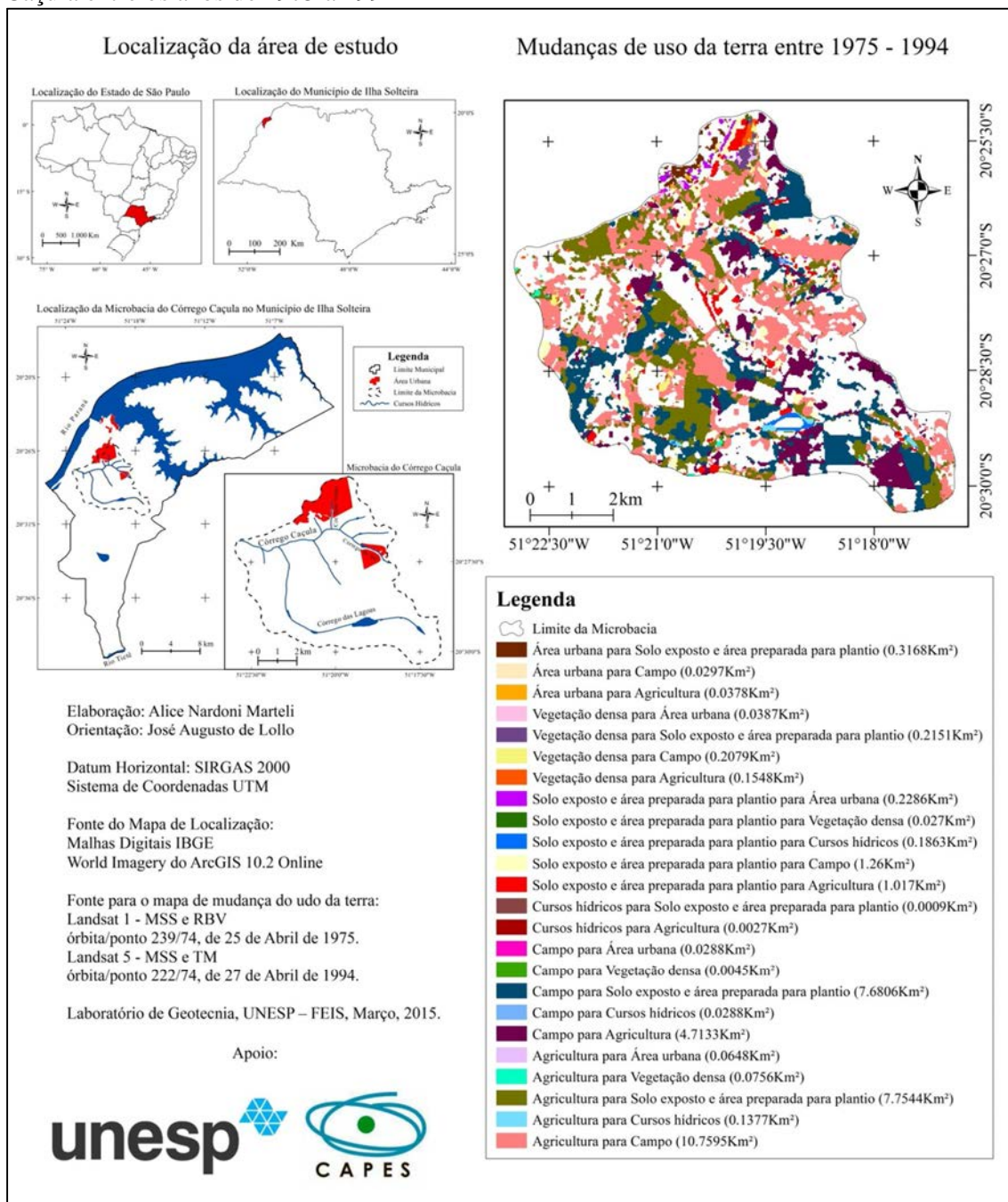
	1975 (km ²)	1994 (km ²)	Mudança (km ²)	% de mudança
Cursos Hídricos	0,144	0,493	0,349	242,500
Área urbana	0,862	0,845	-0,017	-1,980
Solo exposto e preparo do solo	4,254	17,553	13,298	312,590
Agricultura	27,199	14,366	-12,834	-47,180
Campo	23,128	22,991	-0,137	-0,590
Vegetação densa	0,619	0,116	-0,503	-81,250

Fonte: Dados da pesquisa.

Embora os dados mostrem que houve redução de 1,98% da área urbana, isso de fato não ocorreu. O mesmo vale para o aumento de 242,50% de cursos hídricos. O que pode ter ocorrido nestas classes está relacionado a classificação como já destacado anteriormente.

A mudança mais significativa de 1975 a 1994 é de agricultura para campo com 10,7595 km². Também é possível verificar agricultura e campo mudando para solo exposto e área preparada para plantio, com 7,7544 km² e 7,6806 km² respectivamente e, campo para agricultura com 4,7133 km² de mudança. Outras mudanças menos significativas são observadas no mapa de mudanças do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 1994 (Figura 45).

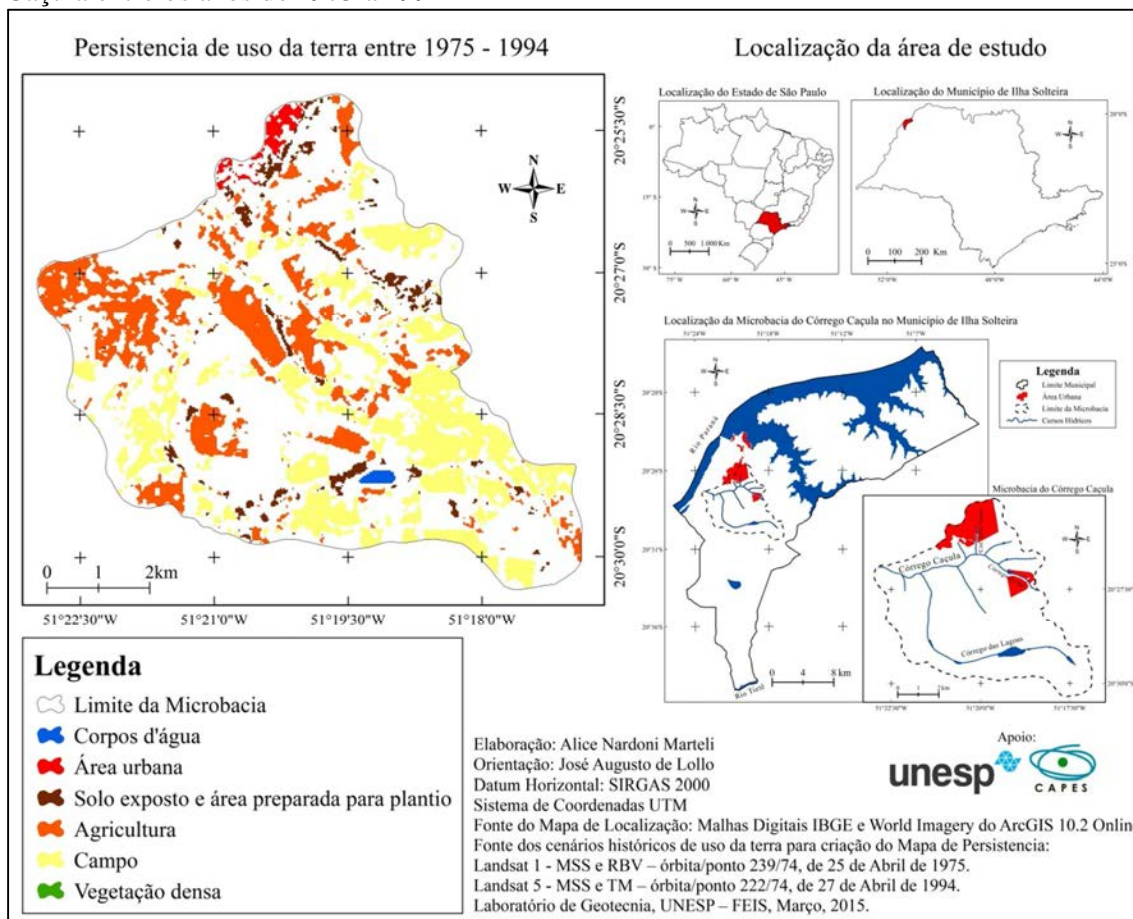
Figura 45. Mapa de mudanças do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 1994



Fonte: Dados da pesquisa.

No período de 1975 a 1994, o uso da terra que mais persistiu foi o campo com 10,6578 km². A agricultura teve 8,3889 km² de persistência e o solo exposto e área preparada para plantio teve 1,53 km² de persistência. A persistência dos usos está especializada na Figura 46.

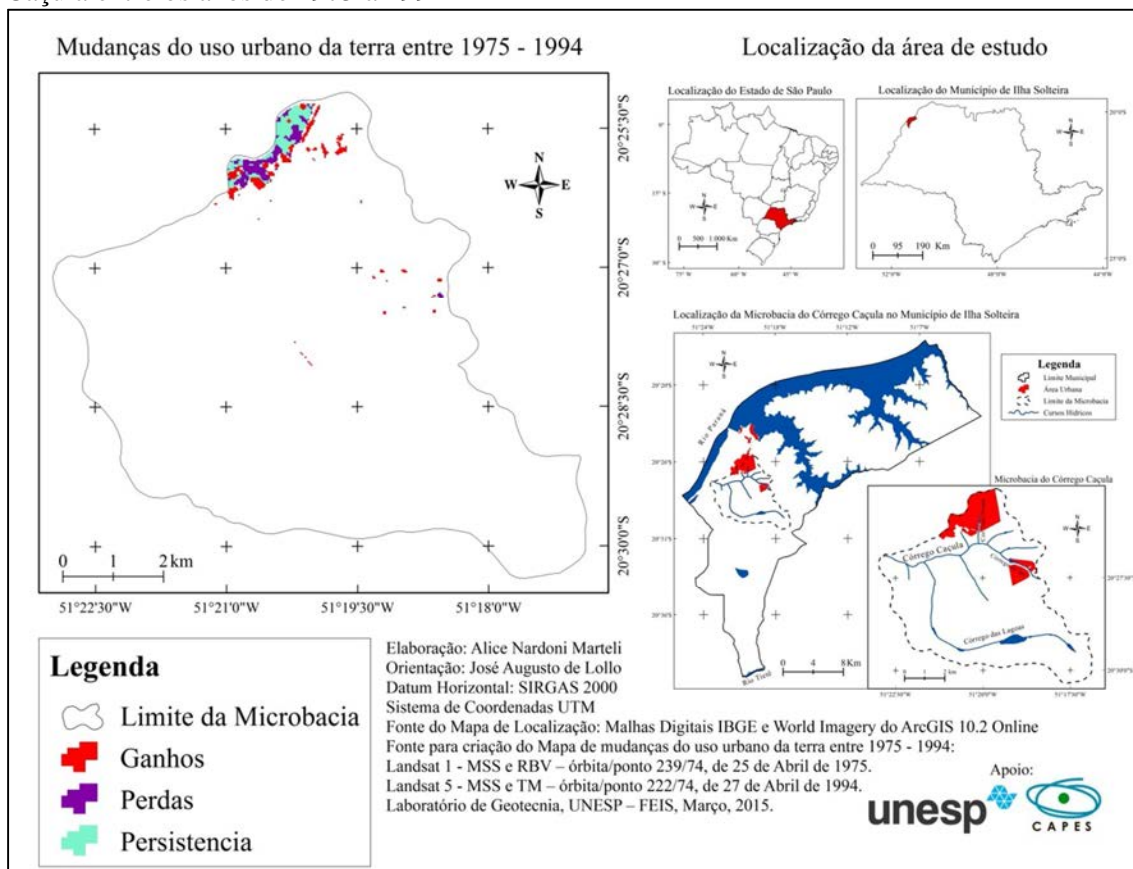
Figura 46. Mapa de persistencia do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 1994



Fonte: Dados da pesquisa.

A partir das mudanças ocorridas entre 1975 e 1994, o uso urbano da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula obteve 0,3843 km² de perdas; 0,3609 km² de ganhos; e 0,4698 km² de persistência. As mudanças do uso urbano da terra estão espacializadas na Figura 47.

Figura 47. Mapa de mudanças do uso urbano da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1975 a 1994



Fonte: Dados da pesquisa.

6.3.2 Mudanças verificadas entre 1994 e 2014

Entre 1994 e 2014 houve um aumento de 566,88% de área urbana o que representa um ganho de 4,7907 km² de área. A agricultura teve um aumento de 60% e a vegetação densa um aumento de 503,88%.

Por outro lado, no mesmo período houve uma redução de 68,9% de solo exposto e área preparada para plantio e uma perda de 9,16% de campo, como observados na Tabela 4.

Tabela 4. Mudança da terra por categorias de uso entre 1994 e 2014 (perdas e ganhos)

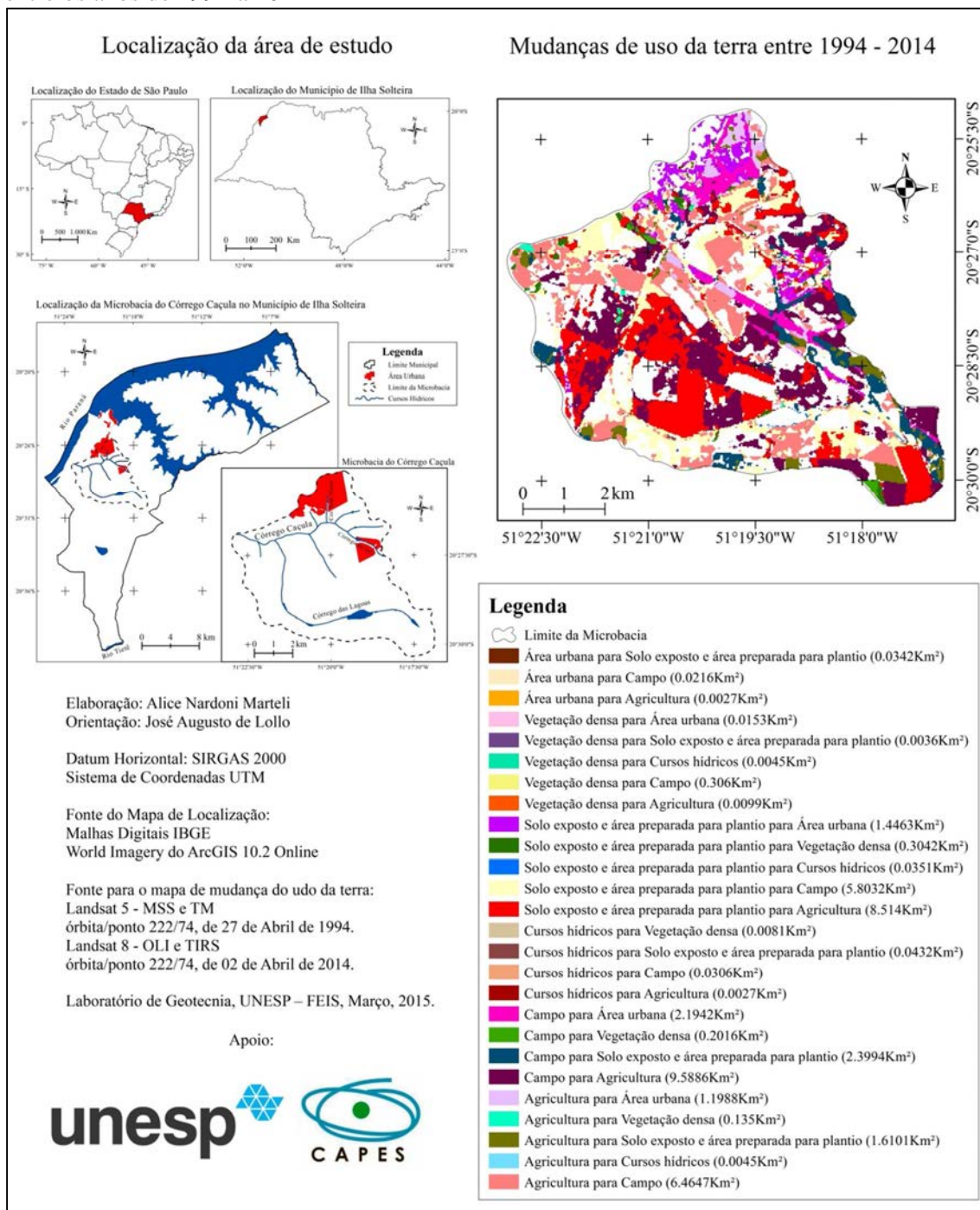
	1994 (km ²)	2014 (km ²)	Mudança (km ²)	% de mudança
Cursos Hídricos	0,493	0,453	-0,040	-8,210
Área urbana	0,845	5,636	4,791	566,880
Solo exposto e preparo do solo	17,553	5,459	-12,093	-68,900
Agricultura	14,366	23,000	8,632	60,080
Campo	22,991	20,884	-2,107	-9,160
Vegetação densa	0,116	0,701	0,585	503,880

Fonte: Dados da pesquisa

As mudanças mais significativas de 1994 a 2014 são as mudanças de campo e solo exposto e área preparada para plantio para a classe de agricultura com aproximadamente 9,5 e 8,5 km² respectivamente. Também se verifica que 6,46 km² mudaram de agricultura para campo e, que 5,8 km² mudaram de solo exposto e área preparada para plantio para campo.

Além disso, é possível identificar campo e agricultura mudando para solo exposto e área preparada para plantio e, estas classes de uso mudando para área urbana. Outras mudanças menos significativas são observadas no mapa de mudanças do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1994 a 2014 (Figura 48).

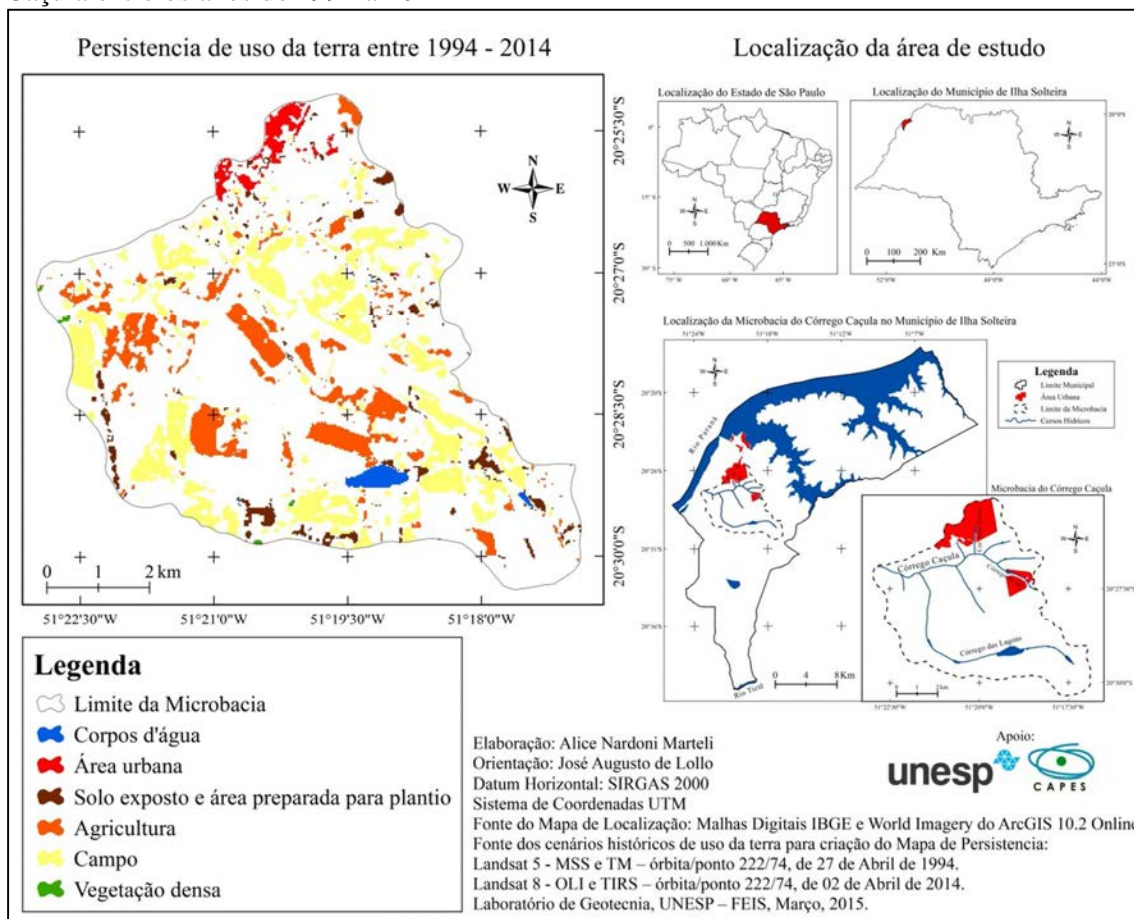
Figura 48. Mapa de mudanças do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1994 a 2014



Fonte: Dados da pesquisa.

No período de 1994 a 2014, o uso da terra que mais persistiu foi o campo com 8,5257 km². A agricultura teve 4,8753 km² de persistência e o solo exposto e área preparada para plantio teve 1,3581 km² de persistência. A persistência dos usos está espacializada na Figura 49.

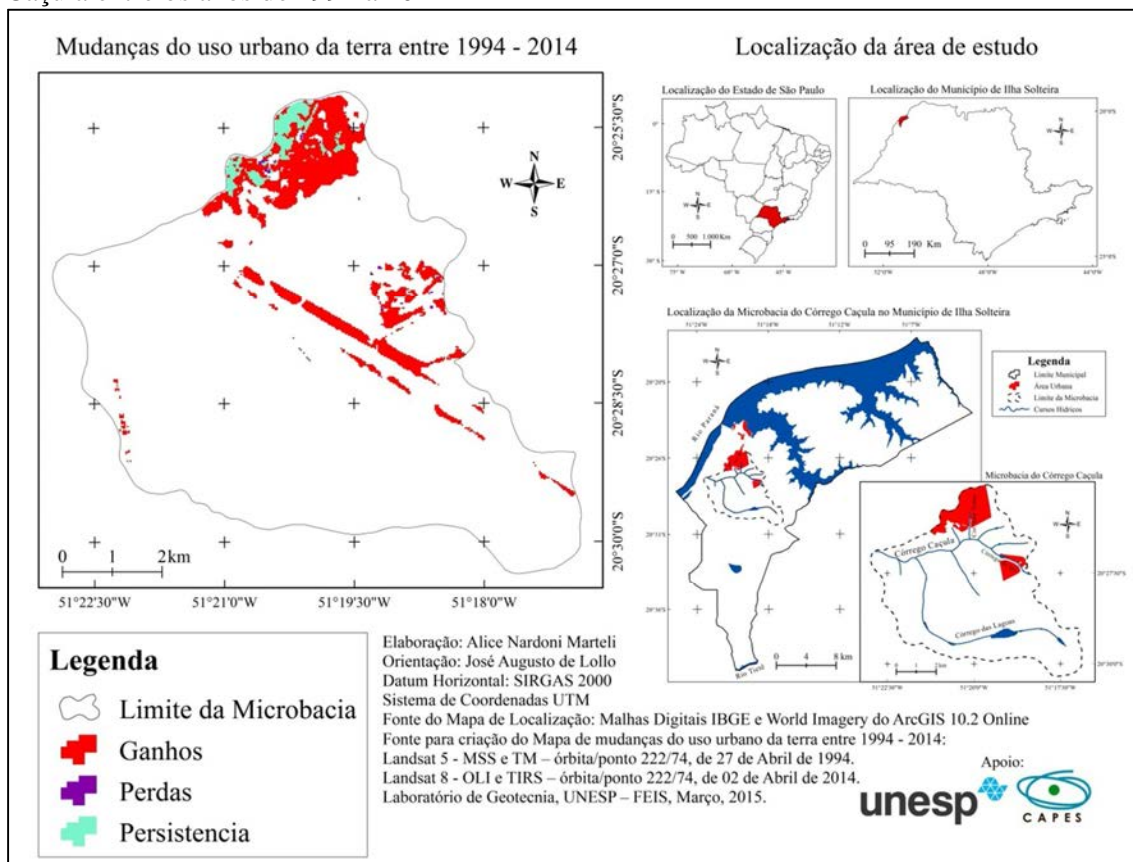
Figura 49. Mapa de persistencia do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1994 a 2014



Fonte: Dados da pesquisa.

A partir das mudanças ocorridas entre 1994 e 2014, o uso urbano da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula teve 0,0585 km² de perdas; 4,8546 km² de ganhos; e 0,7767 km² de persistência. As mudanças do uso urbano da terra estão espacializadas na Figura 50.

Figura 50. Mapa de mudanças do uso urbano da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula entre os anos de 1994 a 2014



Fonte: Dados da pesquisa.

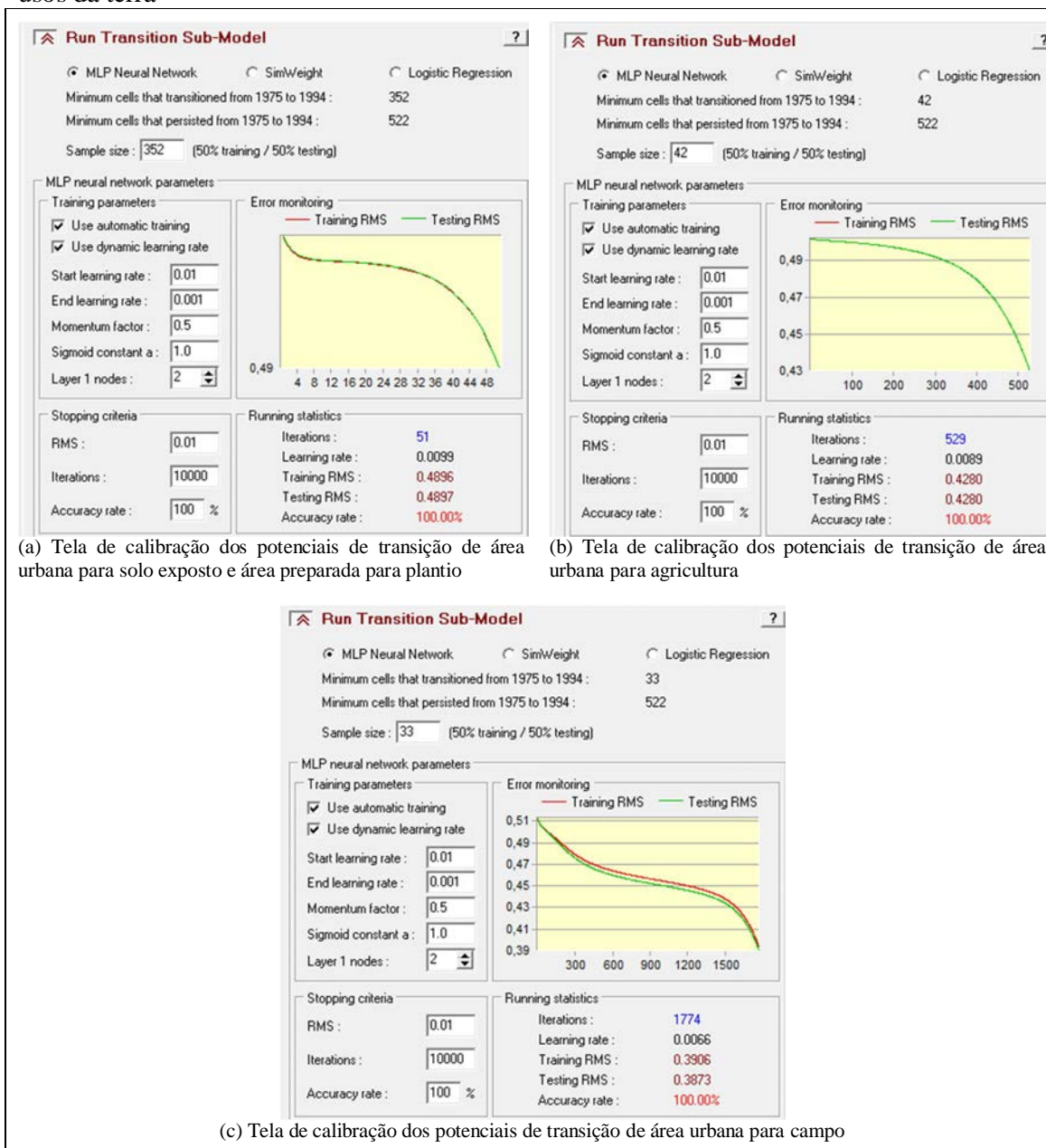
6.3.3 Projeção do uso e cobertura da terra na Microbacia Hidrográfica do Córrego Caçula para o ano de 2014

6.3.3.1 Potenciais de transição

Os potenciais de transição mostram a possibilidade de tal uso da terra mudar para outro uso da terra. Para projetar um cenário futuro são criadas potenciais para todas as variáveis selecionadas para a modelagem.

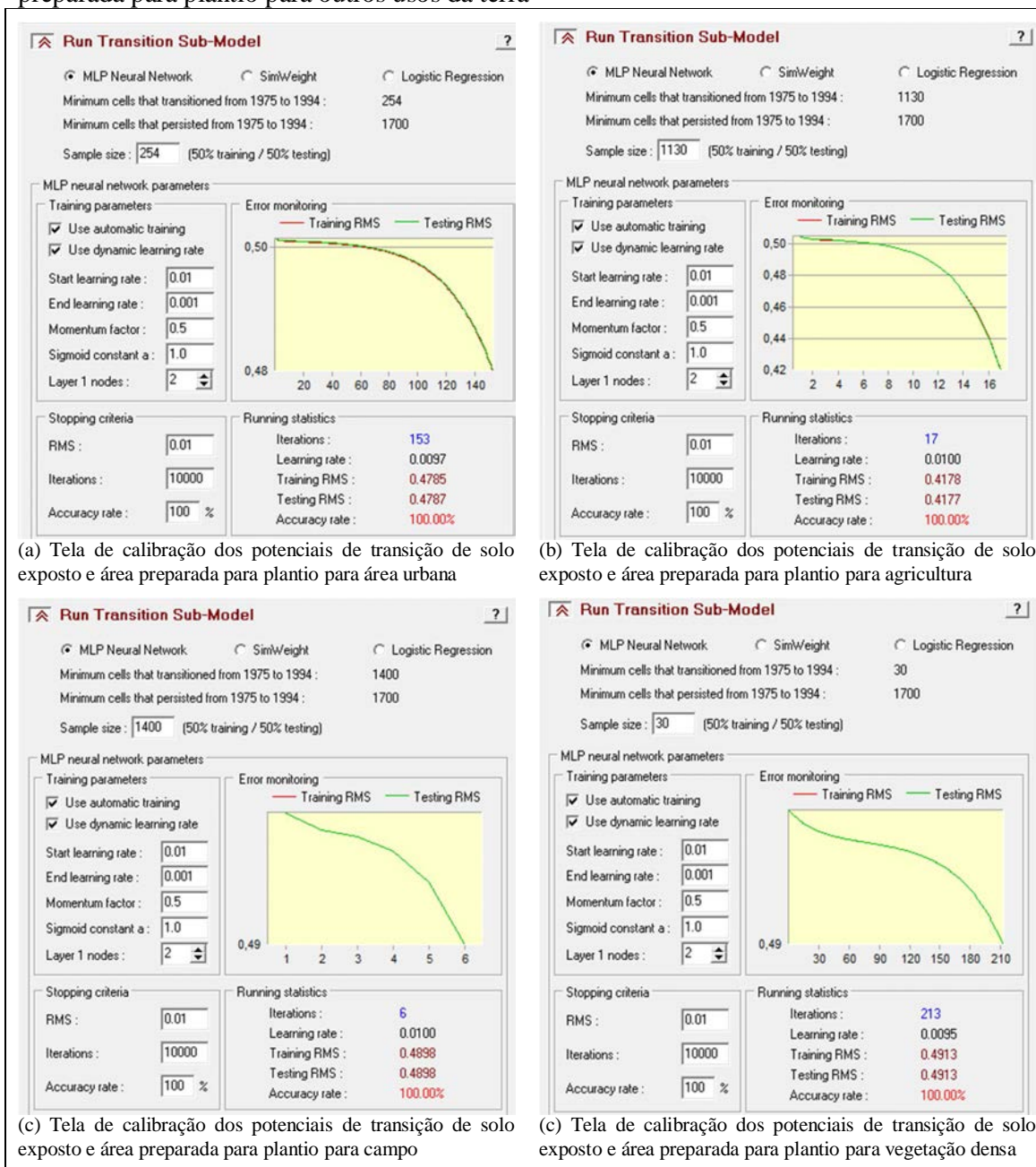
Para criação dos potenciais, foi utilizada a opção “MLP Neural Network”, pois como citado por Eastman (2012a), não necessita de intervenção do usuário. No entanto, foram testadas as outras opções para verificação dos resultados. Para a grande maioria dos potenciais de transição, foram obtidos uma acurácia de 100%, mesmo que com baixo número de interações, para algumas combinações. Estes resultados estão apresentados nas Figuras 51 a 55.

Figura 51. Resultados da calibração dos potenciais de transição de área urbana para outros usos da terra



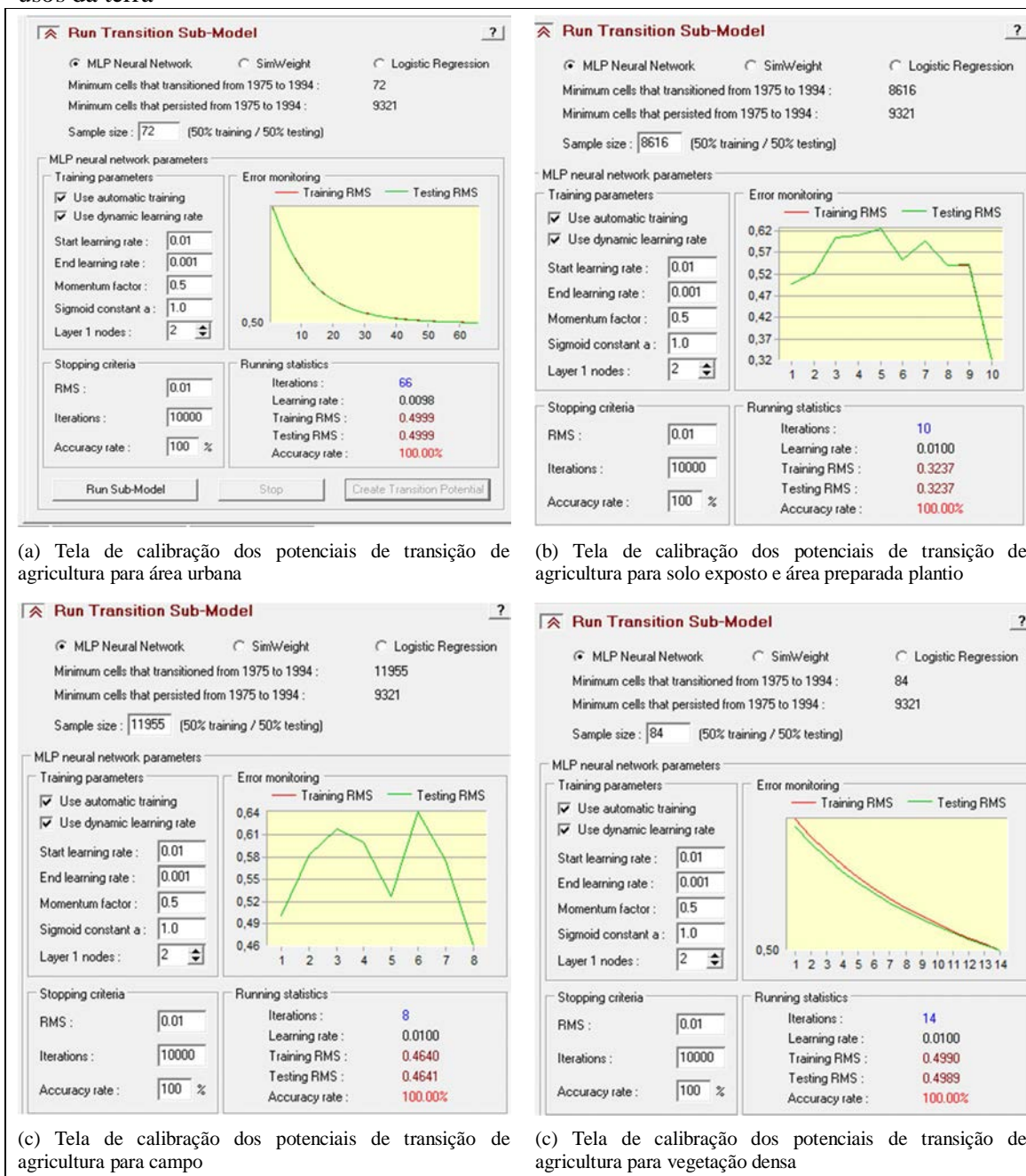
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 52. Resultados da calibração dos potenciais de transição de solo exposto e área preparada para plantio para outros usos da terra



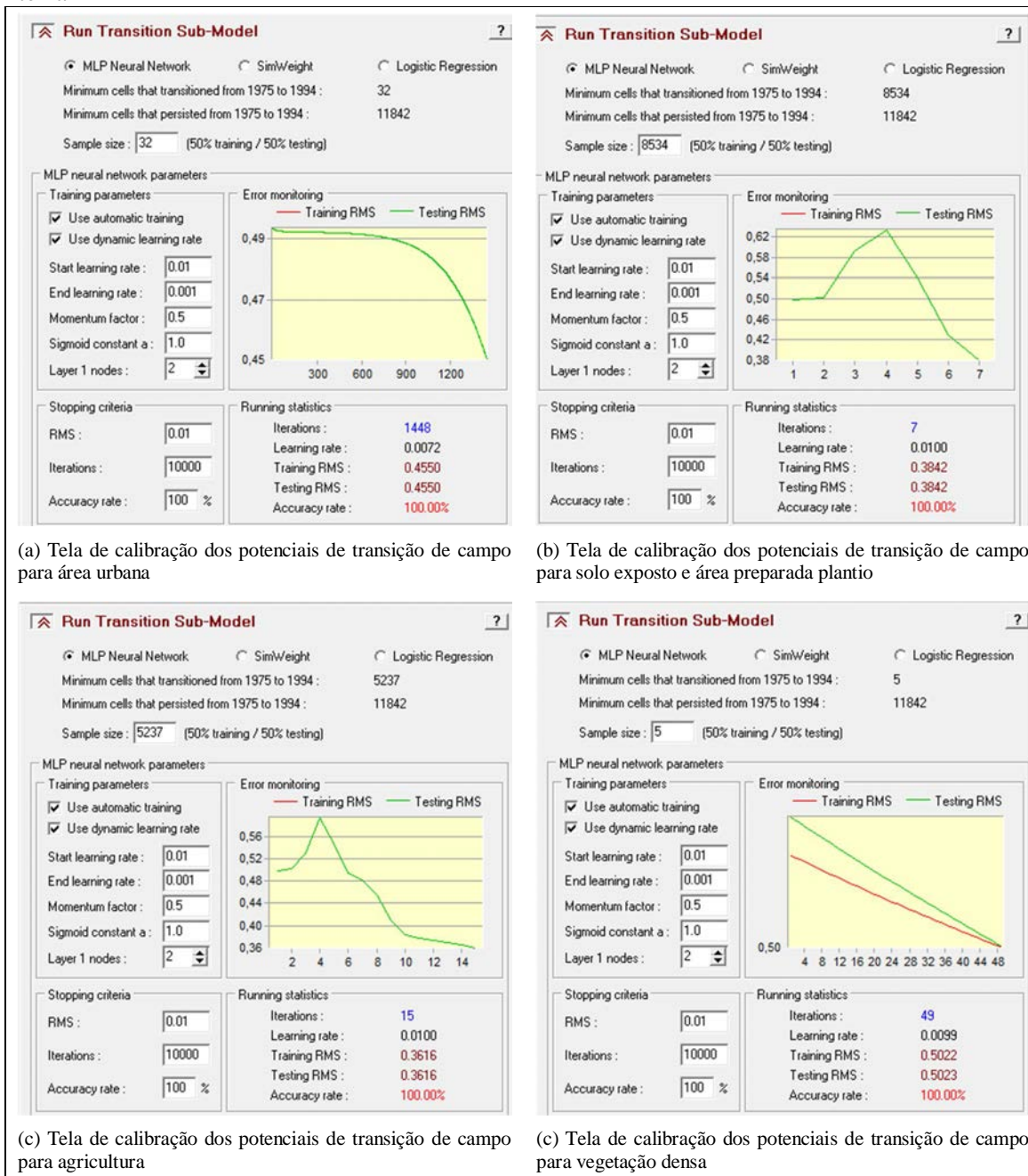
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 53. Resultados da calibração dos potenciais de transição de agricultura para outros usos da terra



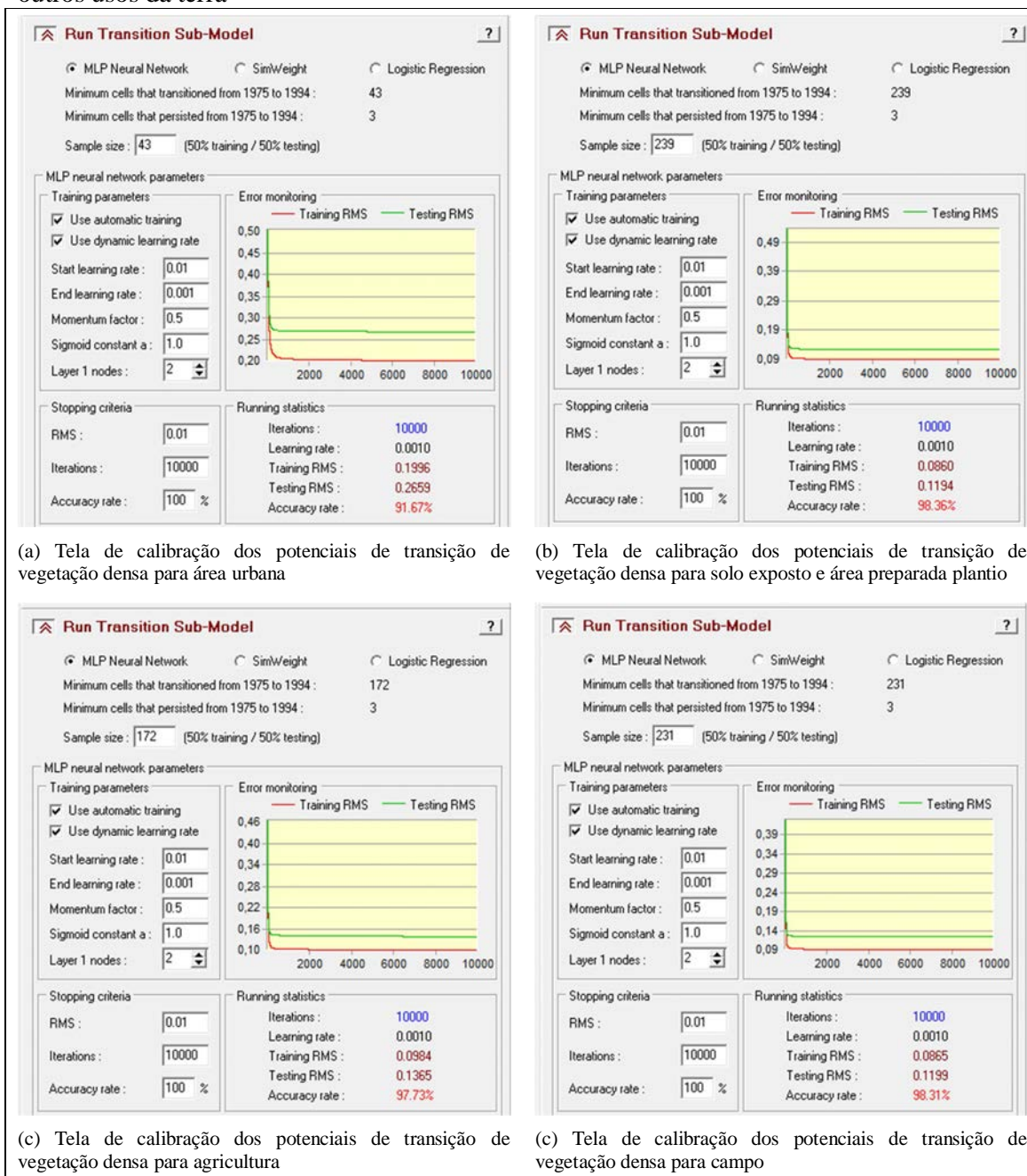
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 54. Resultados da calibração dos potenciais de transição de campo para outros usos da terra



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 55. Resultados da calibração dos potenciais de transição de vegetação densa para outros usos da terra



Fonte: Dados da pesquisa.

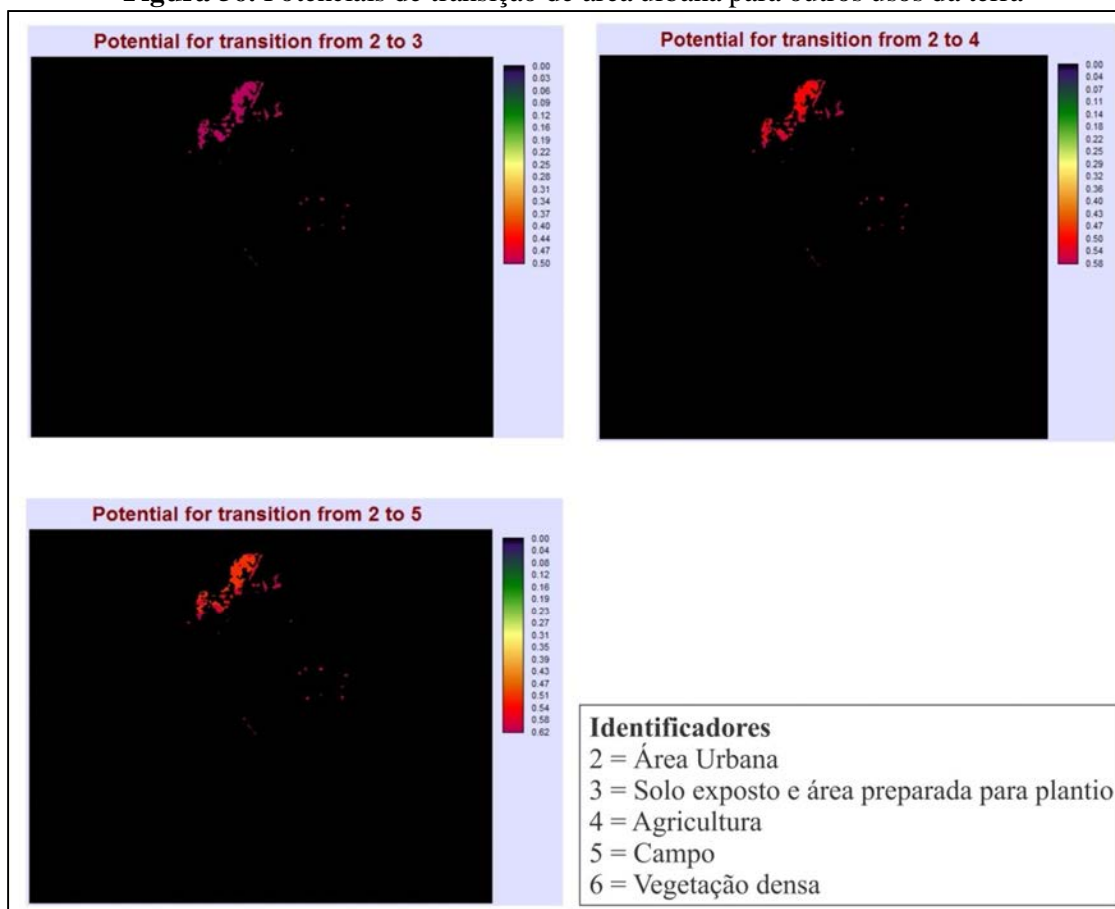
Como observado nas Figuras 51 a 55, as redes tiveram acurácia surpreendente. No entanto, mesmo que garanta excelentes resultados, isso pode não representar um bom desempenho dos dados. Como as camadas são escondidas, o treinamento apresentou bom resultado em termos de redução do erro, sem que isso signifique reconhecimento eficiente de padrões. Ao descrever o treinamento de uma rede neural artificial, Rebouças, Sousa e Pires

(2015) retratam uma situação em que o desempenho da rede pode degradar-se, mesmo que o algoritmo de aprendizagem continue a garantir bons resultados no conjunto de modelação.

Em contrapartida, em testes feitos com três categorias de classes de uso e cobertura da terra, semelhante ao proposto por Eastman (2012a e 2012b), a acurácia não chegava a 60%.

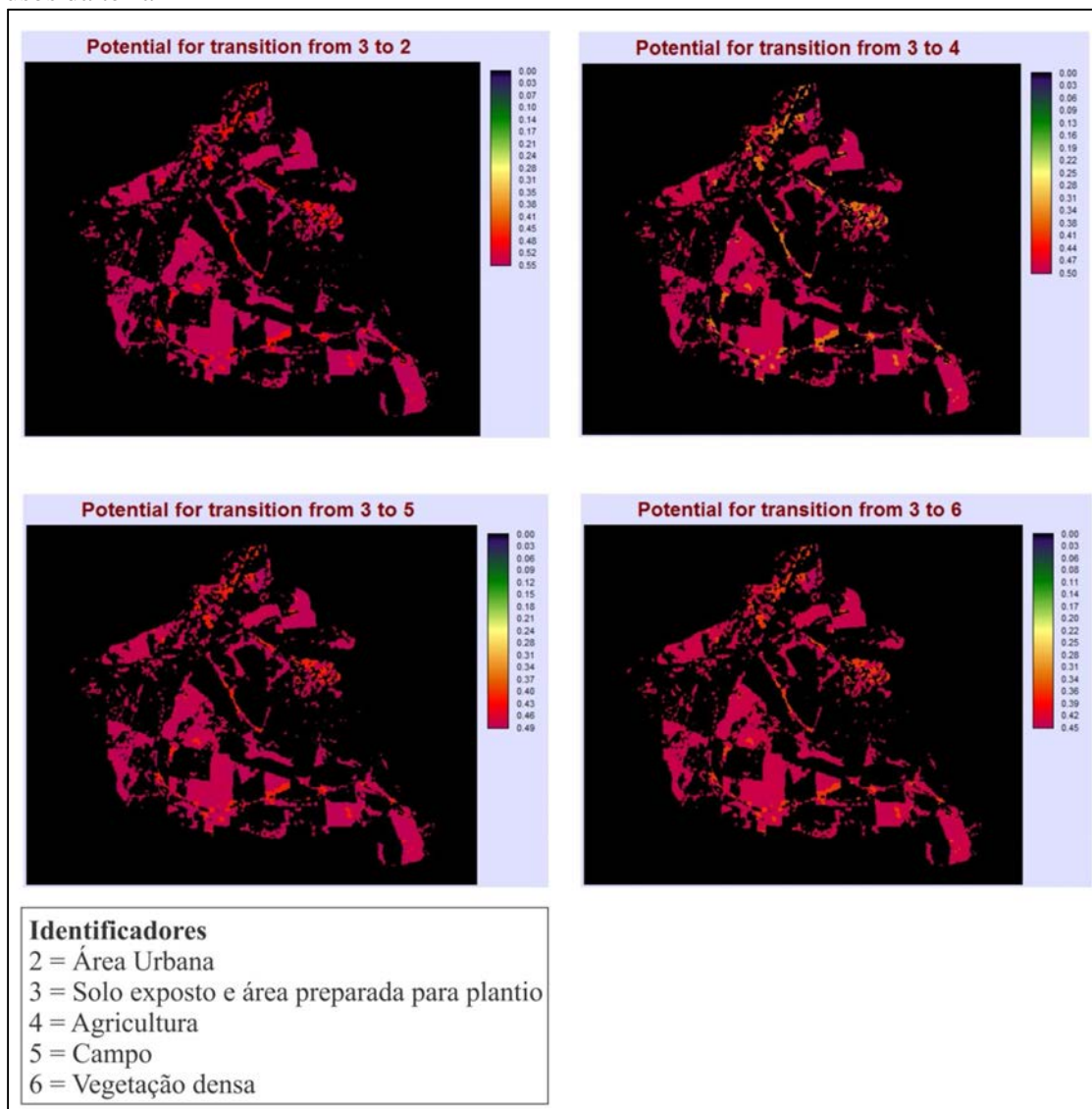
Em seguida, os cenários de potenciais de transição foram criados. A Figura 56 apresenta os potenciais de transição de área urbana para outros usos da terra; a Figura 57 apresenta os potenciais de transição de solo exposto e área preparada para plantio para outros usos da terra; a Figura 58 apresenta os potenciais de transição de agricultura para outros usos da terra; a Figura 59 apresenta os potenciais de transição de campo para outros usos da terra; e a Figura 60 apresenta os potenciais de transição de vegetação densa para outros usos da terra.

Figura 56. Potenciais de transição de área urbana para outros usos da terra



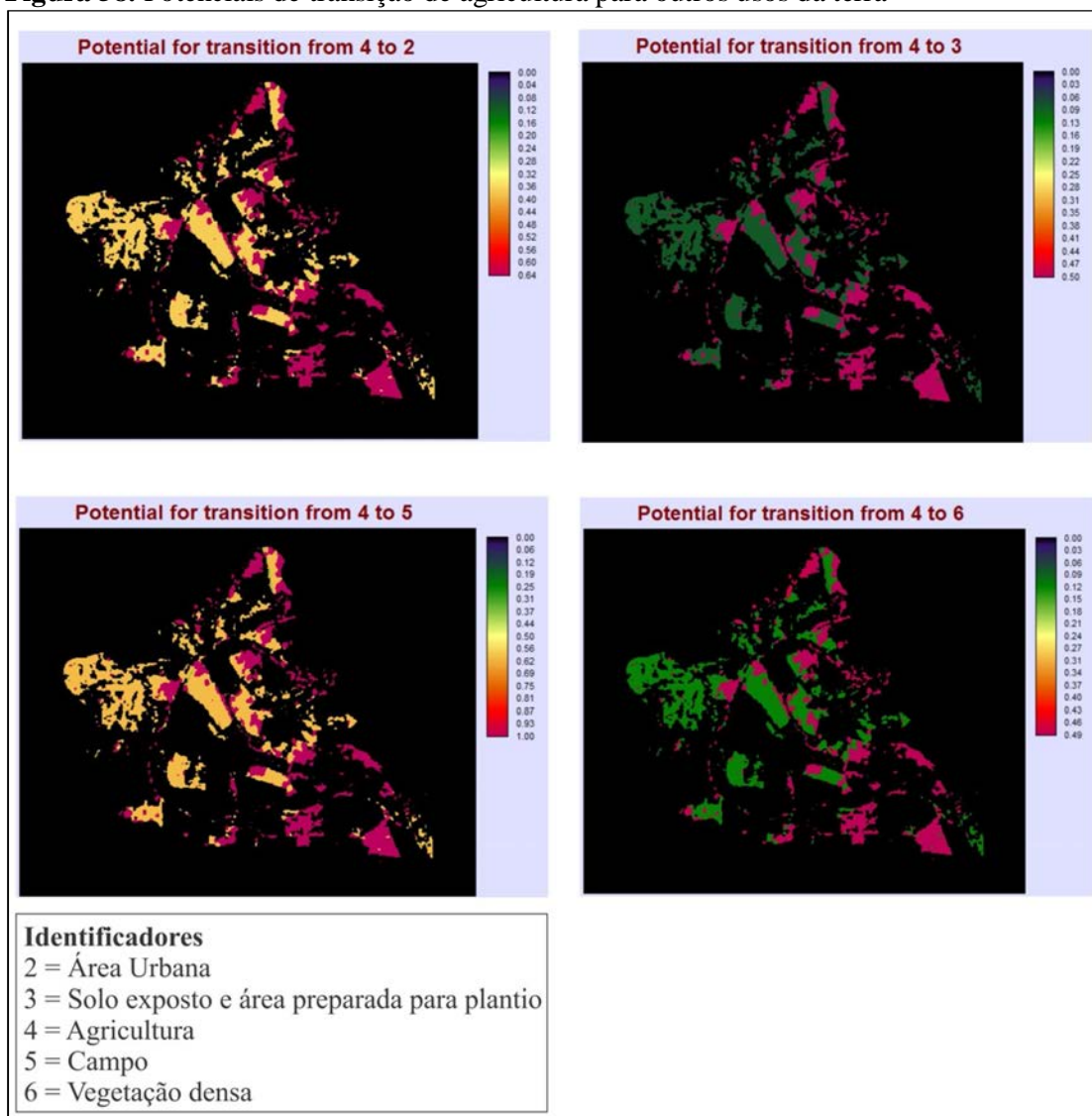
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 57. Potenciais de transição de solo exposto e área preparada para plantio para outros usos da terra



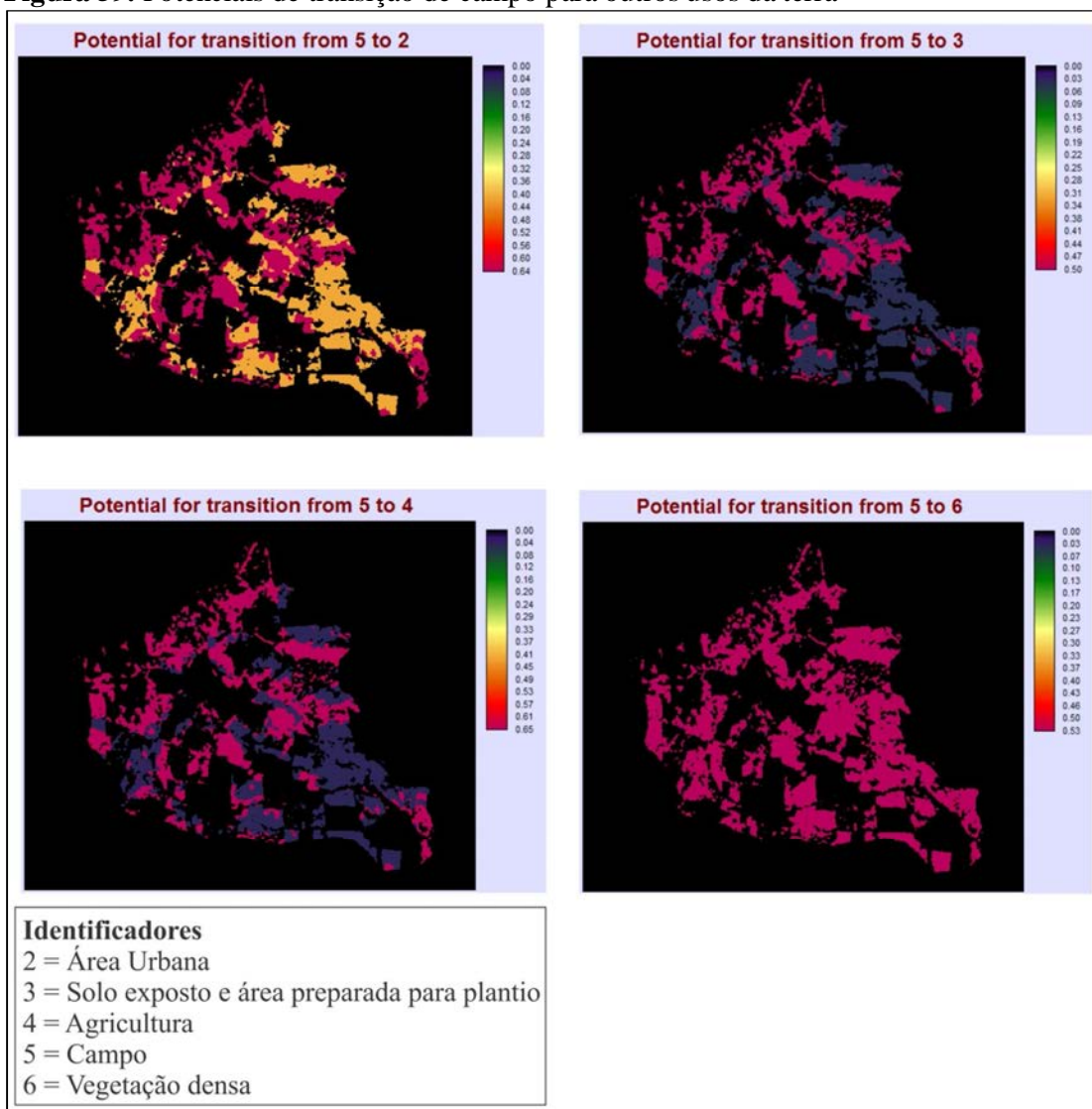
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 58. Potenciais de transição de agricultura para outros usos da terra



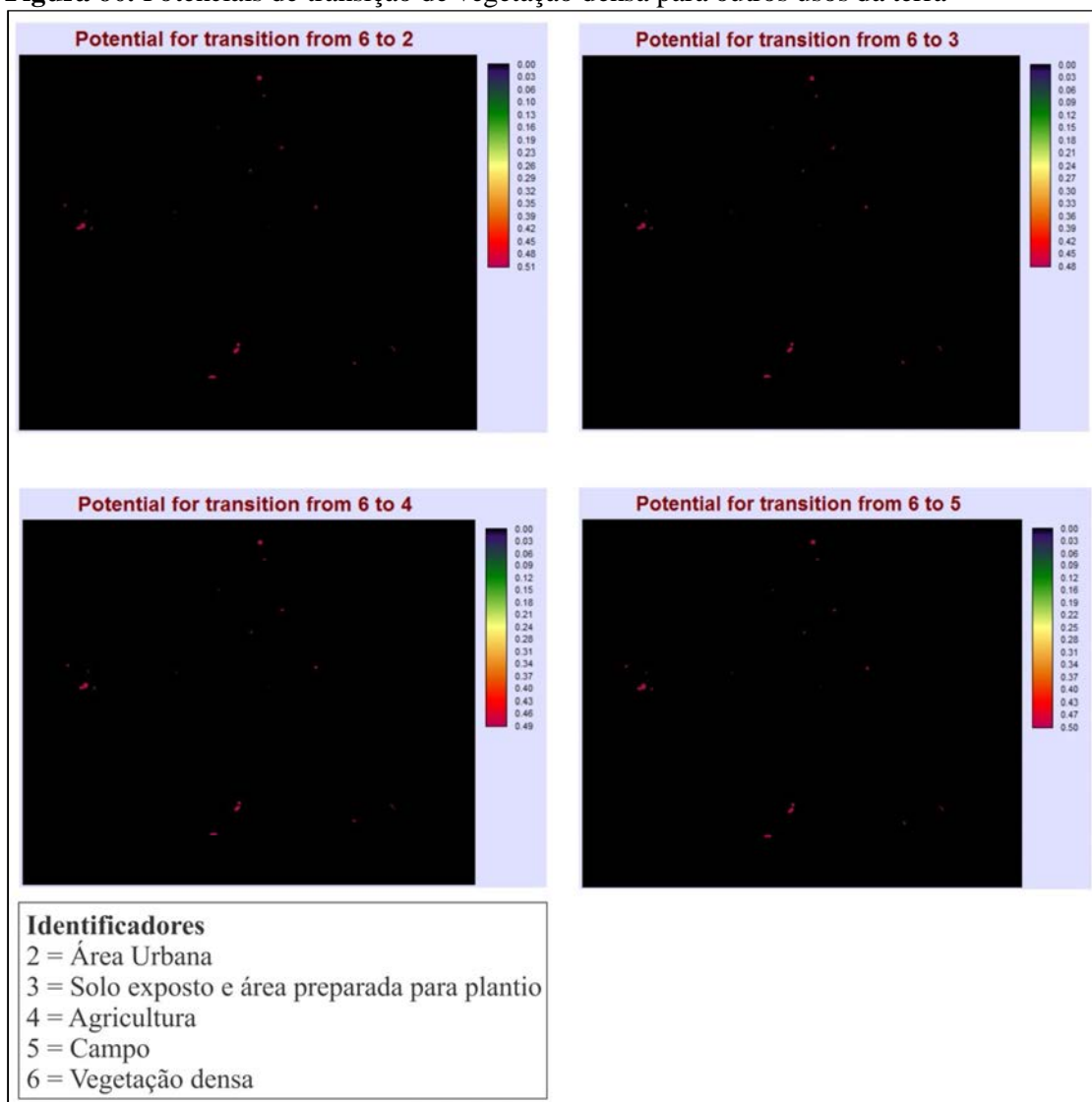
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 59. Potenciais de transição de campo para outros usos da terra



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 60. Potenciais de transição de vegetação densa para outros usos da terra



Fonte: Dados da pesquisa.

Como observado nas Figuras 56 a 60, os potenciais não apresentam um intervalo de variação fixo para as mesmas classes de potenciais avaliados. Isso dificulta um pouco a avaliação, já as que esses intervalos mudam. Se fossem fixas, facilitaria a compreensão do usuário. Além disso, os resultados computam em mais de 100% para cada uso da terra.

Outro fator verificado é que determinadas áreas da microbacia apresentam o mesmo potencial de transição para diferentes coberturas da terra. Por fim, como a área urbana poderia tem um potencial acima de 50% de transição para outros usos? Isso na prática não é comum: uma área urbana consolidada tornar-se outros usos, como agricultura e campo. Do mesmo modo, em todos os outros conjuntos de transição há polígonos que tem a mesma vulnerabilidade de mudança.

Assim, embora os usos da terra obtiveram em geral, uma razoável precisão, esta varia nas diferentes classes. Essa confusão tem dificultado a obtenção de informações precisas nos potenciais de transição. Por isso, a análise pode servir como um indicador de mudança e magnitude no futuro bem como uma descrição quantitativa das alterações do passado. Como também verificado por Weng (2002) os potenciais de transição possuem várias limitações nas mudanças no uso da terra.

No entanto, cabe salientar que ao concluir o processo de modelagem, para cada potencial de transição é apresentado um módulo de resultado com informações técnicas, o que caberia investigações futuras sobre o entendimento do funcionamento das redes neurais no *Land Change Modeler*.

6.3.3.2 Previsão para 2014

Para apresentar e avaliar a projeção do *Land Change Modeler* foi testado diferentes combinações de parâmetros para modelagem, sem sucesso esperado. Por isso, foram escolhidas algumas combinações, como: sem restrições e sem incentivos; com incentivo de expansão urbana; e, com restrições e com incentivos.

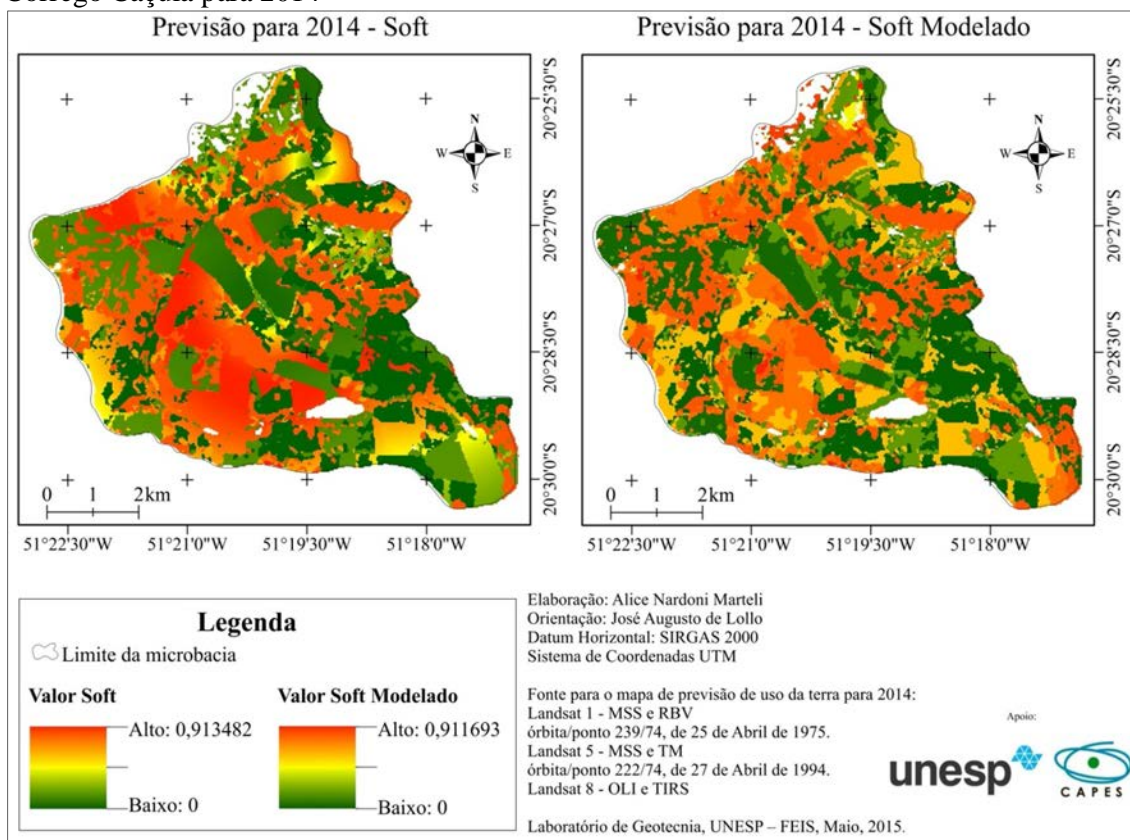
Além disso, cada modelo de mudança fornece um resultado de previsão “*hard*” e “*soft*”. O modelo de predição “*hard*” é o cenário especificamente, já o modelo de predição “*soft*” produz um mapa de vulnerabilidade, seguindo a lógica da modelagem de mudanças conforme as transições selecionadas. Mesmo que opcional, a predição “*soft*” também foi feita. Ela produz o resultado “*soft*” e o “*soft modeled*”, os quais serão apresentados em seguida.

6.3.3.2.1 Previsão para 2014 sem restrição e sem incentivos

Para esta previsão foi considerado como variáveis dinâmicas as transições modeladas de uso e cobertura da terra, com destaque a mudança para área urbana. Transições “impossíveis” como mudança de qualquer cobertura da terra para cursos hídricos foram descartadas, isso em todas as combinações de previsões. Transições pouco significativas também foram desconsideradas, pois a opção MLP não permite mais de 9 transições no submodelo (APÊNDICE B, Figura 94).

Na Figura 61 são apresentados os resultados da previsão Soft e Soft Modelado e na Figura 62 é apresentada a previsão de uso da terra (resultado “hard”) para a Microbacia do Córrego Caçula.

Figura 61. Resultados da previsão Soft e Soft Modelado de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014

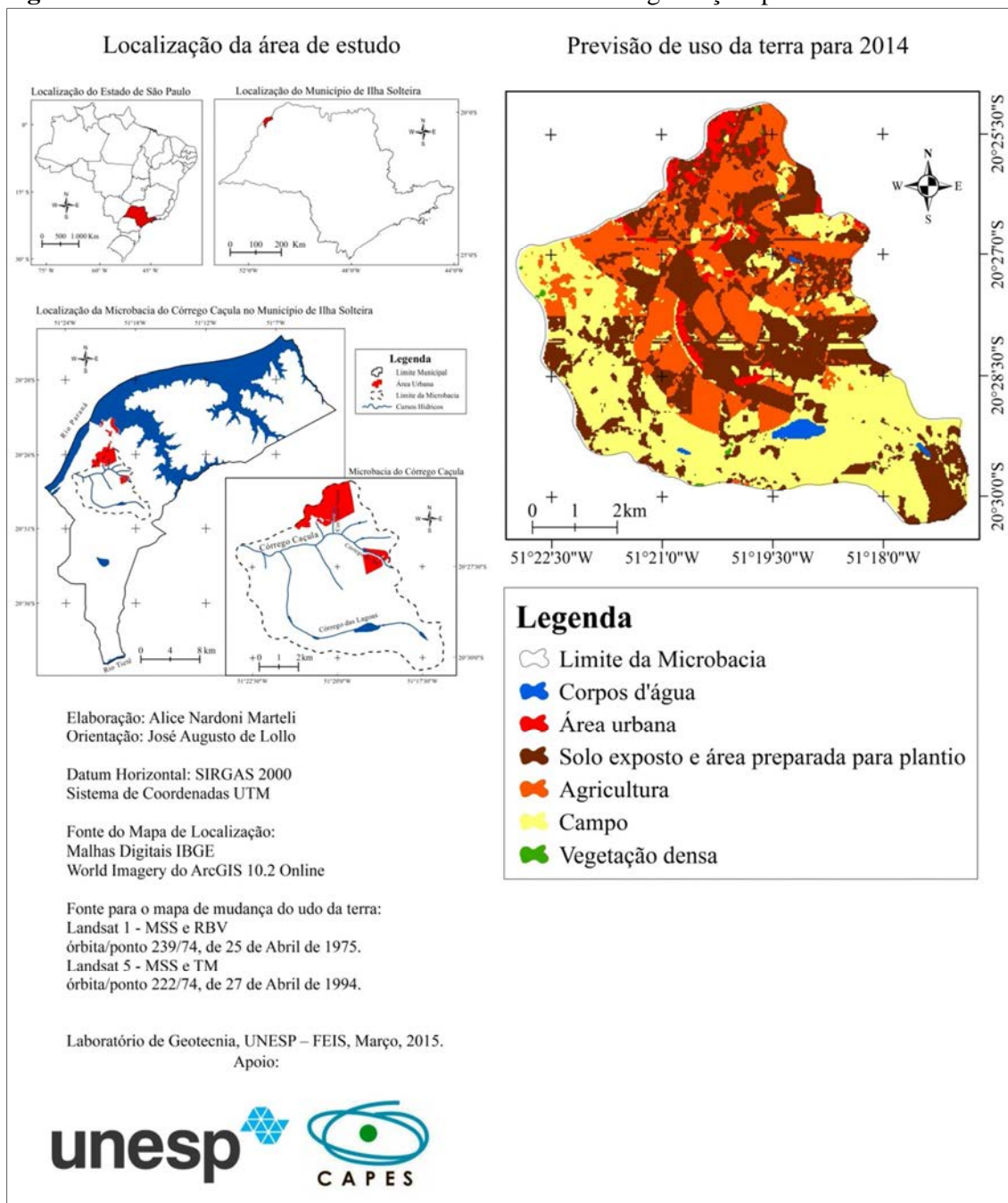


Fonte: Dados da pesquisa

Como se observa, grande parte da área possui baixo potencial de mudança, pois a vulnerabilidade é próxima à zero, o que indica que a previsão “hard” não terá grandes mudanças.

Outro destaque é que onde haverá persistências de uso, é apresentado em branco (background), isto é, vão persistir os usos da cena mais recente utilizada de entrada no LCM. Além disso, a previsão para 2014 (Figura 62) apresentou forte semelhança à imagem de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para o ano de 1994, apresentada na Figura 41.

Figura 62. Previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014



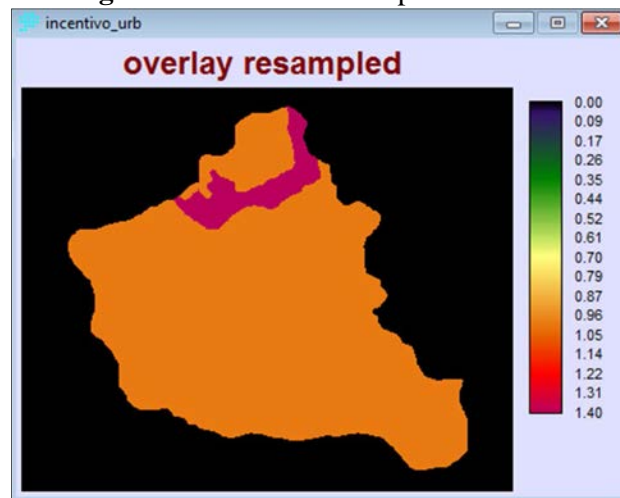
Fonte: Dados da pesquisa

Sobre o resultado da projeção futura para 2014, o crescimento urbano não foi previsto e as mudanças não seguem a tendência observada pelas imagens históricas. Nesta previsão, o modelo apresentou algumas faixas e riscos, o que indica ser erro de processamento do modelo. Esse tipo de erro não é relatado no manual nem no tutorial do Idrisi.

6.3.3.2.2 Previsão para 2014 com incentivo de expansão urbana

A previsão para 2014 com incentivo de expansão urbana foi feita inserindo um arquivo na guia *Planning* (APÊNDICE B, Figura 99), o qual foi elaborado conforme apresentado por Eastman (2012a,b). Esse arquivo (Figura 63) indica a faixa de expansão da área urbana conforme aponta o plano diretor municipal de Ilha Solteira (ILHA SOLTEIRA, 2008a).

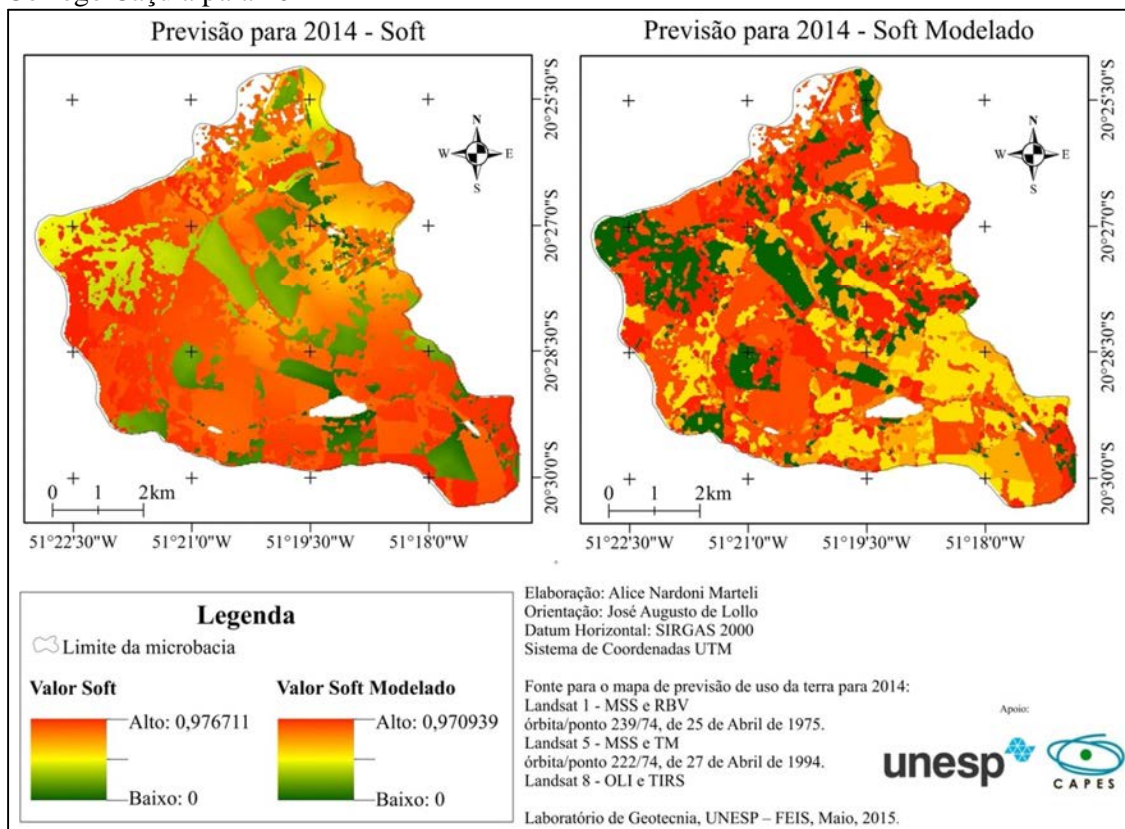
Figura 63. Incentivo de expansão urbana



Fonte: Dados da pesquisa

As Figuras 64 e 65 apresentam os resultados da previsão Soft e Soft Modelado, e Hard para a Microbacia do Córrego Caçula.

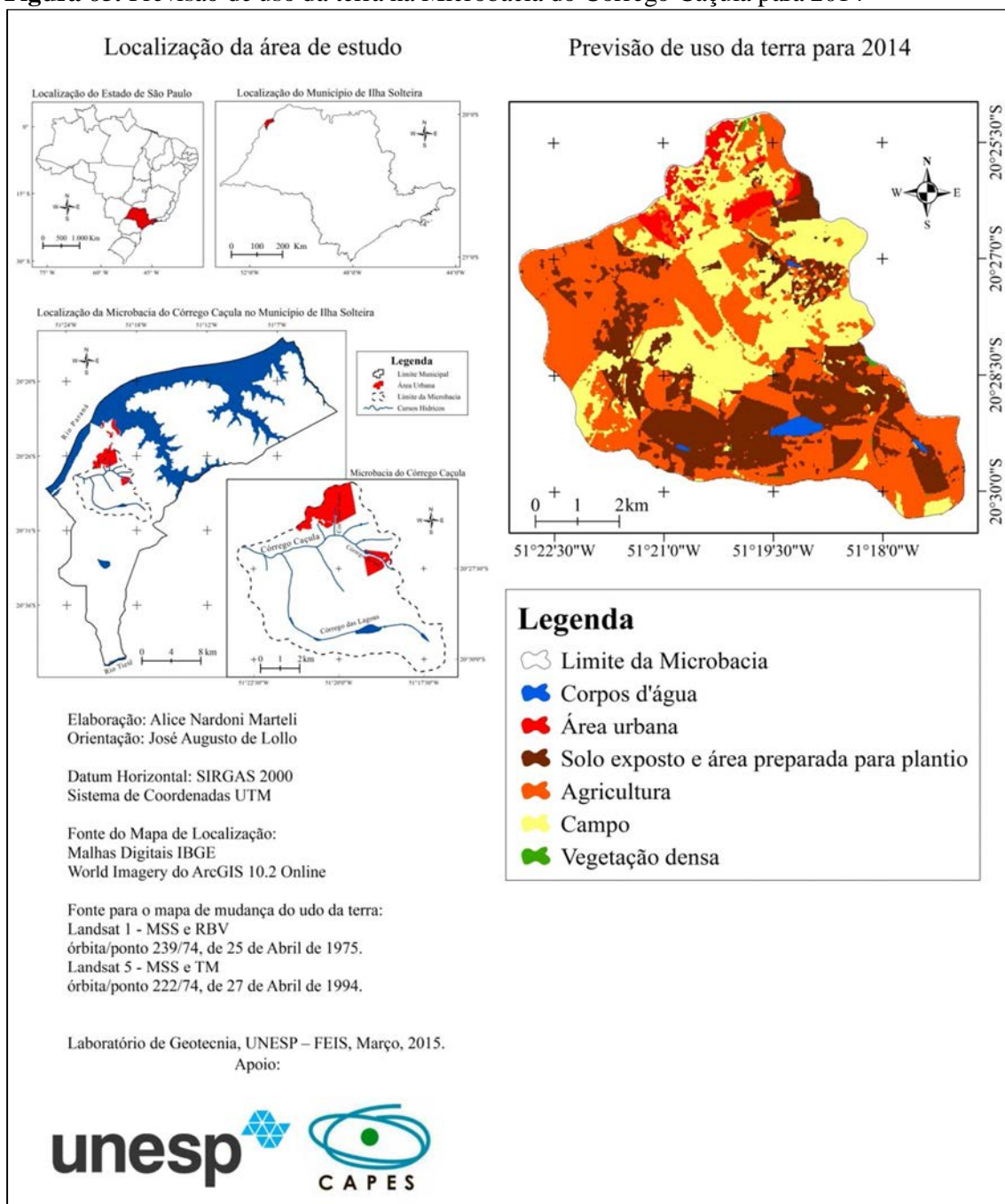
Figura 64. Resultados da previsão Soft e Soft Modelado de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014



Fonte: Dados da pesquisa

Diferentemente da previsão anterior, sem restrição e sem incentivos, nesta previsão, grande parte da área espacializada na projeção Soft e Soft Modelada, possui alto potencial de mudança, pois a vulnerabilidade é próxima à 1, o que indica que a previsão “hard” terá grandes mudanças, o que de fato é comprovado pela análise da Figura 65.

Figura 65. Previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014



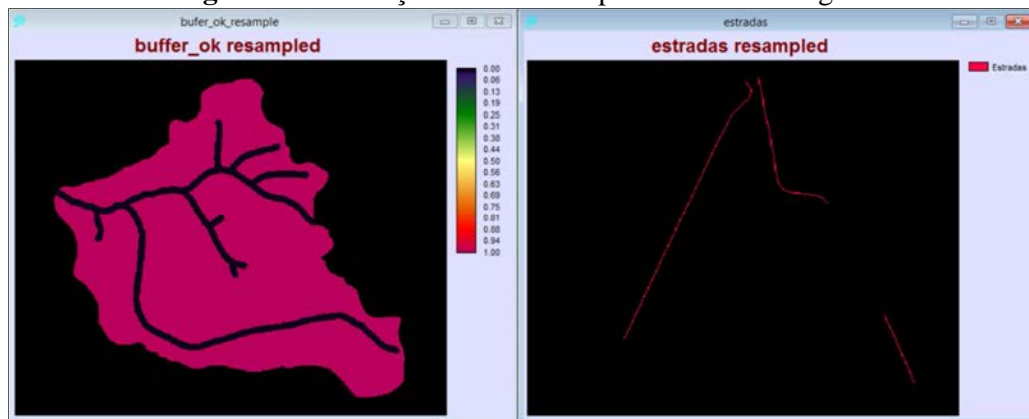
Fonte: Dados da pesquisa.

No entanto, as mudanças verificadas na Figura 65 não condizem com o mapa de uso e cobertura da terra de 2014. Além disso, cabe ressaltar que mesmo inserindo no modelo um incentivo para a área urbana, o mesmo não foi considerado no processo de previsão. Em uma análise geral, observa-se que para esta previsão o LCM também não foi satisfatório pois a previsão não segue a tendência observada pelas imagens históricas.

6.3.3.2.2 Previsão para 2014 com restrição e com incentivos

Segundo Eastman (2012a e 2012b), restrições e incentivos são fatores opcionais. No entanto, Clark (2014 e 2015) afirma que tais variáveis são o “segredo para o sucesso” com o *Land Change Modeler*. Assim, para esta previsão, foi considerado além do incentivo de expansão de área urbana, apresentado na Figura 63, outras variáveis. Como restrição, foi inserido um *buffer* para limitar as áreas onde não poderiam sofrer mudanças. Essas áreas, próximas aos cursos d’água deveriam, em teoria, ser protegidas. Como incentivos foram acrescidos as estradas, ambos apresentados na Figura 66.

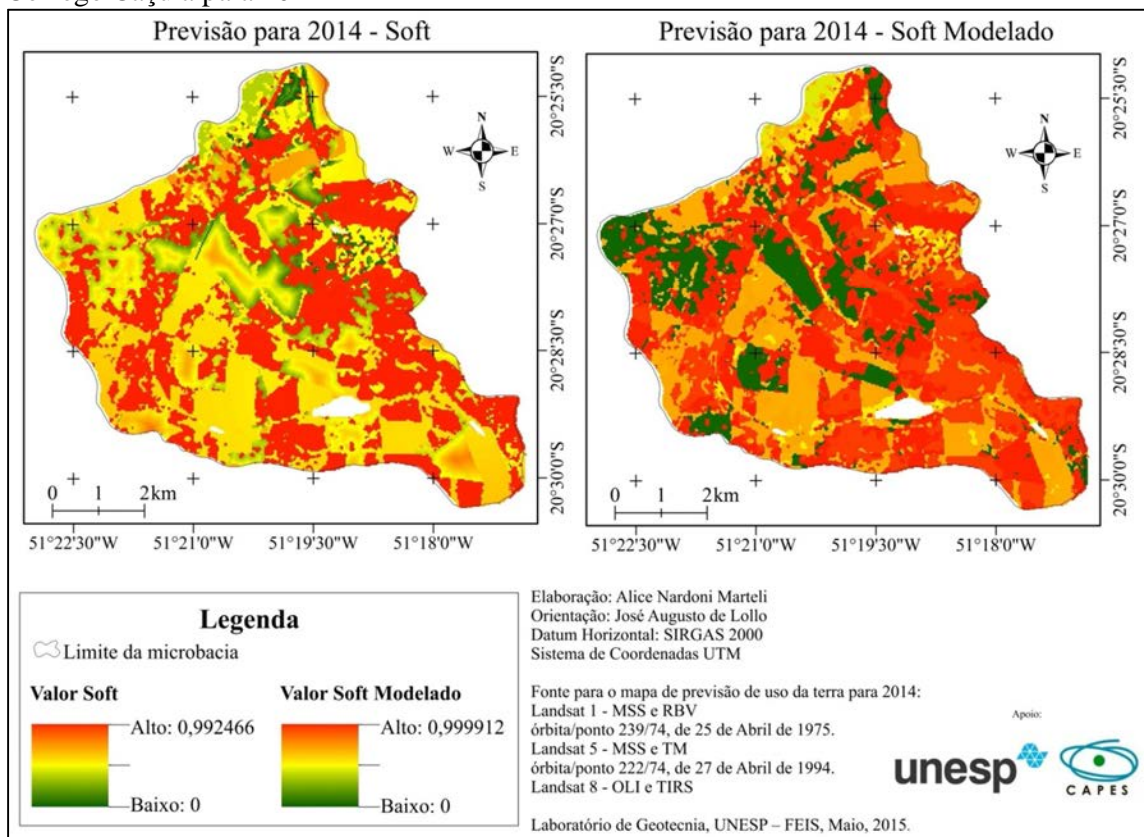
Figura 66. Restrição e incentivo aplicado na modelagem



Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 67 são apresentados os resultados da previsão Soft e Soft Modelado e na Figura 68 é apresentada a previsão de uso da terra (resultado “hard”) para a Microbacia do Córrego Caçula.

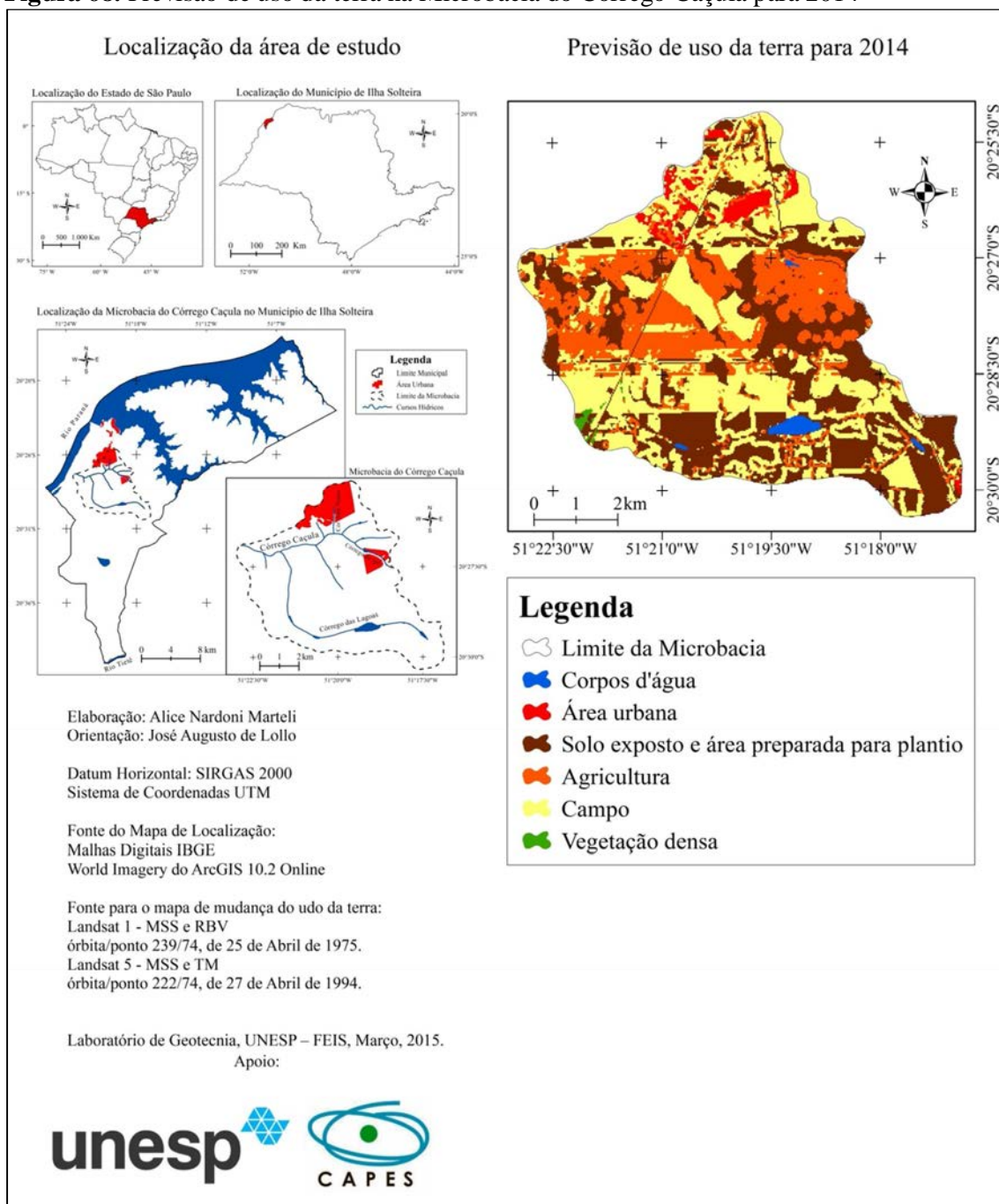
Figura 67. Resultados da previsão Soft e Soft Modelado de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014



Fonte: Dados da pesquisa.

A previsão Soft e Soft Modelado mostra que a microbacia possui de médio a alto potencial de mudança. Nesta previsão, diferentemente das demais, a vulnerabilidade é maior tanto em valores (próxima à 1) quanto em área, o que indica que a previsão “hard” terá grandes mudanças, o que todavia, não ocorre.

Figura 68. Previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014



Fonte: Dados da pesquisa.

Esta projeção com incentivos para expansão urbana, estradas e restrições para áreas que deveriam estar protegidas ambientalmente apresentou piores resultados em relação às outras projeções, como observado acima. A área urbana dispersou, onde deveria ocorrer persistência do uso. O campo, a agricultura e o solo exposto e área preparada para plantio apresentaram vários erros, os quais não se tem conhecimento do porque de fato isso ocorreu.

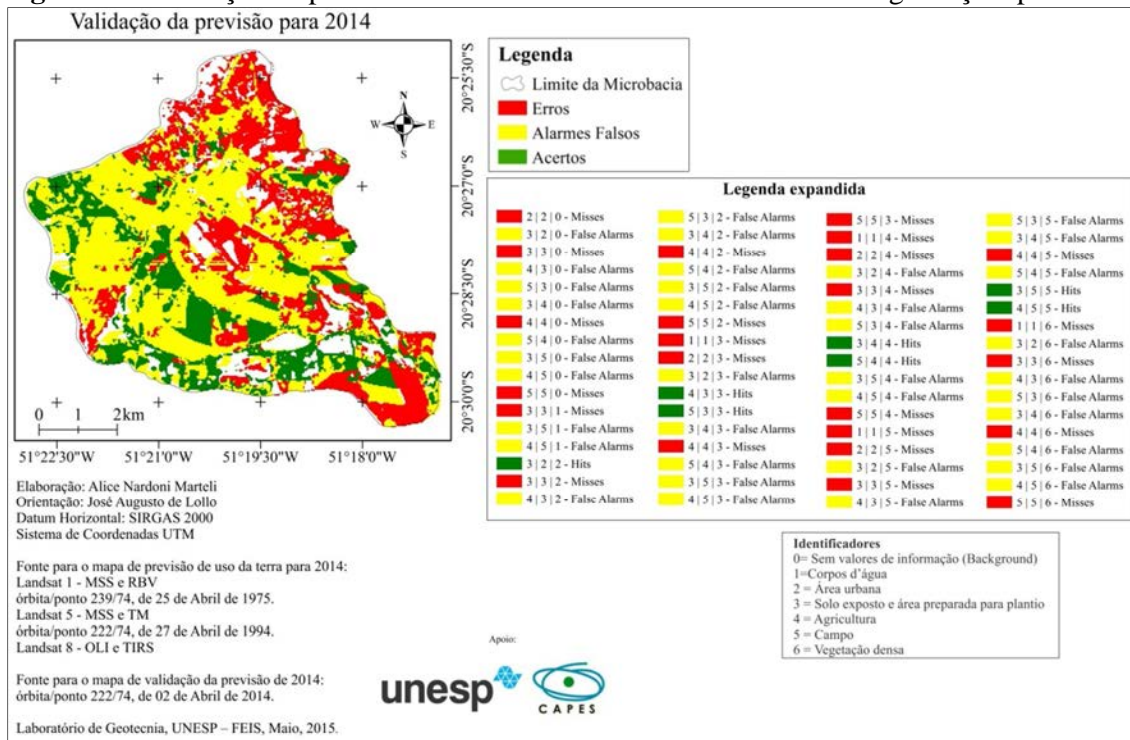
Aparentemente este problema ocorre na última etapa do processo de modelagem, na previsão de mudanças futuras (painel Change Prediction, guia Change Demand Modeling), pois mesmo editando a matriz da cadeia de Markov não houve melhora nos resultados previstos para 2014.

6.3.3.3 Validação para 2014

6.3.3.3.1 Validação para 2014 sem restrição e sem incentivos

A previsão sem restrição e sem incentivos obteve poucos acertos, seguido de erros e alarmes falsos, como observado na Figura 69. Além disso, alguns resultados de erros e alarmes falsos são erros “impossíveis de ocorrência”, pois, mesmos que pouco significativos, em termos de área, não deveriam ter sido considerados.

Figura 69. Validação da previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014



Fonte: Dados da pesquisa.

Estes erros e alarmes falsos são observados pela análise da legenda expandida. Por exemplo, o resultado 2|2|0, que significa que o modelo previu persistência de área urbana, mas mudou, no caso, para background (fundo zero/branco). Outro exemplo semelhante é onde o modelo previu mudança, por exemplo, de áreas de solo exposto e área preparada para plantio para agricultura, mas na verdade foi encontrado background (3|4|0).

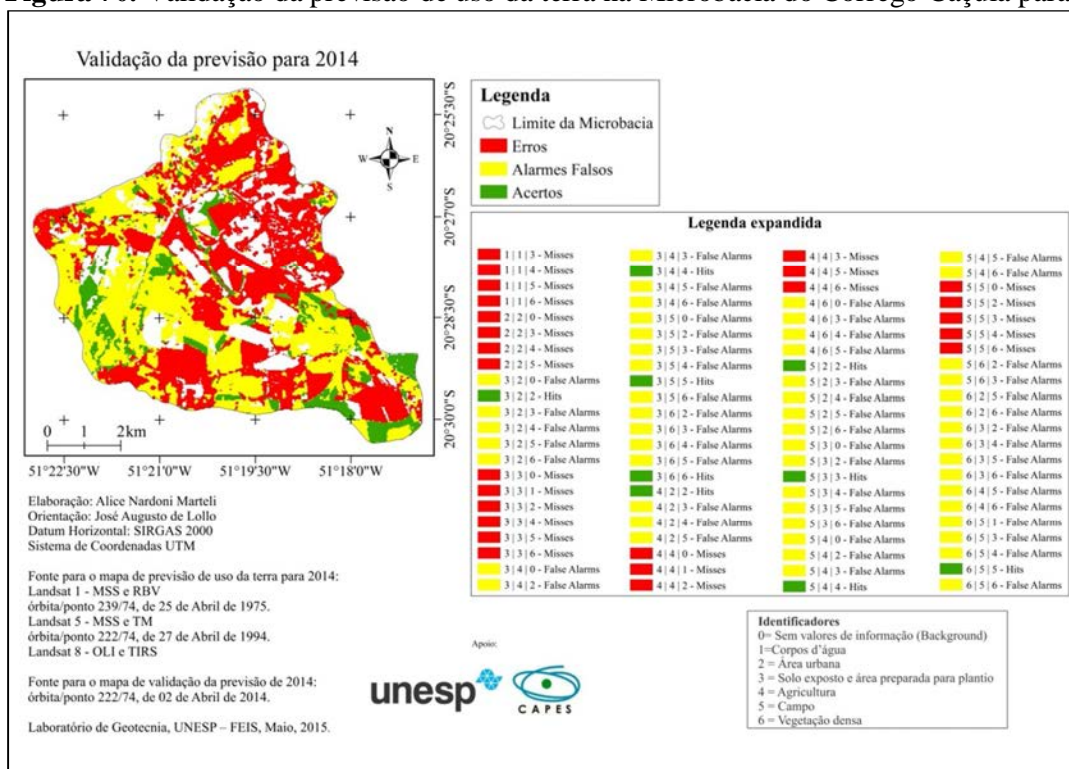
Nestes casos de “ocorrências impossíveis” poderia ser apontado que foi devido a erros de projeção, limite ou recorte da área de estudo, o que não foi, pois se caso houvesse qualquer um destes erros, o modelo não processaria nenhuma informação, pois como apresentado no Apêndice B (sobre a mensagem de erro, ver Figura 87) o LCM apresentaria a tela para correção, e caso isso ocorresse esperaria-se que o módulo de correção corrigisse o problema.

Ainda, vale destacar que alguns dos polígonos representados em branco equivalem às áreas de persistência de usos, como pode ser confirmado na Figura 49 para as classes de corpos d’água e área urbana. Todavia, se a previsão fosse satisfatória, na validação os polígonos de background corresponderiam exatamente (ou bem próximo) às classes de persistência de usos, o que não ocorreu.

6.3.3.3.1 Validação para 2014 com incentivo de expansão urbana

Ao considerar previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014 com incentivo de expansão urbana, a mesma obteve poucos acertos, como observado na validação apresentada na Figura 70. Parte significativa da área de estudo apresentou erros na validação, o que demonstra que a previsão não foi eficaz e conseqüentemente, não coincidiu com o mapa de uso e cobertura da terra de 2014 (Figura 41). Pela análise da legenda expandida, esta projeção também apresentou erros “impossíveis de ocorrência”.

Figura 70. Validação da previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014

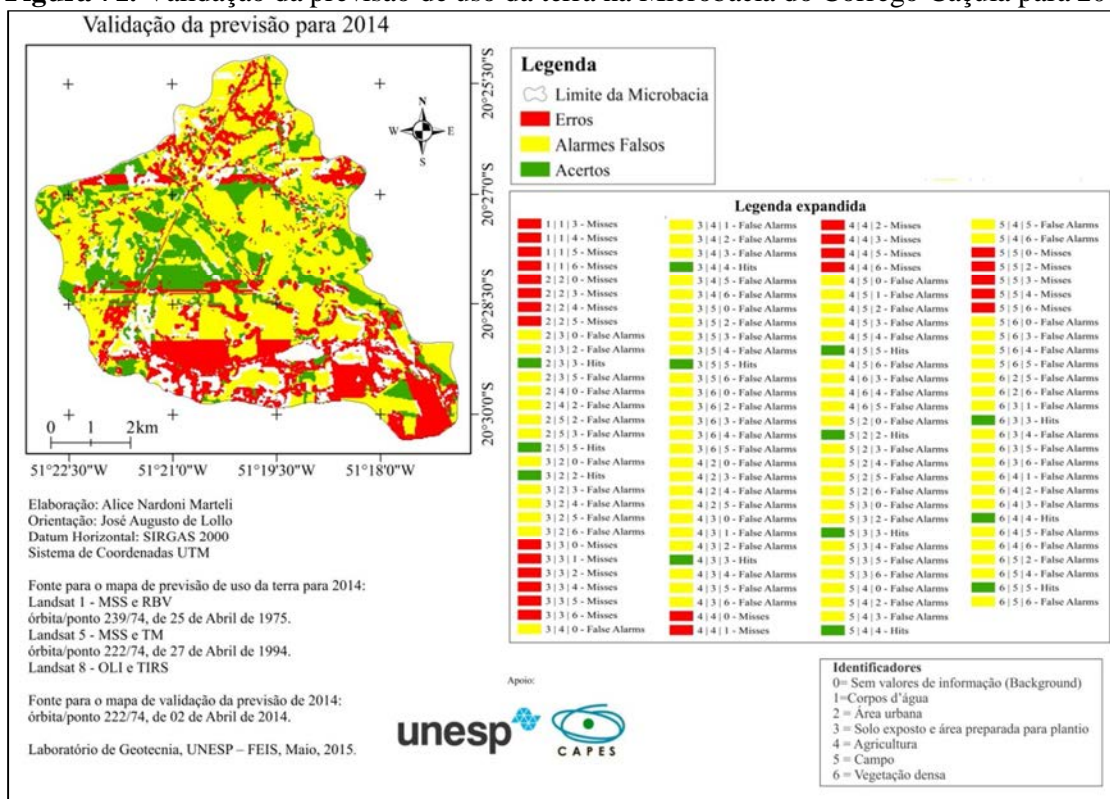


Fonte: Dados da pesquisa.

6.3.3.3.2 Validação para 2014 com restrição e com incentivos

A validação da previsão com restrição e com incentivos obteve mais acertos do que a validação da previsão com incentivo de expansão urbana (Figura 70). Em relação aos erros e alarmes falsos, esta previsão teve um predomínio de áreas classificadas como alarmes falsos, como pode ser observado na Figura 71.

Figura 71. Validação da previsão de uso da terra na Microbacia do Córrego Caçula para 2014



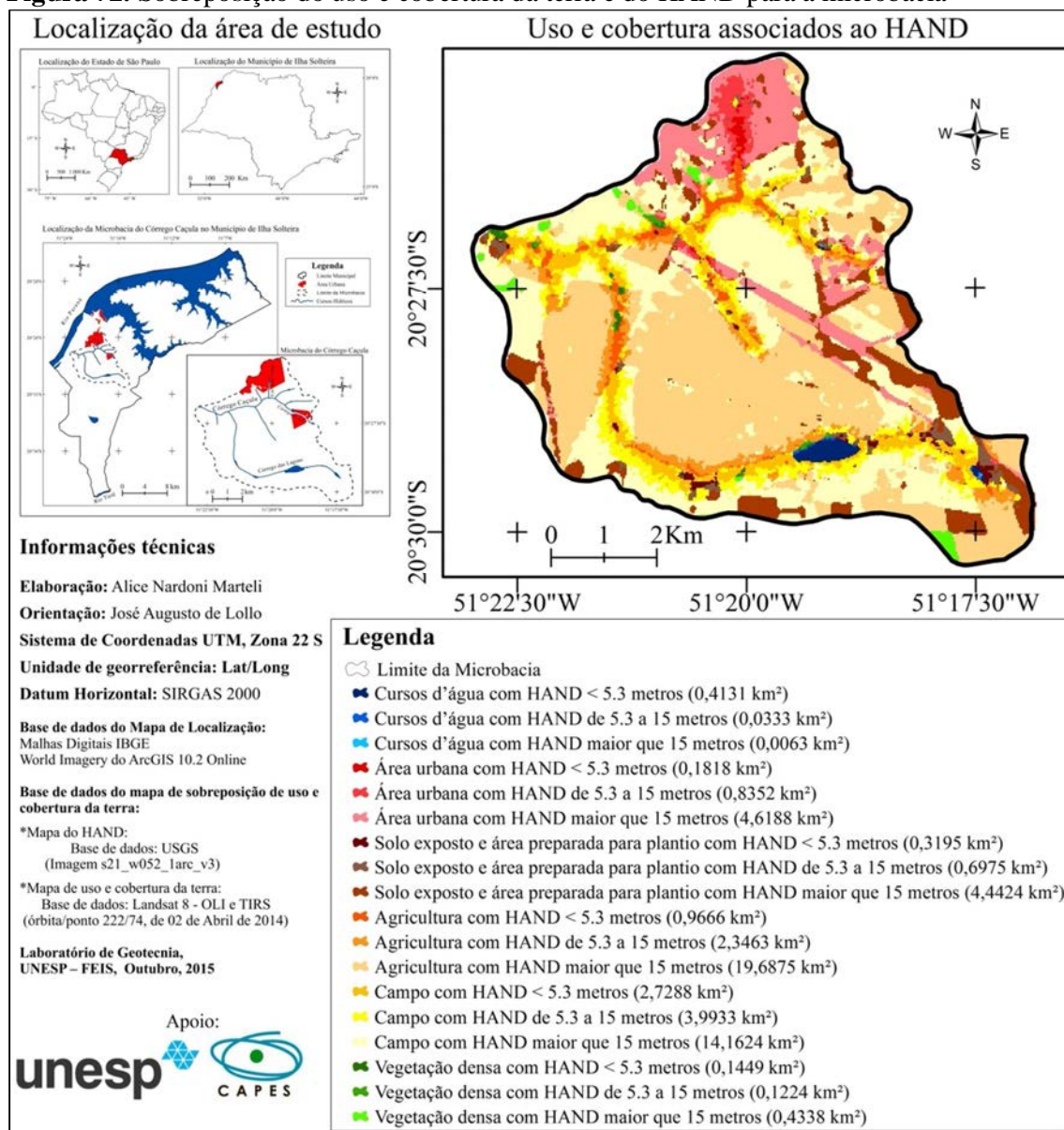
Fonte: Dados da pesquisa.

Além dos erros de “ocorrências impossíveis” também verificados nas Figuras 69 e 70, a validação da previsão com restrição e com incentivos apresentou riscos (faixas horizontais) oriundos da má previsão.

6.3.3.4 Potenciais cenários futuros da microbacia

Sobrepondo os resultados do modelo HAND sobre o mapa de uso e cobertura da terra de 2014, foi possível visualizar espacialmente as áreas suscetíveis a enchentes e inundações atualmente. Como apresentado na Figura 72, as áreas de planície fluvial e fundos de vale não apresentam cobertura vegetal natural. Estas áreas deveriam estar cobertas por matas ciliares, pois trata-se de áreas de proteção permanente.

Figura 72. Sobreposição do uso e cobertura da terra e do HAND para a microbacia



Fonte: Dados da pesquisa.

Na porção norte da microbacia hidrográfica do Córrego Caçula, se observa a impermeabilização excessiva da superfície em virtude do uso urbano. Além disso, nesta área se tem valores de HAND menores que 5,3 metros, o que segundo a metodologia de Rennó et al. (2008) indica áreas cujo nível do freático está à superfície do solo ou muito próximo dela.

A ocupação nessa região conta com loteamentos populares. Também está localizado, inclusive, o cemitério municipal. Como verificado pelo HAND, tais áreas são naturalmente suscetíveis a eventos de enchentes e inundações. Uma vez desprotegidas, isto é, impermeabilizadas, potencializam estes fenômenos. Além disso, como já documentado por

outros autores, Ilha Solteira vem sofrendo com eventos de enchentes e inundações há anos, de forma mais frequente em locais em que a rede de drenagem superficial apresenta deficiências.

Condições favoráveis à ocorrência de eventos de enchentes, inundações e alagamentos na microbacia do Córrego Caçula estão apresentados no Quadro 5. A espacialização desta classificação está apresentada na Figura 73. Embora não representado espacialmente os processos erosivos, tem-se conhecimento de que eles já ocorrem com frequência na área de estudo e, em determinadas condições, eles potencializam. Por exemplo, áreas de campo, composta por pastagens e vegetação rasteira, com HAND menor que 5,3 metros, dependendo das condições de campo, como pisoteio do gado e a própria densidade da vegetação (que pode ser natural, rala ou mesmo antrópica), tendem a sofrer processos erosivos.

Quadro 5. Classificação dos potenciais eventos na microbacia

CLASSES DE USOS DA TERRA	Cursos d'agua	HAND	< 5.3	C
			5.3 - 15	C
			> 15	B
	Área urbana	HAND	< 5.3	C
			5.3 - 15	C
			> 15	B
	Solo exposto	HAND	< 5.3	B
			5.3 - 15	A (e)
			> 15	A (e)
	Agricultura	HAND	< 5.3	A
			5.3 - 15	A
			> 15	A
	Campo	HAND	< 5.3	C (e)
			5.3 - 15	B
			> 15	A
	Vegetação densa	HAND	< 5.3	A
			5.3 - 15	A
			> 15	A

A = Baixíssimo potencial de acontecer eventos de enchentes, alagamentos e inundação;

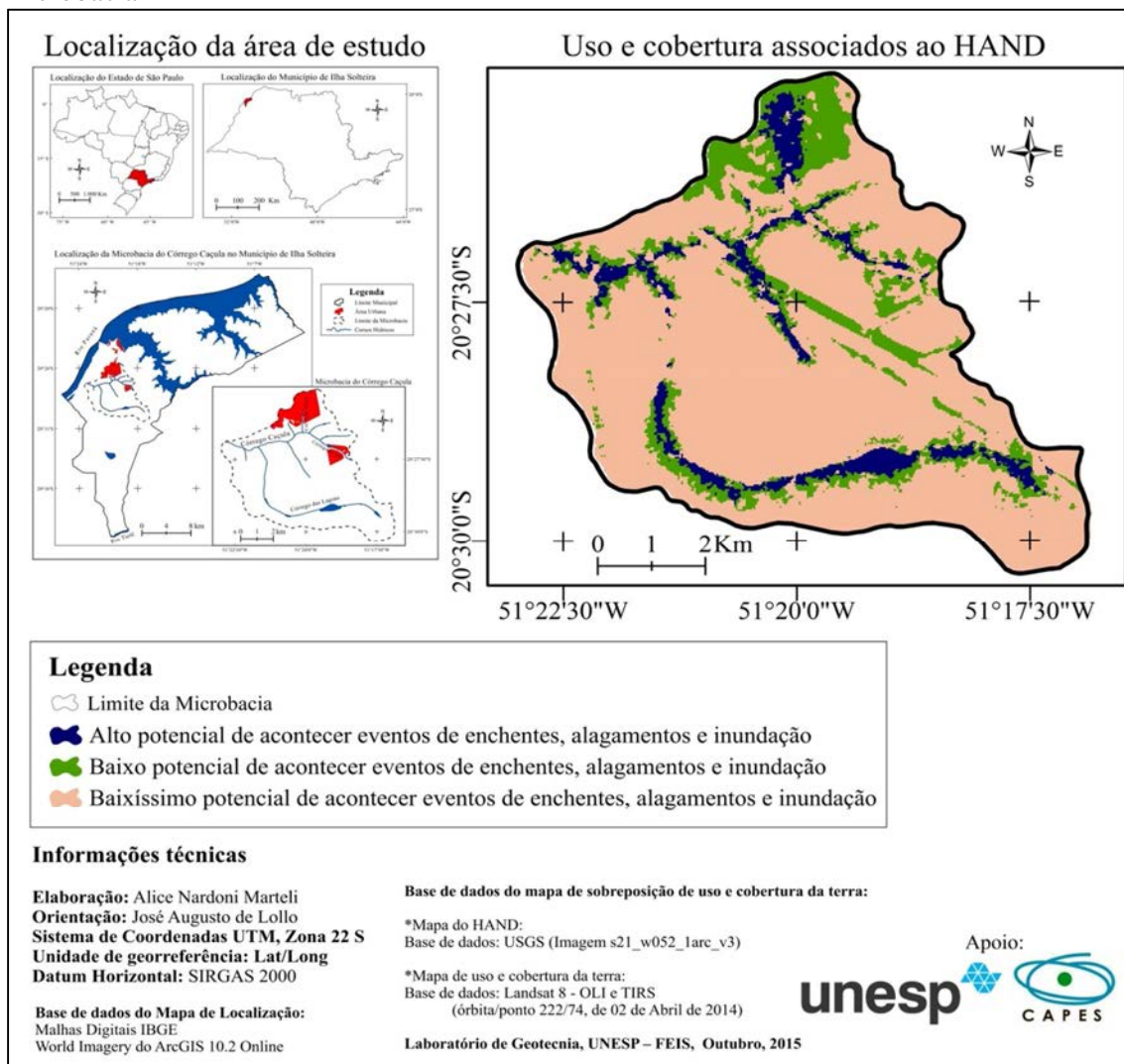
B = Baixo potencial de acontecer eventos de enchentes, alagamentos e inundação;

C = Alto potencial de acontecer eventos de enchentes, alagamentos e inundação;

(e) = Podem ocorrer processos erosivos.

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 73. Espacialização dos potenciais eventos de enchentes, alagamentos e inundação na microbacia



Fonte: Dados da pesquisa.

Como observado acima, dependendo da cobertura da terra e das condições de uso, os eventos apresentados podem ser potencializados. Em áreas cobertas por vegetação densa e agricultura (que promove uma proteção ao solo), o potencial para acontecer os eventos de enchentes, alagamentos, inundação e erosão é baixíssimo, isto é, improvável que aconteça, até porque estão localizadas em áreas cujo nível freático é suficientemente ou bastante profundo. Por outro lado, as áreas onde se verifica a presença da área urbana e impermeabilizada, são de valor baixo de HAND, cujo nível do freático está à superfície do solo ou muito próximo dela. Isso por sua vez aumenta a probabilidade de ocorrência desses fenômenos.

Nesse sentido, segundo dados de Lollo (1998), trabalhos de Vivanco (2013), Lollo, Vivanco e Santos (2013), Santos (2014), Vivanco, Lollo e Lorandi (2014) propuseram uma

delimitação preliminar de áreas suscetíveis a inundações e a processos erosivos levando em consideração as formas de terreno, definida a partir de curvatura horizontal e curvatura vertical. Segundo estes dados da literatura, as áreas suscetíveis à erosão que coincidem com HAND menor que 5,3 metros, se concentram nos elementos de terreno A.2.1., A.2.2., B.3.1 e B.3.2., os quais se localizam na área urbana e nos limites dessa com a área de expansão, exatamente regiões com maior tendência de ocupação urbana no município.

Além disso, os elementos de terreno A.2.1 e A.2.2 exibem solos de textura arenosa e perfis de solos bastante espessos, condições estas, favoráveis a processos erosivos. Já os elementos B.3.1 e B.3.2, apresentam perfis de solos menos espessos e com textura média a argilosa, condições menos críticas para erosão (LOLLO, 1998; VIVANCO, 2013; LOLLO; VIVANCO; SANTOS, 2013; SANTOS, 2014; VIVANCO; LOLLO; LORANDI, 2014).

Ainda, conforme os autores anteriormente citados, as áreas suscetíveis a inundações, que coincidem com HAND menor que 5,3 metros, se concentram nos elementos de terreno A.2.2. (localizado na área urbana e nos limites com a área de expansão urbana, em áreas onde são comuns lançamentos do sistema de drenagem urbana do município em córregos locais), B.1.1 e B.3.1. (localizados na área de expansão urbana, que por sua vez são áreas de várzeas, onde as inundações podem ser ainda mais intensas em função da menor espessura dos solos e texturas arenosos a médias) (LOLLO, 1998; VIVANCO, 2013; LOLLO; VIVANCO; SANTOS, 2013; SANTOS, 2014; VIVANCO; LOLLO; LORANDI, 2014).

A partir da análise da Figura 73 com dados da literatura, se observa que os ambientes classificados pelo HAND como baixios (< 5,3m) e ecótono (5,3 a 15m) possuem relevos classificados como B.1 e B.3, constituídos por solos rasos a pouco profundos, com textura arenosa a argilosa dependendo do substrato rochoso. Nessas áreas, a espessura do material inconsolidado, varia de menor que 1 metro, e com espessuras entre 1 a 3 metros, o que indica fortes potenciais para o escoamento superficial.

Segundo Santos (2014), ao norte da microbacia, onde são expressivos os fundos de vale, é caracterizado por ser consideradas com alto potencial de escoamento superficial, isto é, baixo potencial de infiltração, devido à influência das variáveis: densidade de drenagem (entre 2 e 4 canais/km²), litologia (Basalto), textura e gênese (solos LV - Latossolo Vermelho), e unidades de terreno predominantes B1 e B3, sem contar a presença da área urbana. Além disso, a permeabilidade é de 10⁻⁵m/s, o que significa que a velocidade de percolação é lenta, facilitando o escoamento superficial.

Por outro lado, na parte sul da microbacia, as áreas são consideradas com menor potencial de escoamento superficial, isto é, com alto potencial de infiltração, devido ao tipo de solo desta área (PVA – Argissolo Vermelho Amarelo) e unidades de terreno predominantes nessa área A2, B2 e B3, além da densidade de drenagem (<2 canais/km²), litologia (Arenito) e permeabilidade (10^{-4} m/s).

Alguns pontos ao sul da microbacia foram classificados com alta e média suscetibilidade a erosão, apesar de não serem áreas com ocupação urbana. Isto ocorreu devido apresentar como unidade de terreno A2. O mesmo é verificado no extremo norte da microbacia, que foi classificado com alta e média suscetibilidade a erosão e a unidade de terreno predominante é A2. O que difere entre essas duas porções é o tipo de solo e a permeabilidade, além do uso e cobertura atual da terra. Além disso, em ambas foi verificado que são de alto à baixo potenciais, a ocorrência de eventos de enchentes, alagamentos, inundação e processos erosivos.

A expansão urbana ao norte da área de estudo é preocupante visto que acarreta em inúmeros impactos ambientais. O município de Ilha Solteira aponta, em seu Plano Diretor, a área da microbacia como local estratégico para expansão da área urbana. Como observado na literatura, esta expansão das áreas urbanas próximo aos cursos hídricos acarreta em uma das suas principais causas na degradação qualitativa e quantitativa.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de terreno HAND pode ser uma ferramenta de grande utilidade nos estudos de planejamento do meio físico e mostrou-se bastante eficaz para representar a drenagem da microbacia hidrográfica do Córrego Caçula. Além disso, tem a vantagem de estar associado ao TerraHidro que é um aplicativo livre e aberto à colaboração de toda a comunidade científica interessada, como ressaltado por Santos e Linhares (2012). Contudo, em algumas regiões o comprimento da drenagem foi inferior ao real. Isso também foi relatado por Pires e Borma (2013).

Para aplicações locais utilizando o modelo HAND, os dados topográficos de 30 metros forneceram melhores detalhamentos que os dados de 90 metros, pois este mascarou algumas feições da microbacia. Além disso, como apontado por Rodrigues et al. (2011) as classes do HAND de vertentes ($> 15m$ e $\geq 7,6\%$) e platôs ($> 15m$ e $< 7,6\%$) são as que mais sofrem influência com a resolução espacial do dado, como verificado na Figura 38. Mesmo assim, ambos os dados SRTM, ou outras fontes similares, podem ser aplicados, pois oferecem resultados satisfatórios.

A utilização do *Land Change Modeler* não conduziu a resultados satisfatórios para a previsão de cenários futuros na área de estudada. Ainda há poucos trabalhos utilizando o LCM, o que torna escasso as discussões sobre sua eficácia. Talvez o modelo seja eficiente em áreas que sofreram bruscas alterações de mudança no uso e cobertura da terra.

No caso da microbacia hidrográfica do Córrego Caçula, a área de estudo é relativamente pequena e as mudanças foram sutis. Também teve uma tentativa de se utilizar várias classes de uso e cobertura da terra, onde o próprio tutorial do Idrisi (EASTMAN, 2012b) utilizou três classes apenas para previsão de cenários futuros. As classes por ele usadas foram: floresta, não floresta e nuvem.

Nesse sentido, trabalhos que aplicaram poucas classes de uso para previsão de cenários tiveram resultados satisfatórios. Quando a análise é isolada, também tem bons resultados. À medida que se insere diferentes combinações de mudanças, os resultados se degradam. Por outro lado, nesse projeto também foi testado três classes (antrópico, natural e água), mas também não se obteve resultados satisfatórios.

Ao comparar os resultados dos mapas obtidos por regressão logística e redes neurais, Oñate-Valdivieso e Sendra (2010) obtiveram melhores resultados para regressão logística na criação do modelo. No entanto, eles afirmam que esta apresentou erros consideráveis na

estimação do modelo de uso da terra, confundindo informações de classes de usos. Além disso, o cenário gerado para 2012 mostrou uma notável semelhança com o mapa de uso da terra correspondente a 2001, o mesmo ocorrido para a microbacia hidrográfica do Córrego Caçula, onde o cenário feito para 2014 mostrou bem semelhante com o mapa de uso da terra correspondente a 1994.

Por esses motivos, a projeção futura de uso e cobertura da terra na microbacia para os anos seguintes não foi considerada, visto que o modelo persistia em resultar em cenário semelhante aos dados de entrada. Além disso, foi observado que o Idrisi não permite que o usuário altere as funções da modelagem do LCM, que são usadas no interior do SIG. Por isso, o uso de camadas escondidas não se revelou vantajoso.

Sobre a validação, foram identificadas que existem combinações não apresentadas por Eastman (2012a e 2012b) como A | B | C, ou seja, nas legendas expandidas foram identificadas combinações do tipo 4|2|3 e 5|3|6, entre outras. Esses erros devem ser melhores investigados em aplicações futuras do modelo.

Quanto ao Plano Diretor Municipal de Ilha Solteira, este estudo pode colaborar para que sejam previstos os critérios de ocupação urbana que levem em consideração as condições naturais do meio físico apresentadas, permitindo assim que a bacia hidrográfica seja considerada como unidade de estudo e planejamento territorial, pois como observado, são necessárias áreas de proteção ambiental, que, no entanto, são inexistentes. A falta das APP's urbanas torna o Plano Diretor Municipal inadequado aos recursos hídricos, além das incongruências técnicas e conceituais apresentadas anteriormente.

Além disso, poderia haver projetos, mesmo que de extensão universitária, em parceria com a Prefeitura e a universidade para documentar, disponibilizar e atualizar as informações corretas do município a fim de evitar que sejam reproduzidos materiais incompletos e equivocados.

Em relação à situação da microbacia hidrográfica do Córrego Caçula, como observado, ela se encontra comprometida ambientalmente em vários aspectos (degradação do solo, água e vegetação). Por isso, a sugestão da pesquisa é reforçar o que já foi indicado em trabalhos anteriores: que seja aplicada a educação ambiental com objetivo de orientar a população sobre a importância do manejo de bacias hidrográficas.

8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS DE MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO

A partir das dificuldades encontradas, é preciso destacar algumas recomendações que auxiliem trabalhos futuros. Dentre estas dificuldades, o que merece maior destaque é sobre a escolha do modelo e da área de estudo. O modelo parece apresentar bons resultados em áreas que sofreram intensas mudanças em curto espaço de tempo, o que não ocorreu na área de estudo avaliada.

Por outro lado, em trabalhos cujos objetivos foram mais limitados o uso do LCM foi muito eficaz. Nessas aplicações, os autores se preocuparam apenas em identificar as mudanças de uso e cobertura da terra ao longo dos anos. Poucos foram os que tentaram extrapolar a análise para cenários futuros.

Por esse motivo, ficam duas propostas para trabalhos futuros: a aplicação de outros modelos a fim de comparar seu desempenho nesta área de estudo, ou em áreas cujas mudanças foram pouco dinâmicas ao longo dos anos e, aplicar o mesmo modelo em bacias diferentes (com maior área de abrangência e maior dinâmica espaço-temporal).

Em relação ao mapeamento, as ferramentas de geoprocessamento são inúmeras. No entanto, sobre as ferramentas do Idrisi, ainda se tem poucos materiais disponíveis para consulta (os que existem foram utilizados e estão indicados nas referências para consulta). Nesse material, por sua vez, não discutem os procedimentos do *Land Change Modeler*.

Por isso, nesse trabalho foram apresentados como forma de Apêndices os passos detalhadamente, para que auxilie as próximas pesquisas utilizando este SIG, e mais especificamente o modelo aqui utilizado, o LCM. Assim, sugere-se também que as próximas pesquisas apresentem os detalhes da modelagem para que se chegue a aplicações eficientes na modelagem de cenários futuros de uso e cobertura da terra.

Sobre a microbacia, há anos ela vem sendo estudada. No entanto, nem todos os cursos d'água possuem nomes, o que faz com que alguns trabalhos reportem nomes diferentes para a mesma área de interesse. Por isso, sugere-se uma padronização dos cursos d'água da microbacia do Córrego Caçula, bem como uma denominação para o afluente do curso localizado próximo ao cemitério municipal, como Córrego do Cemitério, por exemplo, já que este também já vem sendo interesse de pesquisa por já sofrer impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

A CIDADE. **Ilha Solteira ainda se recupera dos estragos causados pelo temporal.**

Votuporanga, 2013. Disponível em:

<<http://www.acidadevotuporanga.com.br/regiao/2013/01/ilha-solteira-ainda-se-recupera-dos-estragos-causados-pelo-temporal-n13645>>. Acesso em: 04 maio 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. O comitê de bacia hidrográfica: o que é o que faz? In: _____. **Cadernos de capacitação em recursos hídricos**. Brasília, DF: SAG, 2011. v. 1. 64 p. Disponível em:

<<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água. In: _____. **Cadernos de capacitação em recursos hídricos**. Brasília, DF: ANA, 2013, v. 5. 68 p. Disponível em:

<http://www.cbh.gov.br/EstudosETrabalhos/20140108101800_CadHidrico_vol5_completo.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2014.

AHEARN, D. S. et al. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 313, n. 3-4, p. 234–247, 2005.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Cap. 3, p. 41-52.

ANDRADE, E.; DANNA, L. C.; SILVA, P. C. F. Mapeamento de perigos e riscos de inundação no Município de Aparecida (São Paulo). **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 2, p. 28-42, 2012. Disponível em:

<<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/anigeo/v35n2/v35n2a03.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2014

ARANTES, G. **Planeta água**. Rio de Janeiro, 1981. Música.

ARASATO, L. S.; AMARAL, S.; XIMENES, A. C. Densidade de drenagem e HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) do SRTM para modelagem de distribuição de espécie de palmeiras no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais eletrônicos...** Natal: INPE, 2009. p. 5089-5097. Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.20.42.48/doc/5089-5097.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2013.

BARRETO, R. **Identificação de áreas suscetíveis a eventos extremos de chuva no Distrito Federal**. 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008. Disponível em:

<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Frepositorio.unb.br%2Fbitstream%2F10482%2F3538%2F1%2F2008_RaquelBarreto.pdf&ei=TJT_U6q0LYquggTU54HYCg&usg=AFQjCNGhwO5Mw4BEdVHHb5jcf3Xiii-LNw&sig2=4RY3zRRW3Q0FRP7P5TqXGA&bvm=bv.74035653,d.eXY>. Acesso em: 28 ago. 2014

BASTOS, P. C. **Efeitos da urbanização sobre vazões de pico de enchente**. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009. Disponível em: <<http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20completa.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2014.

BATISTA, P. H. L. **Cartografia geotécnica aplicada aos riscos de alagamento e inundação na bacia do Rio São Bartolomeu**. 2014. 223 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.geotecnia.unb.br/downloads/dissertacoes/236-2014.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2014.

BELUCO, A. **Classificação de imagens de sensoriamento remoto baseada em textura por redes neurais**. 130 f. 2002. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – CEPSRM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

BRAGA, R. Planejamento urbano e recursos hídricos. In.: BRAGA, R. ;CARVALHO, P. F. (Org.). **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional**. Rio Claro: Deplan-IGCE-UNESP, 2003. p. 113 - 127.

BRASIL. Câmara Legislativa. **Lei nº 11.326, de 24 de Julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da política nacional da agricultura familiar e empreendimentos familiares rurais. Brasília, DF: Centro de Documentação e Informação, 2006. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2006/lei-11326-24-julho-2006-544830-norma-actualizada-pl.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2012.

BRASIL. Congresso Nacional, Secretaria Especial de Editoração e Publicações do Senado Federal. **Medida provisória nº 547/11, de 11 de outubro de 2011**. Altera as Leis 6.766/79, 10.257/01, e 12.340/10. Brasília, DF: Congresso Nacional, Secretaria Especial de Editoração e Publicações do Senado Federal, 2011b.

BRASIL. **Medidas preventivas e saneadoras de catástrofes climáticas**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 10 de Março de 2011a. (Relatório da comissão especial). Disponível em: <<http://www.glauberbraga.com.br/imagens/estatuto.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2013.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Programas da Secretaria Nacional de Defesa Civil**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 2014. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/programas/defesacivil/index.asp>>. Acesso em: 12 maio 2014.

BRASIL. Senado Federal. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Constituição da República Federativa do Brasil 1988**. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, DF, 5 out. 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 12 maio 2014.

BRASIL. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Código de águas. **Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Rio de Janeiro, 10 jul. 1934. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm>. Acesso em: 30 jul. 2014.

BRASIL. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 6.766, de 19 de Dezembro de 1979.** Dispõe sobre o parcelamento do solo e dá outras providências. Brasília, DF, 19 dez. 1979. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766compilado.htm>. Acesso em: 12 Maio 2014.

BRASIL. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá Outras Providências. Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 11 maio 2014.

BRASIL. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília, DF, 17 jul. 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19984.htm>. Acesso em: Acesso em: 30 jul 2014.

BRASIL. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece as diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF, 10 jul. 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acesso em: 08 jun. 2014.

BRASIL. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.608, de 10 de Abril de 2012.** Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nº. 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Subchefia para Assuntos Jurídicos, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: 12 maio 2014.

BROLLO, J. M.; TOMINAGA, L. K. (Org.). Programa estadual de prevenção de desastres naturais e de redução de riscos geológicos no Estado de São Paulo. **Desastres naturais e riscos geológicos no Estado de São Paulo:** cenário de referência – 2012. São Paulo: Coordenadoria Estadual de Defesa Civil, 2012. 100 p.(Boletim nº 1 - Grupo de Articulação de Ações Executivas - GAAE). Disponível em: <http://www.defesacivil.sp.gov.br/v2010/portal_defesacivil/conteudo/documentos/pdn/boletimgaae27dez2012.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2014.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems.** New York: Oxford University, 2004. 333 p.
CAMARGO, A. F. M.; PEREIRA, A. M. M. Qualidade da água em áreas urbanas. In.: BRAGA, R. CARVALHO, P. F. (Org.). **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional.** Rio Claro: Deplan-IGCE-UNESP, 2003. 131 p.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília, DF: Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2014.

CARVALHO, P. F. Águas nas cidades: reflexões sobre usos e abusos para aprender novos usos. In.: BRAGA, R. CARVALHO, P. F. (Org.). **Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional**. Rio Claro: Deplan-IGCE-UNESP, 2003, 131p.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA – CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. Campinas: Unicamp, 2013. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 28 abr. 2013.

CENTRO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES - CENAD. **Anuário brasileiro de desastres naturais**: 2012. 2. ed. Brasília, DF: CENAD, 2013. 84 p. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f22ccccd-281a-4b72-84b3-654002cff1e6&groupId=185960>. Acesso em: 28 ago. 2014.

CENTRO VIRTUAL DE ESTUDOS AMBIENTAIS URBANOS DA UNESP - CEURB. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil: Perfil Municipal - Ilha Solteira (SP)**. Rio Claro: IGCE, [20??]. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/ceurb/basededados/pdf/ilha%20solteira.PDF>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

CHANG, H. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. **Water Research**, London, v. 42, n. 13, p. 3285-3304, 2008.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO.; DRENATEC ENGENHARIA - CESP. **UHE Ilha Solteira**: plano ambiental de conservação e uso do entorno de reservatório artificial – PACUERA. Diagnóstico Ambiental, Unidades Ambientais Homogêneas, Zoneamento Socioambiental e Plano de Gerenciamento do Reservatório. Ilha Solteira: CESP, 2009. v. 1. 382 p. Acesso em: <http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Ilha%20Solteira/UHE%20ILHA%20SOLT EIRA_PACUERA/PACUERA_relato%3%B3rio/>. Disponível em: 17 Abr. 2014.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA IRRIGAÇÃO NA REGIÃO DE URUBUPUNGÁ - CINDIRU. **Minuta do termo de referência para o estudo de viabilidade técnica, econômica e social para o desenvolvimento da agricultura irrigada na Região de Urubupungá**. Ilha Solteira, 1995. 32 p.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL - CATI. **Microbacias II**: acesso ao mercado: anexo I: Informações gerais da agropecuária no Estado de São Paulo. São Paulo: CATI, 2011. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/microbacias2/arquivos/Anexo1.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

COSTA, T. C. C.; MARCO JÚNIOR, P. D.; BRITES, R. S. Classificação do uso/cobertura da terra por meio de algoritmos não paramétricos comparados ao classificador de máxima verossimilhança. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 56, p. 65-87, 2005.

Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/geociencias/article/view/4907/3739>>. Acesso em: 5 ago. 2014.

CRUZ, S. P. **Avaliação da degradação do meio físico por áreas de empréstimo usando geoindicadores e sistema de informações geográficas: área urbana de Ilha Solteira (SP)**. Dissertação 2008. 161 f. (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008. Disponível em <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bis/33004099084P5/2008/cruz_sp_me_ilha.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2014.

CULSHAW, M. G.; PRICE, S. J. The 2010 Hans Cloos lecture: the contribution of urban geology to the development, regeneration and conservation of cities. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, Heidelberg, v. 70, n. 3, p. 333–376, 2011. Disponível em: <http://nora.nerc.ac.uk/14979/1/Urban_geology_v4-2_as_final_proof.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2014.

DAMASCENO, G. F. et al. Representação cartográfica do uso e ocupação do solo e avaliação de propriedades físicas e químicas dos horizontes superficiais de perfis pedológicos do lado direito do Parque Ecológico Municipal “Bióloga Tânia Mara Netto Silva”, Ourinhos/SP. In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, 16., 2010, Porto Alegre. **Anais Eletrônicos...** Porto Alegre: AGB, 2010. p. 1-10. Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.agb.org.br%2Fevento%2Fdownload.php%3FidTrabalho%3D3390&ei=mH2nUYGyJ6yB0QG02YGQDg&usg=AFQjCNFyC7bOelFrGc-PPMpUNe6g52hBQ&sig2=OPmVUpTysdK82JiZO5iguQ&bvm=bv.47244034,d.dmQ>>. Acesso em: 29 maio 2013.

DANIEL, L. A. Meio ambiente e saúde pública. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (Org.). **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap.5, p. 95-118.

DEWAN, A. M.; YAMAGUCHI, Y. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. **Applied Geography**, Kidlington, v. 29, n. 3, p. 390–401, 2009.

DG ADVANCED. DG SRTM Void Killer: clear/remover. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <<http://www.dgadv.com/dgvk/>>. Acesso em: 17 set. 2015.

DIAS, J. H. P. **Dúvidas vegetação Ilha**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <joao.dias@cesp.com.br> em 16 abr. 2014. (E-mail para: Alice Nardoni Marteli <alicensmart@gmail.com>).

DOURADO, L. A. C. et al. Ilha Solteira contraste de uma cidade planejada. In: ENCONTRO SUL-MATOGROSSENSE DE GEOGRAFIA, 12., 2003, Três Lagoas. **Anais...** Três Lagoas: UFMS, 2003. Disponível em <<http://www.agr.feis.unesp.br/Ilha%20Solteira%20contrastes.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2014.

DOURADO, L. A. C.; SILVA, E. A. Espacialização e ordenamento das praças, espaços de recreação e lazer, na Estância Turística Ilha Solteira – SP. **Revista Eletrônica da Associação**

dos Geógrafos Brasileiros, Três Lagoas, v. 2, n. 2, p. 67-86, set. 2005. Disponível em: <http://www.ceul.ufms.br/agbtl/lilian_edima.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2014.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows**: manual do usuário: introdução e exercícios tutoriais. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, 1998. 240 p. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/downloads/Tutorial_Idrisi_for_Windows_2.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2013.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva**: manual version 17. Worcester, MA: Clark University, 2012a.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva**: tutorial version 17. Worcester, MA: Clark University, 2012b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Brasil em Relevo**. São Paulo: Carta SF-22-V-B. SRTM 90m. Articulação compatível com a escala 1:250.000 (IBGE). Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum WGS84. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/download/sp/sf-22-v-b.htm>>. Acesso em: 08 nov. 2013.

EXAME. **As 50 melhores cidades do Brasil para viver, segundo a ONU**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/as-50-melhores-cidades-do-brasil-para-se-viver-segundo-onu>>. Acesso em: 12 abr.2014.

FERREIRA, R. C.; FRANCISCO, J. A legislação ambiental e urbanística no trato das fronteiras d'água. In: BRAGA, R. CARVALHO, P. F. (Org.). **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional**. Rio Claro: Deplan-IGCE-UNESP, 2003. p. 87-105.

FOLHA CIDADE. **Chuva e fortes ventos causam estragos em Ilha Solteira**. Ilha Solteira, 2015. Disponível em: <<http://jornalfolhacidade.com/chuva-e-fortes-ventos-causam-estragos-em-ilha-solteira/>>. Acesso em: 04 maio 2015.

G1 RIO PRETO E ARAÇATUBA. **Chuva forte alaga avenida de Ilha Solteira e causa estragos na região**. São José do Rio Preto, 2013b. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2013/11/chuva-forte-traz-transtornos-para-moradores-na-regiao-noroeste-paulista.html>>. Acesso em: 04 maio 2015.

G1 RIO PRETO E ARAÇATUBA. **Temporal derruba árvores e provoca acidentes em Ilha Solteira, SP**. São José do Rio Preto, 2013a. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/vc-no-g1-sp/noticia/2013/01/temporal-derruba-arvores-e-provoca-acidentes-em-ilha-solteira-sp.html>>. Acesso em: 04 maio 2015.

G1 RIO PRETO E ARAÇATUBA. **Temporal em Ilha Solteira derruba estrutura e cancela carnaval**. São José do Rio Preto, 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2014/03/temporal-em-ilha-solteira-derruba-estrutura-e-cancela-carnaval.html>>. Acesso em: 04 maio 2015.

G1 RIO PRETO E ARAÇATUBA. **Vendaval derruba torres de energia de Ilha Solteira, em São Paulo**. São José do Rio Preto, 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/vc-no-g1/noticia/2010/10/vendaval-derruba-torres-da-maior-hidreletrica-do-estado-de-sao-paulo.html>>. Acesso em: 04 maio 2015.

GOMES, V. S. et al. Levantamento florístico de árvores e arbustos na fazenda Matas do Lageadinho, no município de Ourinhos – SP. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DAS FACULDADES INTEGRADAS DE OURINHOS, 11., 2012, Ourinhos. **Anais Eletrônicos...** Ourinhos: FIO, 2012. p.1-15. Disponível em: <http://fio.edu.br/cic/anais/2012_xi_cic/PDF/Bio/01.pdf>. Acesso em: 29 maio 2013.

GUIDOLINI, J. F.; PEDROSO, L. B.; ARAÚJO, M. V. N. Análise temporal do uso e ocupação do solo na microbacia do Ribeirão do Feijão, município de São Carlos - SP, entre os anos de 2005 e 2011. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2013, p. 4503-4509. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1549.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2014.

HERNANDEZ, F. B. T. et al. **Cinturão Verde**: projeto piloto de agricultura irrigada em Ilha Solteira - SP. Ilha Solteira: UNESP / FEPISA, 2000. 85p. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/acespeciais.php>>. Acesso em: 05 out. 2015.

HOJE MAIS. **Bombeiros realizam treinamento para enchentes e alagamentos na região**. Andradina, 2014. Disponível em: <<http://www.hojemais.com.br/andradina/noticia/policia/bombeiros-realizam-treinamento-para-enchentes-e-alagamentos-na-regiao>>. Acesso em: 04 maio 2015.

HUONG, H. T. L.; PATHIRANA, A. Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. **Hydrology and Earth System Sciences**, Goettingen, v.17, n.1, p. 379–394, 2013. Disponível em: <<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/379/2013/hess-17-379-2013.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2014.

ILHA DE NOTÍCIAS. **Aguardando solução, moradores “lutam” contra alagamento**. Ilha Solteira: Ilha de Notícias, 2013. Disponível em: <<http://www.ilhadenoticias.com/index.php/noticias/32-destaques/1021-aguardando-solucao-moradores-lutam-contralagamento.html>>. Acesso em: 04 maio 2015.

ILHA SOLTEIRA. **Mapas**: Anexos do Plano Diretor Participativo. Ilha Solteira, 2008. Disponível em: <http://www.ilhasolteira.sp.gov.br/planodiretor/ante_projeto.html>. Acesso em: 07 nov. 2014.

ILHA SOLTEIRA. Prefeitura Municipal. **Lei complementar nº 151 de 01 de julho de 2008**. Institui o Plano Diretor do Município de Ilha Solteira, cria o Conselho da Cidade e dá outras providências. Ilha Solteira, 2008. Disponível em: <<http://www.ilhasolteira.sp.gov.br/planodiretor/images/Leic-151.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2014.

ILHA SOLTEIRA. Prefeitura Municipal. **Lei nº 1137, de 23 de abril de 2004**. Redefine o Perímetro Urbano e a Zona de Expansão Urbana do Município de Ilha Solteira e dá outras providências. Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <<http://www.ilhasolteira.sp.gov.br/planodiretor/images/Lei-1137.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2015.

IMPACTO ONLINE. **Bombeiros treinam para ocorrências de enchentes e alagamentos**. Muritinga do Sul, 2015. Disponível em: <<http://jornalimpactoonline.com.br/cidades/bombeiros-treinam-para-ocorrencias-de-enchentes-e-alagamentos>>. Acesso em: 04 maio 2015.

IMPACTO ONLINE. **Ilha:** temporal fecha rodovias, arrasta carros e quase mata 7. Muritinga do Sul, 2013b. Disponível em: <<http://www.jornalimpactoonline.com.br/policia/ilha-temporal-fecha-rodovias-arrasta-carros-e-quase-mata-7>>. Acesso em: 04 maio 2015.

IMPACTO ONLINE. **Rio Paraná vai provocar inundações a partir desta sexta.** Muritinga do Sul, 2013a. Disponível em: <<http://www.jornalimpactoonline.com.br/cidades/rio-parana-vai-provocar-inundacoes-a-partir-desta-sexta>>. Acesso em: 04 maio 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades@ 2014.** Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=352044>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapas:** bases cartográficas e referenciais do território. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 18 set. 2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 1981a. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 1981b. Escala 1:1.000.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Plano de bacia da unidade de gerenciamento de recursos hídricos do Rio São José dos Dourados - UGRHI 18. 2008.** Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-SJD/1239/sjd_plano%20de%20bacia.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2014. (Relatório técnico nº 87 018–205)

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS - IFMG. **Hidrogeomorfologia aplicada ao zoneamento de áreas de risco hidrológico na Bacia do Rio Doce (MG/ES):** programa institucional de bolsas de iniciação científica e desenvolvimento tecnológico. Governador Valadares: IFMG, 2012. Disponível em: <http://www.ifmg.edu.br/site_campi/g/images/arquivos_governador_valadares/hidro.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2014.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DE SÃO PAULO – IGGSP. **Bela Floresta.** Região Sul do Brasil. São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, 1967. 1 folha SF-22-C-IV-1, color, 76x57 cm. Escala 1:50.000. Disponível em: <<http://geoserver.ourinhos.unesp.br/cartastopograficas/1-50000/jpg/>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DE SÃO PAULO – IGGSP. **Ilha Solteira.** Região Sul do Brasil. São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, 1965. 1 folha SF-22-C-II-3, color, 76x57 cm. Escala 1:50.000. Disponível em: <<http://geoserver.ourinhos.unesp.br/cartastopograficas/1-50000/jpg/>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Glossário de termos:** gestão de recursos hídricos e meio ambiente. Belo Horizonte: IGAM, 2008. 90 p. Disponível em: <http://www.cbhpara.org.br/Glossario_IGAM.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Catálogo de imagens:** Satélite Landsat 1. São José dos Campos, 2014a. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 02 mar. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Catálogo de imagens:** Satélite Landsat 5. São José dos Campos, 2014b. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 10 maio 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Departamento de Processamento de Imagens. **Terra View.** São José dos Campos, 2013c. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terraview/index.php>>. Acesso em: 18 set. 2015

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Divisão de Processamentos de Imagem - DPI. AMBDATA: variáveis ambientais para modelagem de distribuição de espécies. **Distância vertical à drenagem mais próxima.** São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/hand.php>>. Acesso em: 28 set. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Nova tecnologia de modelagem de terreno revela áreas mais sujeitas a inundações.** 2013a. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=2837>. Acesso em: 12 maio 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **TerraHidro.** 2013b. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/menu/Projetos/terrahidro.php>>. Acesso em: 01 abr. 2013.

JACAREÍ. Prefeitura Municipal. Secretaria de Infraestrutura Municipal. **Plano Diretor de Drenagem - Contrato nº 6.007.00/2010.** Jacareí: Secretaria de Infraestrutura Municipal. 2012. 51 p. (Relatório 4: Medidas não estruturais). Disponível em: <<http://www.jacarei.sp.gov.br/uploads/arquivo/2012/10/b1ef4-arquivo-Relat%C3%B3rio%204%20-%20Medidas%20n%C3%A3o%20estruturais.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2014.

JONKMAN, S. N.; BOCKARJOVA, M.; KOK, M.; BERNARDINI, P. Integrated hydrodynamic and economic modeling of flood damage in the Netherlands. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 66, n. 1, p.77-90, maio 2008. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0921800907006155/1-s2.0-S0921800907006155-main.pdf?_tid=bafc435e-2ee2-11e4-a4a9-00000aab0f26&acdnat=1409251386_2a6684b1a6ec79557437fad07a0bc18>. Acesso em: 28 ago. 2014

LEAL, A. C. Gestão urbana e regional em bacias hidrográficas: interfaces com o gerenciamento de recursos hídricos. In.: BRAGA, R. CARVALHO, P. F. (Org.). **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional.** Rio Claro: Deplan-IGCE-UNESP, 2003. p. 65 – 85.

LIMA, E. A. C. F.; CAVALHEIRO, F. Proposta de um sistema de áreas de conservação ambiental para o município de Ilha Solteira, SP. In: SANTOS, J. E.; CAVALHEIRO, F.;

PIRES, J. S. R.; OLIVEIRA, C. H.; PIRES, A. M. Z. C. R. (Org.). **Faces da polissemia da paisagem: ecologia, planejamento e percepção**. São Carlos: Rima Editora, 2004. p. 393-407.

LIMA, E. A. C. F.; SILVA, H. R.; ALTIMARE, A. L. Uso atual da terra no Município de Ilha Solteira, SP: riscos ambientais associados. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 4, n. 2, p. 81-96, 2004.

LIMA, L. H. M. A construção da usina hidrelétrica e os primeiros sinais de segregação socioespacial em Ilha Solteira/SP. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, v. 18, n. 10, nov. 2013. Disponível em: <<http://www.cptl.ufms.br/geo/revista-geo/Revista/Revista18/6.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2014.

LOLLO, J. A. Caracterização geotécnica da área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP) com o uso de formas de relevo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABGE, 1998.

LOLLO, J. A. et al. Use of electrical resistivity to identify collapsible soils in Brazil. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, Heidelberg, v. 36, p. 299 - 307, 2011.

LOLLO, J. A. Urban runoff estimation using relief attributes from topodata project: a case study in Ilha Solteira, Brazil. In: SPACES AND FLOWS, 4, 2013, Amsterdam. **Proceedings...** Champaign: Common Ground Publishing, 2013. v. 1, p.1-8.

MANOEL, L. O. **Avaliação e monitoramento da qualidade da água na microbacia do córrego Caçula no Município de Ilha Solteira-SP**. Dissertação 2013. 167 f. (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/pos-graduacao/2013_leticia.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2014.

MARTELI, A. N.; LOLLO, J. A. Efeitos da mudança de uso da terra no município de Ilha Solteira - SP, Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**. Tupã, v. 02, n. 08, p. 73-86, 2014. Disponível em: <http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/728>. Acesso em: 18 dez. 2015.

MARTELI, A. N.; LOLLO, J. A. Mudanças no uso da terra na microbacia do Córrego Caçula (SP) e degradação ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 9., 2015, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABGE, 2015. p. 1-5.

MENGUE, V. P.; FONTANA, D. C. Metodologia para mapear áreas de arroz irrigado utilizando o Modelo HAND em áreas agrícolas de São Borja e Pelotas/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2013, p. 728-734. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1227.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

MN CONSULTORIA E PROJETOS. **Diagnóstico dos processos erosivos na área de expansão urbana de Ilha Solteira - SP**. Ilha Solteira, 2009. 58 p.

MONTENEGRO, M. H.; TUCCI, C. E. M. Saneamento ambiental e águas pluviais. In.: BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Gestão do território e manejo integrado das águas urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. Cap. 1, p. 7 - 20.

MOREIRA, A. A. C. et al. Caracterização morfometria e hidrologia da bacia hidrográfica do Rio Salamanca, Barbalha, CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais eletrônicos...** Maceió: ABRH, 2011. p.1-15. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/a90995540832d6e01d337f8660325342_8f20737f7c6b01b18c64feb1fe80e135.pdf>. Acesso em: 01 set. 2014.

MOURA, R. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; LEITE, M. A.; FRANCO, R. A. M.; FEITOSA, D. G.; MACHADO, L. F. Qualidade da água para uso em irrigação na microbacia do córrego do Cinturão Verde, município de Ilha Solteira. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 5, n. 1, p. 68-74, 2011. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/V.5-n.1-p.68-74_Moura_et_al..pdf>. Acesso em: 31 ago. 2015.

NOBRE, A. D. et al. Height above the nearest drainage – a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 404, n. 1-2, p. 13-29, jun. 2011. Disponível em: <[NOBRE, A. D. **Modelo HAND, um novo olhar sobre a paisagem**. \[S. l.: s. n.\], 2012. Disponível em: <<http://modelohand.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 02 abr. 2013.](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDkQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F229353787_Height_Above_the_Nearest_Drainage__a_hydrologically_relevant_new_terrain_model%2Ffile%2F9cfd50ebe4005d068.pdf&ei=JmNUbWTEuXN0wG5v4GQCw&usq=AFQjCNFejn d8LX3uRnvInEtXNiaYlmgA4A&sig2=YRT8_7Rj5nm2eG1JW632zw&bvm=bv.46340616,d.dmQ>. Acesso em: 02 maio 2013.</p>
</div>
<div data-bbox=)

OLIVEIRA, C. M. G.; RODRIGUES, R. A.; LOLLO, J. A. Carta de risco de colapso de solos para a área urbana de Ilha Solteira (SP), na escala 1:10.000. **Geotecnia**, Lisboa, v. 110, p. 183 - 198, 2007.

OLIVEIRA, J. B. et al. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Embrapa, 1999. Escala 1:500.000.

OÑATE-VALDIVIESO, F.; SENDRA, J. B. Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 395, n. 3-4, p. 256-263, 2010. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0022169410006566/1-s2.0-S0022169410006566-main.pdf?_tid=cd09544e-b4e2-11e3-8c59-00000aacb361&acdnat=1395837374_e2823b4273c57c1816fe74009e2ffe11>. Acesso em: 26 mar. 2014.

PEJON, O. J.; RODRIGUES, V. G. S.; ZUQUETTE, L. V. Impactos Ambientais sobre o solo. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (Org.). **Engenharia ambiental**: conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap. 14, p. 317-343.

PIRES, E. G.; BORMA, L. S. Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrografias em ambiente de Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** São José dos

Campos: INPE, 2013. p. 5568-5575. Disponível em:

<<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1534.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

PIROLI, E. L. **Disciplina de geoprocessamento**: práticas em Idrisi: versão Taiga. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010b. 56 p. Disponível em:

<http://vampira.ourinhos.unesp.br:8080/cediap/material/praticas_idrisi_taiga.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2013.

PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento**. Ourinhos: UNESP, 2010a. 46 p.

Disponível em:

<http://vampira.ourinhos.unesp.br:8080/cediap/material/livro_introducao_ao_geoprocessamento.pdf>. Acesso em: 9 set. 2014.

PIROLI, E. L.; ISHIKAWA, D. T. K.; DEMARCHI, J. C. Análise das mudanças no uso do solo da microbacia do córrego das Furnas, município de Ourinhos - SP, entre os anos de 1972 e 2007, e dos impactos sobre suas áreas de preservação permanente, apoiada em geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO –

SBSR, 15, 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 6333-6340. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/3ERPFQTRW/3A6J57P?ibiurl.language=pt-BR>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

PIROLI, E. L.; PERUSI, M. C.; ZANATA, J. M. Mudanças no uso da terra e impactos sobre o solo da microbacia hidrográfica do Córrego Água da Veada, Ourinhos/SP. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 1, n. 4, p. 855–865, 2012. Disponível em:

<http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/009_MUDAN%C3%87AS%20NO%20USO%20DA%20TERRA%20E%20IMPACTOS%20SOBRE%20O%20SOLO%20DA%20MICROBACIA%20HIDROGR%C3%81FICA%20DO%20C%C3%93RREGO%20C3%81GUA%20DA%20VEADA,%20OURINHOS%20SP.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2014.

PITTON, S. E. C. A água e a cidade. In.: BRAGA, R. CARVALHO, P. F. (Org.). **Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional**. Rio Claro, Deplan-IGCE-UNESP, 2003. p. 37 – 47.

PORTO, R. et al. Drenagem urbana. In.: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2009. Cap. 21, p.805-847.

REBOUÇAS, S. P.; SOUZA, L.; PIRES, A. **Metodologias de classificação supervisionada para análise de microarrays**. [S. l.: s. n.], 2015.

REIS, P. E. **O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG**: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em:

<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-8JAJ8X/disserta__o_completa___impress_o.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 ago. 2014.

RENNÓ, C. D. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas**. 2004. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação e Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, São José Dos Campos,

2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~camilo/camilo_tese.pdf>. Acesso em: 14 out. 2013.

RENNÓ, C. D. NOBRE A. D., CUARTAS, L.; SOARES, J.; HODNETT, M.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. Hand, a new terrain descriptor using SRTMDem: mapping terra-lrme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 9, p. 339-358, 2008.

REN, W. et al. Urbanization, land use, and water quality in Shanghai 1947–1996. **Environment International**, New York, v. 29, n. 5, p. 649-59, 2003.

RIGHI, E.; ROBAINA, L.E.S. Risco à inundação no médio curso do Rio Uruguai: estudo de caso no município de São Borja-RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 279-286, 2012. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.lsie.unb.br%2Frbg%2Findex.php%2Frbg%2Farticle%2Fdownload%2F198%2F302&ei=tnX_U7zyLMrCggTho4KwAQ&usg=AFQjCNFvy9jRgaXHMdBdXFHfncPcHip1g&sig2=xmkFCNtz1sNV1fw3DWWT7Q&bvm=bv.74035653,d.eXY>. Acesso em: 28 ago. 2014.

RODRIGUES, A. M. O espaço urbano e as estratégias de planejamento e produção da cidade. In.: PEREIRA, E. M. (Org.). **Planejamento urbano no Brasil: conceito, diálogos e práticas**. Chapecó: Argos, 2008. 311p. Parte II, p. 111 – 126.

RODRIGUES, D. B. B.; MENDIONDO, E. M. Bacias hidrográficas: caracterização e manejo sustentável. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap. 3, p. 47-74.

RODRIGUES, G. O. et al. Efeitos da resolução espacial de dados SRTM na descrição de terrenos obtida pelo modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*): estudo de caso em Manaus/AM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: INPE, 2011. p. 5769-5776. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1379.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2013.

RODRIGUES, R. A.; LOLLO, J. A. Características estruturais, fisiográficas e mecânicas de perfis de solos colapsáveis de Ilha Solteira - SP. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 27, p. 131 - 146, 2004.

ROSSINI, D. **Análise ambiental e do padrão espacial em áreas de expansão urbana de Limeira – SP**. Dissertação 2001. 171 f. (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

SANTIM, T. G. S. **A evolução da ocupação do solo e sua influência na drenagem urbana de Ilha Solteira**. 2007. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

SANTIM, T. G. S. **Uso de geotecnologias na análise temporal dos impactos da urbanização na sub-bacia do Córrego Sem Nome em Ilha Solteira/SP**. 2010. 228 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual

Paulista, Ilha Solteira, 2010. Disponível em:
<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/pos-graduacao/2010_thiago_santim.pdf>. Acesso em: 04 set. 2014.

SANTOS, F. M. **Caracterização do meio físico da Bacia do Córrego Caçula e processos de degradação associados com vistas ao planejamento territorial**. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014. Disponível em:
<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/pos-graduacao/2014_franciane.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.

SANTOS, F. M.; LOLLO, J. A. Avaliação da importância da caracterização do meio físico na Bacia do Córrego Caçula - Ilha Solteira (SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais eletrônicos...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013. v. 1, p. 1-8. Disponível em:
<http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/07d933cafe1b22a8fba2536097c9d32_987b2039f82e973f8c59571079f4419d.pdf>. Acesso em: 11 set. 2014.

SANTOS, J. **LANDSAT-8: Download de imagens através dos sites Earth Explorer e GLOVIS**. Processamento Digital: 2013. Disponível em:
<http://www.processamentodigital.com.br/wp-content/uploads/2013/08/20130531_Landsat8_download_USGS.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2014.

SANTOS, L. B. L.; LINHARES, C. A. ArcGis, IDL-HAND e TerraHidro: avaliando eficácia e eficiência na delimitação de bacias hidrográficas usando diferentes fontes de dados altimétricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS, 2012, Rio Claro. **Anais eletrônicos...** Rio Claro: IGCE/UNESP, 2012. p. 1-10. Disponível em:
<<http://plutao.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2012/06.21.18.22/doc/Santos,%20L.B.L.%20&%20Linhares,%20C.A.%20-%20SBDN%202012.pdf>>. Acesso em: 01 Abr. 2013.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia**. 6. ed. São Paulo: EDUSP, 2012. 136 p.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 27.576, de 11 de novembro de 1987. Cria o Conselho Estadual de Recursos Hídricos, dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gestão de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, v. 1, 13 nov. 1987. p. 4 Disponível em:
<<http://www.al.sp.gov.br/norma/?id=46643>>. Acesso em: 30 jul. 2014.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 36.787, de 18 de maio de 1993. Adapta o Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH e o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos - CORHI, criados pelo Decreto nº 27.576, de 11 de novembro de 1987, às disposições da Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, Seção I, 27 maio 1993. p. 1. Disponível em:
<<http://www.al.sp.gov.br/norma/?id=15831>>. Acesso em: 30 jul. 2014.

SÃO PAULO (Estado). **Guia do Sistema Paulista de Recursos Hídricos**. 2. ed. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2012. 104 p. Disponível em

<http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=600:ssrh-publica-guia-qsistema-paulista-de-recursos-hidricosq&catid=48:noticias&Itemid=53>. Acesso em: 28 set. 2014.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à política estadual de recursos hídricos bem como ao sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 30 dez. 1991. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/lrh2000/LE/Leis/03_LEI_n_7663_de_30_de_dezembro_de_1991.htm>. Acesso em: 30 jul 2014.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 27dez. 1994. Disponível em:<http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/lrh2000/LE/Leis/05_LEI_n_9034_de_27_de_dezembro_de_1994.htm>. Acesso em: 30 jul 2014.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 10.843 de 5 de julho de 2001. Altera a Lei nº 7663, de 30 de dezembro de 1991, definindo as entidades públicas e privadas que poderão receber recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FEHIDRO. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 5 jul. 2001. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/legislacao/arquivos/724/Le10843_5072001.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2014.

SÁVIO, F. **Ilha Solteira, um sonho, uma história**. São José do Rio Preto: THS, 2011. 195 p. Disponível em: <<http://www.ilhasolteira.com.br/emancipacao/>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

SERVIÇOS DE CONSULTORIA EM MEIO AMBIENTE LTDA – CEPEMAR. Medidas mitigadoras, compensatórias e programas de controle e monitoramento. In: **Relatório Técnico**: Estudo de impacto ambiental da planta de filtragem e terminal portuário privativo para embarque de minério de ferro presidente Kennedy/ES. Vitória: CEPEMAR, 2010. v.3, cap. 8.137p. Disponível em: <<http://licenciamento.ibama.gov.br/Porto/Terminal%20Portuario%20Presidente%20Kennedy/terminal%20Portuario%20Presidente%20Kennedy/EIA/>>. Acesso em: 30 jul 2014.

SILVA; B. R.; PINHEIRO, H.; LOPES, D. D. Seleção de indicadores de sustentabilidade para avaliação do sistema de drenagem urbana. In: BENINI, S. M.; BRUNA, G. C. (Org.). **Caminhos para a sustentabilidade urbana**. Tupã: ANAP, 2014. Cap. 7, p. 130-145. <<http://www.amigosdanatureza.org.br/livros/categoria/cod/34>>. Acesso em: 31 jul. 2014.

SILVA, H. R. et al. Sensoriamento remoto na identificação do uso e ocupação da terra na área do projeto “conquista da água”, Ilha Solteira - SP, Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 328-334, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30124.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

SILVA, M. L. M.; PERERIRA, G. P. M. Avaliação de algoritmos de classificação supervisionada para imagens do Cbers-2 da Região do Parque Estadual do Rio Doce-MG. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 13., 2007, Florianópolis.

Anais eletrônicos... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6223-6228. Disponível em: <<http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.20.25/doc/6223-6228.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2015.

SIMÕES, J. G. G. et al. Análise do risco de enchentes e inundações na Av. Cristiano Machado, Belo Horizonte, MG. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 1, n. 5, p. 867 – 880, 2012. Disponível em: <[http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/013_\(AN%C3%81LISE%20DO%20RISCO%20DE%20ENCHENTES%20E%20INUNDA%C3%87%C3%95ES%20NA%20AV.%20CRISTIANO%20MACHADO,%20BELO%20HORIZONTE,%20MG\).pdf](http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/013_(AN%C3%81LISE%20DO%20RISCO%20DE%20ENCHENTES%20E%20INUNDA%C3%87%C3%95ES%20NA%20AV.%20CRISTIANO%20MACHADO,%20BELO%20HORIZONTE,%20MG).pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2014.

SOUZA, M. L. de. **Mudar a cidade**: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 560 p.

TAVARES, A. B. **Avaliação da degradação do meio físico por áreas de empréstimo utilizando geoindicadores e sistema de informações geográficas - área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP)**. 2008. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bis/33004099084P5/2008/tavares_ab_me_ilha.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2014.

TEN VELDHUIS, J. A. E. **Quantitative risk analysis of urban flooding in lowland areas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Delft, Holanda, 2010, 256 f. Disponível em: <<http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid:ef311869-db7b-408c-95ec-69d8fb7b68d2/>>. Acesso em: 24 mar. 2014.

TEODORO, V. L. I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista UNIARA**. Araraquara, v. 11, n. 20, p. 137-156, 2007. Disponível em: <http://www.uniara.com.br/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf>. Acesso em: 14 out. 2013.

TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n5/a19v30n5.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2014.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2009. Cap. 16, p. 621 - 658.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) - ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, p. 15-36, 1995.

TUCCI, C. E. M.; ORSINI, L. F. Águas urbanas no Brasil: cenário atual e desenvolvimento sustentável. In: BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Gestão do território e manejo integrado das águas urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. Cap. 11, p. 243 - 268.

UGRHI 18 - SÃO JOSÉ DOS DOURADOS. **Plano estadual de recursos hídricos 2004/2007**. 2004?. Disponível em <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/PERH/04-07_UGRHI-18.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2014.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos. Área de Hidráulica e Irrigação. **Canal da irrigação**. Ilha Solteira, 2015. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/irrigacao.php>>. Acesso em: 04 maio 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos. Área de Hidráulica e Irrigação. **Chuva alaga Avenida**: vento derruba árvores e danifica comércios. Ilha Solteira, 2013. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/ilhadenoticias_11_nov_2013.php>. Acesso em: 04 maio 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos. Área de Hidráulica e Irrigação. **Chuva forte alaga Avenida Brasil e atrapalha trânsito**. Ilha Solteira, 2014. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/avozdopovo_24_mai_14.php>. Acesso em: 04 maio 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos. Área de Hidráulica e Irrigação. **Chuva forte em Ilha Solteira**. Ilha Solteira, 2011. Disponível em: <<http://www.irrigacao.blogspot.com.br/2011/04/chuva-forte-em-ilha-solteira.html>>. Acesso em: 04 maio 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos: área de engenharia rural, hidráulica e irrigação. **Estação meteorológica da UNESP**: Ilha Solteira. Ilha Solteira: Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, 2014. Disponível em: <http://clima.feis.unesp.br/recebe_formulario.php>. Acesso em: 17 fev. 2014.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos. Área de Hidráulica e Irrigação. **Temporal prejudica produção de energia elétrica em Ilha Solteira**. Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <<http://irrigacao.blogspot.com.br/2010/10/temporal-prejudica-producao-de-energia.html>>. Acesso em 04 maio 2015.

US GEOLOGICAL SURVEY- USGS. **Landsat**: a global land-imaging mission. 2013. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3072/fs2012-3072.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2014.

US GEOLOGICAL SURVEY- USGS. **Satélite Landsat 8**. Reston, Virginia. EUA, 2015. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 03 mar. 2015

US GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global**. 2015a. Disponível em: <<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>>. Acesso em: 26 ago. 2015.

US GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **SRTM 30m: s21_w052_1arc_v3**. Reston, Virginia. EUA, 2015b. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 22 maio. 2015

VIVANCO, J.M.C. **Caracterização preliminar do meio físico a partir de dados do Projeto Topodata: caso da área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP)**. 2013. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013. Disponível em:

<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/pos-graduacao/2013_jaime.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.

VIVANCO, J. M. C.; LOLLO, J. A.; LORANDI, R. Processos erosivos e qualidade de água na área de expansão urbana de Ilha Solteira (Brasil). In: CONGRESSO LUSO-MOÇAMBICANO DE ENGENHARIA, 7., 2014, Inhambane. **Anais...** Inhambane: [s.n.]. CD-ROM.

WENG, Q. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. **Journal of Environmental Management**, Terre Haute, v. 64, n. 3, p. 273–284, 2002.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.190 p.

APÊNDICE A – PROCEDIMENTOS PRELIMINARES NO IDRISI SELVA

1- Escolha do diretório – Idrisi Explorer


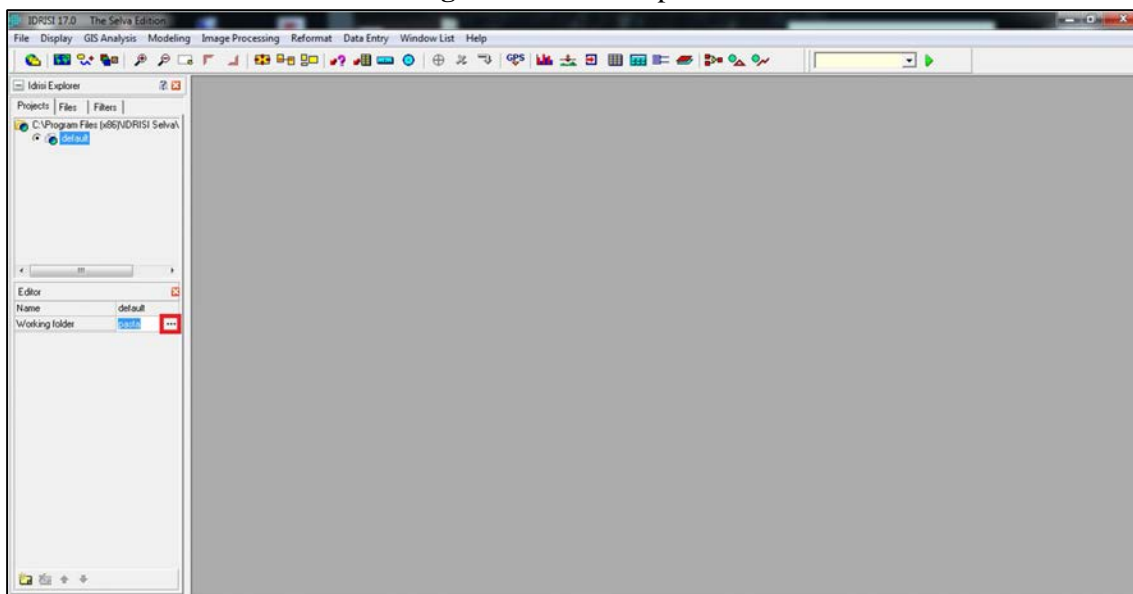
- a) Clicar no ícone  para abrir o módulo Idrisi Explorer.
- b) Na aba Projects, em Working Folder, deve-se clicar duas vezes para selecionar a pasta do seu diretório (Figura 74).

Figura 74. Idrisi Explorer



Fonte: Dados da pesquisa.

Esta operação é importante, pois todas as operações realizadas serão automaticamente salvas no diretório definido.

2- Criação do Fundo Zero

- a) Data Entry → INITIAL.
- b) Clicar em Define spatial parameters individually.
- c) Em Output image dar o nome e local de saída da imagem a ser criada.
- d) Clicar em Output reference information.
- e) Abre a janela Reference Parameters que deverá ser preenchida de acordo com os dados da área.

Ex.: Em Number of columns digitar o número de colunas e em Number of rows digitar o número de linhas. Estes valores são obtidos da seguinte maneira:

- A) Para se ter o número de colunas:-

$$\frac{(\text{coordenada X Máximo} - \text{coordenada X mínimo})}{\text{resolução da imagem satélite}}$$

B) Para se ter o número de linhas:-

$$\frac{(\text{coordenada Y Máximo} - \text{coordenada Y mínimo})}{\text{resolução da imagem satélite}}$$

Neste caso, a resolução é 30m.

Como os dados de x e y foram obtidos da carta topográfica, o sistema de referência adotado foi o mesmo da carta, isto é, UTM, Córrego Alegre, 22 Sul (Figura 75).

Figura 75. Tela dos parâmetros de referência

Fonte: Dados da pesquisa.

Em seguida é só dar ok para esta janela e para a janela anterior, do initial.

Ao abrir o raster, ele será como na Figura 76.



Figura 76. Fundo zero



Fonte: Dados da pesquisa.

Obs.: As cartas topográficas utilizadas para obtenção dos parâmetros do *initial* foram de Ilha Solteira (IGGSP, 1965) e Bela Floresta (IGGSP, 1967).

3- Visualizar arquivos

- a) Clicar em , escolher o tipo de arquivo e em  selecionar o arquivo que deseja abrir. Em seguida dar ok.

4- Importação de imagens de satélite

- a) File → Import → Government/Data Provider Formats → Landsat ETM.
- b) Selecionar a opção GeoTIFF e importar banda por banda: em Input geoTIFF file inserir cada banda e em Output Idrisi image dar o nome e local de saída.
- c) Clicar em Ok.

5- Importação da área de estudo (vetor)

Existem várias opções de importar o vetor de limite da área de estudo. Também tem como criar, vetorizando seu limite sobre uma carta topográfica ou imagem de satélite. Nesta pesquisa o vetor foi importado da seguinte forma:

- a) File → Import → Software-Specific Formats → ESRI formats → SHAPEIDR.
- b) Selecionar a opção Shapefile to Idrisi.
- c) Em Input Shapefile, inserir o arquivo a ser importado.
- d) Em Output Idrisi vector file, dar o nome e local de saída.
- e) Em Reference system, escolher o sistema de referência desejado. No caso foi escolhido o Córrego Alegre (BR_utm22ca_s), em função das cartas topográficas.
- f) Clicar em OK.

6- Projeção

Para a imagem do Landsat 8, as bandas foram reprojctadas da seguinte forma:

- a) Reformat → PROJECT.
- b) Em Type of file to be projected, selecionar raster.
- c) Em Input file name, inserir a banda.
- d) Em Input reference system, automaticamente aparece o sistema, no caso UTM-22-n.
- e) Em Output file name, dar o nome e local de saída.
- f) Em Reference file for output result, escolher o sistema de referencia desejado. No caso foi escolhido o Córrego Alegre (BR_utm22ca_s).
- g) Clicar em Output reference information.
- h) Na janela que abrir, selecionar Copy from existing file e inserir o “fundo zero” e clicar em ok.

- i) Dar ok para processar a transformação.

Observações:

i) O fundo zero foi inserido, pois nele havia armazenado as linhas e colunas desejadas para a área de interesse. Assim, ao abrir cada banda reprojetada, esta já se encontra em um retângulo envolvente da área de estudo e não mais a cena toda do Landsat.

ii) No processo de projeção, assim como na Georreferência, o procedimento é feito banda por banda.

iii) Nesta pesquisa, após os resultados obtidos com o LCM, os mapas foram atualizados para o sistema SIRGAS 2000 no ArcGIS.

7- Georreferência

Para as imagens do Landsat 1 e 7, as bandas foram georreferenciadas da seguinte forma:

- a) Reformat → RESAMPLE.
- b) Em Resample file specification, escolher raster.
- c) Em Input image, inserir a imagem que será georreferenciada.
- d) Em Output image, dar o nome e local de saída.
- e) Em Ground control points, em Input reference, abrir a imagem que será georreferenciada.
- f) Em , insere os pontos a serem criados.
- g) Em , o ponto será excluído.
- h) Ao clicar em Input o ponto será criado, mover com o mouse sobre o local desejado, em Output X e Output Y digitar as novas coordenadas.
- i) Para saber o erro, clicar em qualquer lugar dentro da tabela e ele será calculado.
- j) Após criação dos pontos, clicar em Output reference parameters.
- k) Na janela que abrirá, informar os parâmetros de referência ou copiar de algum já existente. Neste caso, foi copiado o do raster “fundo zero”.
- l) Dar ok nesta janela e ok na janela do RESAMPLE para processar a georreferência.

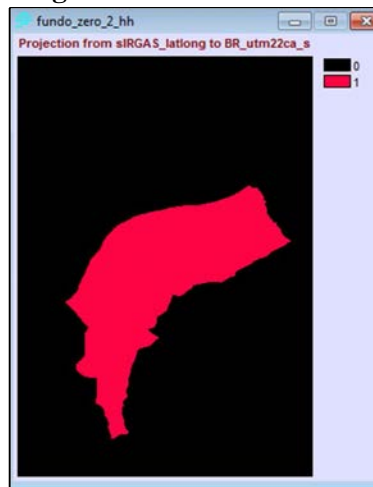
Obs.: A georreferência foi feita em cada banda com base nas bandas reprojetadas do Landsat 8. Depois cada uma foi recortada (item 9) e em seguida, feita a composição (item 10) para realizar a classificação (itens 11 e 12).

8- Rasterização da área de estudo

- a) Reformat → RASTERVECTOR.
- b) Clicar em Vector to raster e em Polygon to raster.

- c) Em Vector point file inserir o limite da área de estudo (o vetor que foi importado no item 5).
- d) Em Image file to be updated inserir a imagem (raster) fundo zero criada no INITIAL (item 2).
- e) Clicar em ok.
- f) O resultado será uma imagem, com o limite da área de estudo valendo 1 e o fundo com valor 0 (zero), como apresentado na Figura 77.

Figura 77. Limite rasterizado



Fonte: Dados da pesquisa.

9- Recortar a área de estudo

- a) GIS Analysis → Database Query → OVERLAY.
- b) Em First image inserir banda por banda (bandas georreferenciadas).
- c) Em Second image inserir a área de estudo rasterizada (Figura 77).
- d) Em Output image dar o nome e local de saída (para cada banda).
- e) Em Overlay options, escolher First*Second.
- f) Clicar em OK.

Obs.: Para recortar a área de estudo, é necessário recortar banda por banda. Também pode ser feita depois de classificada. A composição não suporta este processo. Como a área de estudo é uma microbacia dentro do município, não tem problema recortar nessa etapa, pois, depois de classificado o município, será recortado o limite da microbacia (que é o que interessa neste caso).


Se a área de estudo fosse o município, então é recomendado que o processo de recorte seja feito depois de classificada, pois assim, no processo de treinamento, a área de amostragem compreenderia um retângulo envolvente maior que o limite municipal.

10- Composição das bandas

- a) Display→Composite.
- b) Inserir cada banda, de acordo com a composição desejada e em Output image dar o nome e local de saída.
- c) Clicar em Ok.

Para cada cena, a composição foi feita conforme apresentado no Quadro 4.

11- Criação da área de treinamento

- a) Abrir a imagem que será classificada (a composição).
- b) Localizar exemplos representativos de cada uso da terra na imagem.
- c) Clicar em digitalize no ícone .
- d) Em Name of layer to be created, dar o nome dos usos que serão criados.
- e) Em Layer Type, escolher Polygon.
- f) Em Data Type, escolher Integer.
- g) Em ID or Value, deixar 1.
- h) Clicar em Ok.

Para cada tipo de cobertura atribuir um único identificador (ID). Assim, cada uso da terra terá um ID diferente (1, 2, 3, etc.). Nesta pesquisa, a classificação foi feita conforme a coluna da classificação apresentado na Tabela 5. No processo de reclassificação (item 13), os valores dos identificadores serão convertidos como apresentado na coluna da reclassificação.

Tabela 5. Identificadores utilizados

Classificação		Reclassificação	
ID	Categorias	ID	Categorias
1	Rios	1	Cursos hídricos
2	Lagoa		
3	Córrego Caçula		
4	Área urbana	2	Área urbana
5	Solo exposto	3	Solo exposto e área para plantio
6	Palhada		
7	Agricultura	4	Agricultura
8	Campo	5	Campo
9	Vegetação densa	6	Vegetação densa
10	Fundo zero	7	Fundo zero

Fonte: Dados da pesquisa.

A classificação com 10 identificadores foi necessária, pois em testes anteriores, com 6 identificadores, algumas feições foram mal classificadas. Por exemplo, o “Lagoão”, situado no Córrego da Onça, apresentava uma reflectância diferente dos outros alvos de “água” do município. O mesmo ocorreu com os corpos d’água do córrego Caçula. Isso permitiu uma classificação errada destes alvos.

Desta forma, ao criar classes para estes alvos que apresentavam uma reflectância particular, estes foram bem classificados. Em um processo posterior, a reclassificação, permite transformar estas classes em novas classes, sintetizando as classes de usos.

Vale destacar ainda que a classe denominada “fundo zero” foi necessária ser criada para a classificação das cenas. Este procedimento permite que as imagens sejam convertidas para o formato inteiro e as áreas de background dos mapas (classe “fundo zero”) consideradas com valor zero, podem ser deixadas na cor branco na paleta de cor (item 14) e “escondidas” da legenda (item 15) para melhor acabamento de *layout*.

12- Classificação supervisionada

- a) Ir em Image Processing → Signature Development → MAKESIG.
- b) Escolher “vector”.
- c) Em Vector file defining training sites, inserir o arquivo vetor de usos.
- d) Clicar em Enter signature file names.
- e) Na janela que abrirá, dar o nome para cada ID de usos.
- f) Deixar selecionado “criate signature group file”, com o vetor de usos criado e dar ok.
- g) Em Number of files aumentar para 3.
- h) Em Filename, inserir as 3 bandas da composição a qual foi feita os usos.

- i) Clicar em Ok e esperar processar.
- j) Em seguida define-se o classificador, que neste caso é o de máxima verossimilhança, como apresentado por Piroli (2010b). Neste caso, ir em Image Processing → Hard Classifiers → MAXLIKE.
- k) Clicar em Insert signature group.
- l) Selecionar o arquivo de ‘usos’
- m) Em Output image, dar o nome de saída da classificação.
- n) Clicar em Ok.

Obs.: Na classificação é comum aparecer a mensagem de erro “0 not found”. Isso ocorre quando os arquivos estão em subdiretórios distintos. Para que isso não ocorra, deixar todos arquivos na mesma pasta, acessando File → Idrisi Explorer → Projects → Working folder.

13- Reclassificação

- a) Ir em GIS Analysis → Database Query → RECLASS.
- b) Em Type of file to reclass selecionar ‘image’.
- c) Em Input file inserir a imagem classificada.
- a) Em Output file, dar o nome de saída.
- d) Em Reclass parameters, preencher conforme os dados classificados (Figura 78).

Figura 78. Reclassificação

Assign a new value of	To all values from	To just less than
1	1	4
2	4	5
3	5	7
4	7	8

Fonte: Dados da pesquisa.

Os parâmetros apresentados na Figura 78 podem ser observados na Tabela 6, a qual foi obtida através da Tabela 5 (item 11).

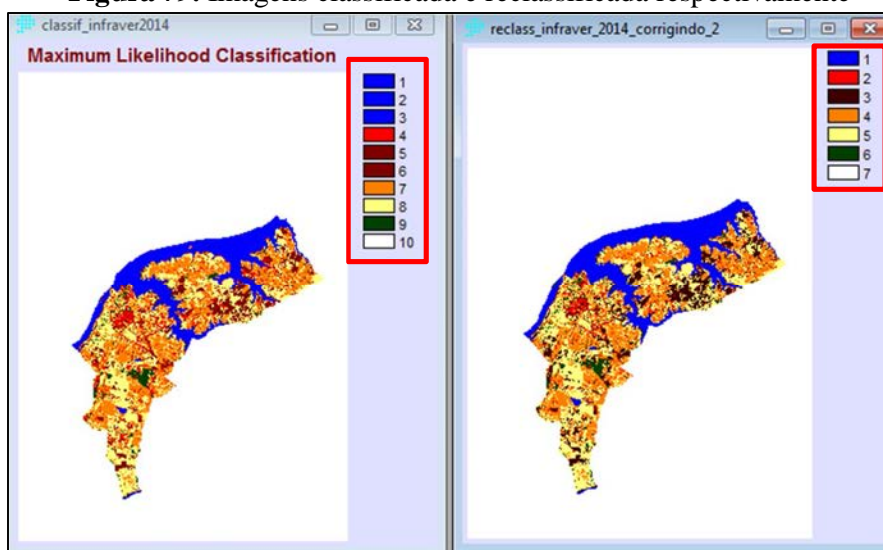
Tabela 6. Dados para reclassificação

Categorias	ID		
	Assign a new value of	To all values from	To just less than
	(atribua um novo valor de)	(de todos valores de)	(até os mediatamente inferiores a)
Cursos hídricos	1	1	4
Área urbana	2	4	5
Solo exposto e área para plantio	3	5	7
Agricultura	4	7	8
Campo	5	8	9
Vegetação densa	6	9	10
Fundo zero	0	10	11

Fonte: Dados da pesquisa.

e) Após atribuir os novos valores, dar OK.


Como pode-se observar, neste trabalho, a imagem foi classificada com 10 classes e depois de reclassificada, foi reduzida para 7 classes, como observa-se na Figura 79.

Figura 79. Imagens classificada e reclassificada respectivamente

Fonte: Dados da pesquisa.

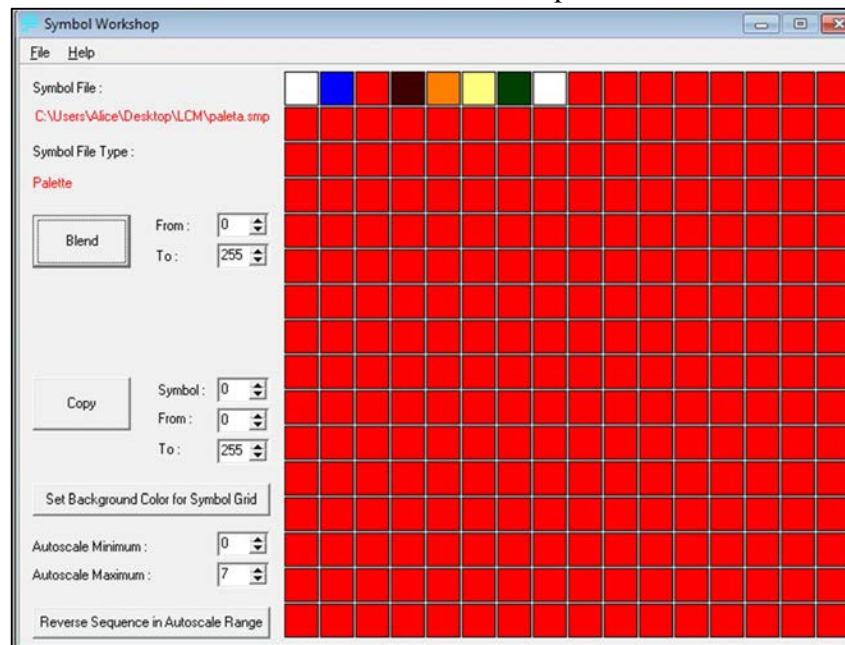
A “classe 7”, que representa o fundo, pode ser excluída da legenda no processo de configuração da legenda (item 15).

14- Paleta de Cor

- Clicar no ícone .
- Abrirá a janela Symbol Workshop.
- Ir em File → New.

- d) Abrirá a janela New Symbol File.
- e) Selecionar a opção Palette.
- f) Em File Name dar o nome de saída e em seguida dar OK.
- g) Em seguida, escolhe-se as cores de acordo com os identificadores da imagem classificada. Neste trabalho a paleta foi elaborada conforme Figura 80.
- h) Após alterações feitas, salvar em File → Save.

Figura 80. Tela demonstrativa da escolha das cores para cada identificador do mapa

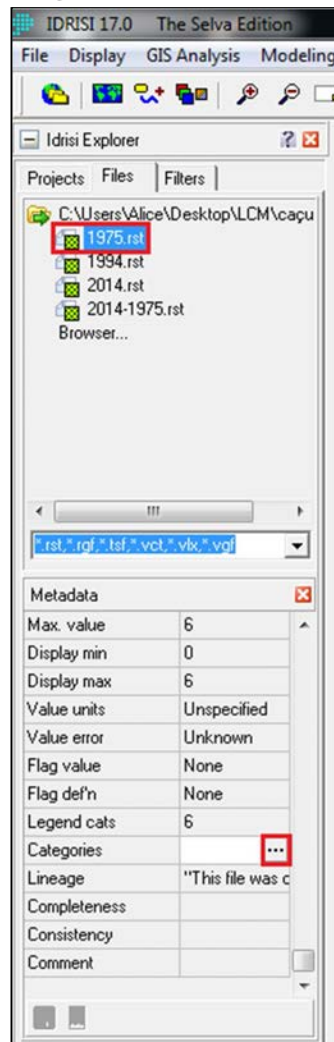


Fonte: Dados da pesquisa.

15- Configurando a legenda

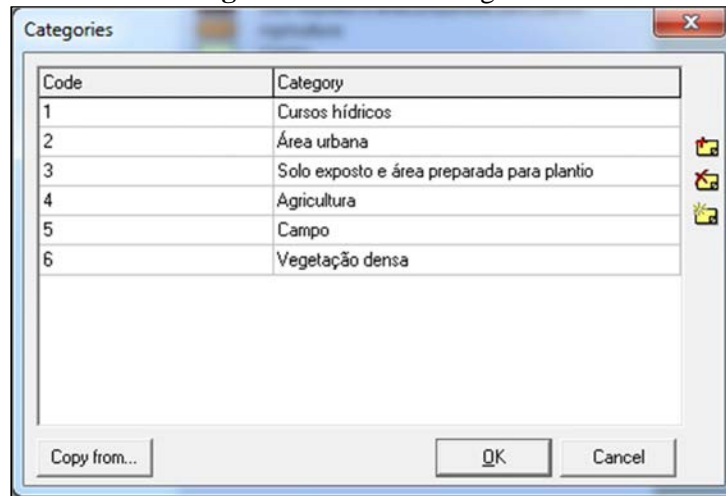
- a) Caso a legenda não ficar como se deseja, pode-se configurar. Basta ir em Idrisi Explorer → Files, selecionar o arquivo raster que se deseja alterar e em Metadata, clicar em Categories, como apresentado na Figura 81.

Figura 81. Metadata




Fonte: Dados da pesquisa.

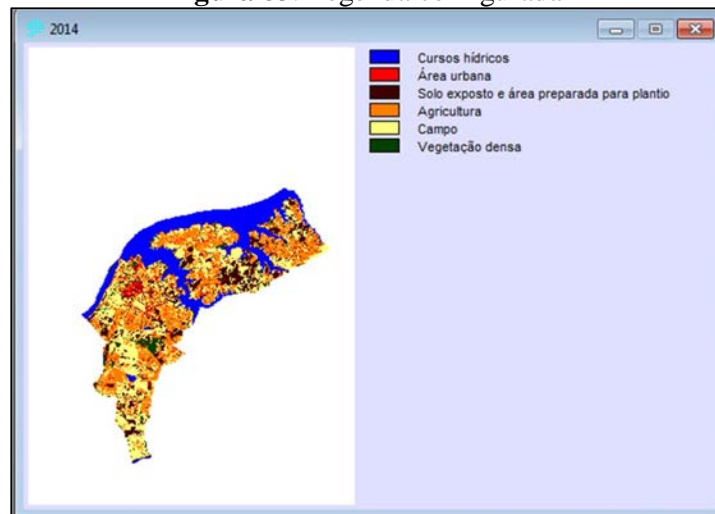
- b) Em seguida abrirá uma janela e, em cada “Code” inserir um número correspondente a cada categoria e em “Category”, dar o nome como se deseja que apareça na legenda (Figura 82). Depois de concluída a edição, clicar em OK.

Figura 82. Tela de categorias

Fonte: Dados da pesquisa.

c) Para que seja salvo, clicar em  no Metadata.

Para que o ID do ‘fundo zero’ não apareça na legenda, é só não colocar na tela de categorias o código correspondente a ele. Assim, ao salvar as alterações e abrir a imagem, esta aparecerá da forma como se deseja (Figura 83).

Figura 83. Legenda configurada

Fonte: Dados da pesquisa.

16- Filtro

- Ir em GIS Analysis → Context Operators → FILTER.
- Em Filter type, escolher o tipo de filtro desejado, por exemplo, “Mode”.
- Em Filter size, escolher a matriz desejada (3x3 ou 5x5 ou 7x7).
- Em Input image, abrir o arquivo raster que será filtrado.

- e) Em Output image, dar o nome de saída.
- f) Clicar em Ok.


Nos mapas finais desta pesquisa foram aplicados filtros 3x3.

17- Cálculo da área

- a) Para calcular a área, basta clicar com o botão direito sobre a legenda, escolher a opção Calculate Area e a unidade de medida de área desejada. Ao processar, aparecerá o resultado na janela Module Results, o qual poderá ser salvo.

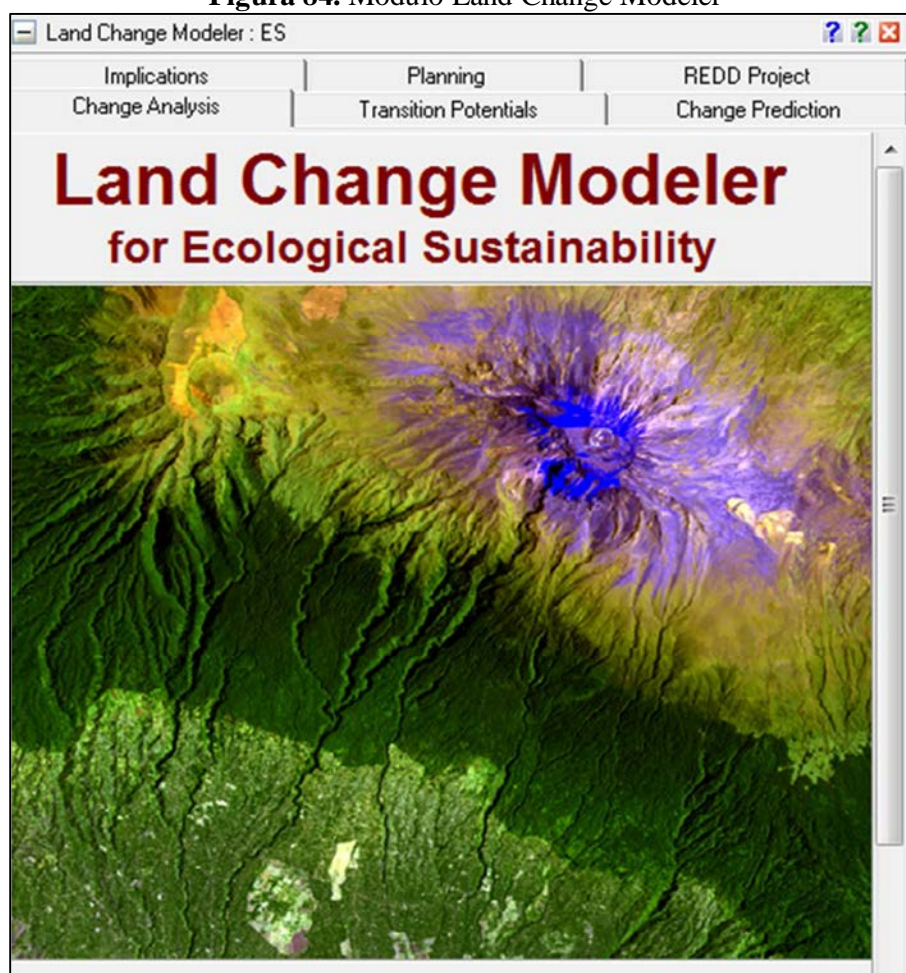
APÊNDICE B – PROCEDIMENTOS PARA O LCM

1- Iniciar o módulo Land Change Modeler

- a) Clicar em  na barra superior do Idrisi para abrir o módulo LCM.

A interface Land Change Modeler é organizada em torno de um conjunto de seis grandes tarefas: Análise de mudança, Potenciais transição, Predição de mudança, Implicações, Planejamento e Projeto REDD (Figura 84), onde as três primeiras são organizadas em torno de um conjunto sequencial de operações que devem ser seguidas um após o outro.

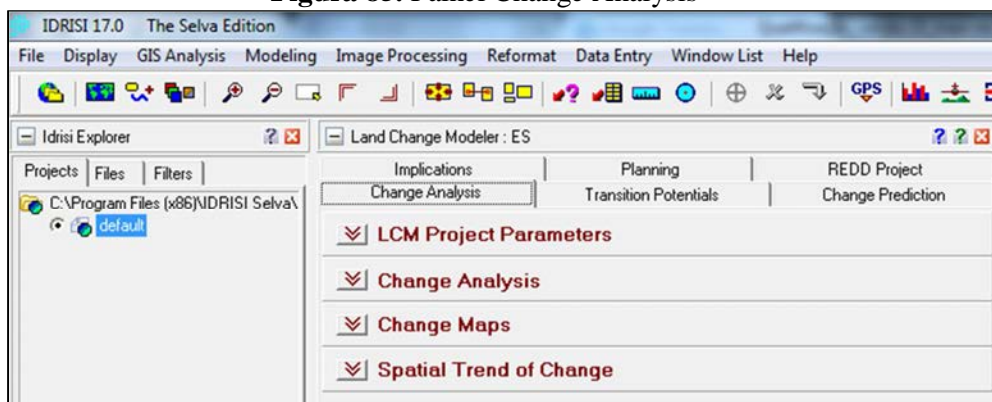
Figura 84. Módulo Land Change Modeler



Fonte: Dados da pesquisa.

2- Change Analysis

Neste painel será analisado as mudanças ocorridas na cobertura da terra nos dois períodos selecionados. Existem quatro guias: LCM Project Parameters, Change Analysis, Change Maps e Spatial Trend of Change (Figura 85).

Figura 85. Painel Change Analysis

Fonte: Dados da pesquisa.

Na guia LCM Project Parameters permite a criação do projeto, o qual necessita de dois mapas de usos da terra para serem utilizados como amostras das transições modeladas.

2.1 Criação do projeto LCM

- Clicar em Create new Project e dar um nome.
- Em Earlier land cover image, inserir o raster da cena mais antiga.
- Em Later land cover image, inserir o raster da cena seguinte.
- Se a data não aparecer automaticamente, digitar no campo Date.
- Clicar em Use special palette e selecionar a paleta de cores das cenas da área de estudo (Figura 86).
- Clicar em Continue.

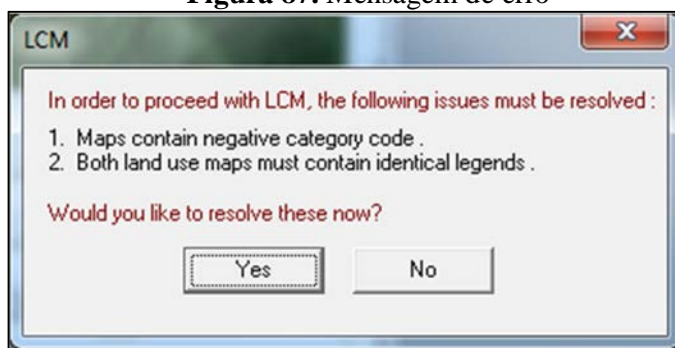
Figura 86. Guia LCM Project Parameters

Fonte: Dados da pesquisa.

Se aparecer a mensagem de erro da Figura 87, é por causa de que as legendas das duas cenas não coincidem. Por isso, as legendas devem ser iguais. Neste caso, clique em Yes para corrigir o problema.

Ainda, de acordo com o Manual do Idrisi (EASTMAN, 2012a) existem outras condições que devem ser cumpridas, como as categorias em ambos os mapas serem as mesmas e sequenciais; os fundos serem os mesmos e terem um valor igual a zero; e as dimensões espaciais, incluindo a resolução e coordenadas, serem as mesmas.

Figura 87. Mensagem de erro

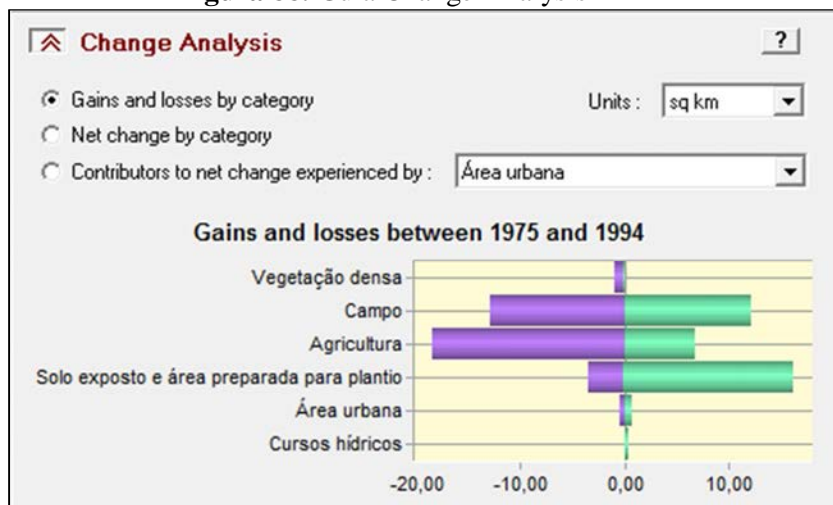


Fonte: Dados da pesquisa.

Abrirá a guia Harmonize que é iniciada quando os mapas de cobertura do solo são incorretamente formatados. Em Harmonize Legends, edite os IDs e os nomes das legendas de modo que em ambas as cenas fiquem iguais. Em seguida, as cenas serão renomeadas automaticamente em Output Filename. Clique em Run. Ao processar voltará na guia anterior de criação do projeto. Então, clique em Continue para processar.

Na guia Change Analysis permite uma avaliação quantitativa rápida de mudança por gráficos de ganhos e perdas de cobertura da terra por categoria, uma mudança líquida por categoria e as contribuições para mudanças experimentadas por uma única cobertura do solo (Figura 88).

Figura 88. Guia Change Analysis



Fonte: Dados da pesquisa.

Na guia Change Maps permite criar uma variedade de mapas de mudança. Há opções para mapear mudanças, persistência, ganhos e perdas por categoria de cobertura da terra, mapas de transições por categorias e mapas de trocas entre categorias (Figura 89).

Figura 89. Guia Change Maps

The screenshot shows the 'Change Maps' dialog box with the following settings:

- Map changes
- Ignore transitions less than: 1000 sq km
- Map persistence
- Map gains / losses in: Área urbana
- Include Persistence
- Map the transition from: All to: Área urbana
- Exchanges between: Área urbana and Área urbana
- Output name (optional): nome_de_saida
- Button: Create Map

Fonte: Dados da pesquisa.

Na guia Spatial Trend of Change permite a análise de tendência espacial com polinômio de até 9º ordem (Figura 90).

Figura 90. Guia Spatial Trend of Change

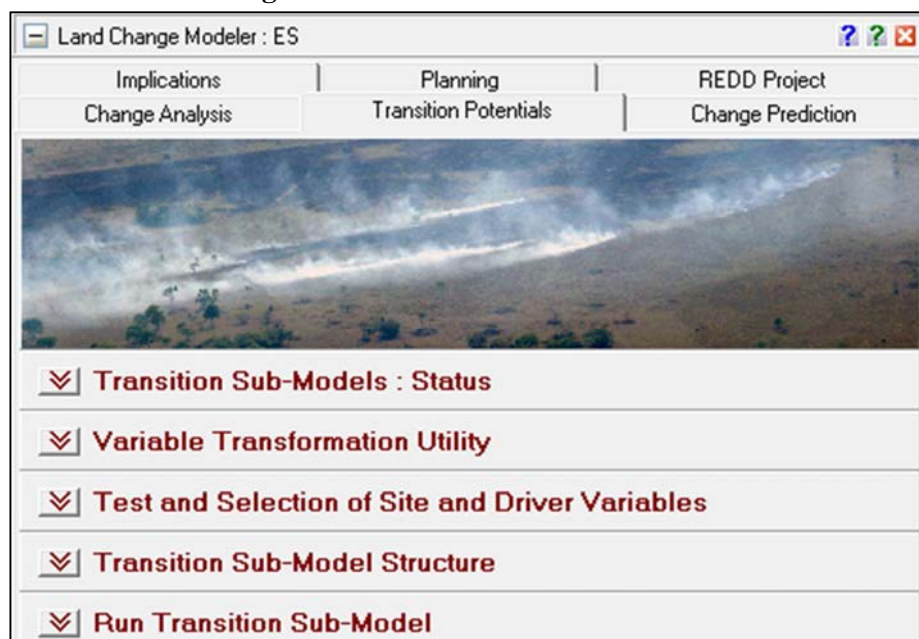
The screenshot shows the 'Spatial Trend of Change' dialog box with the following settings:

- Map spatial trend from: Agricultura to: Área urbana
- Order of polynomial: 3rd
- Output name (optional): nome_saida
- Button: Map Trend

Fonte: Dados da pesquisa.

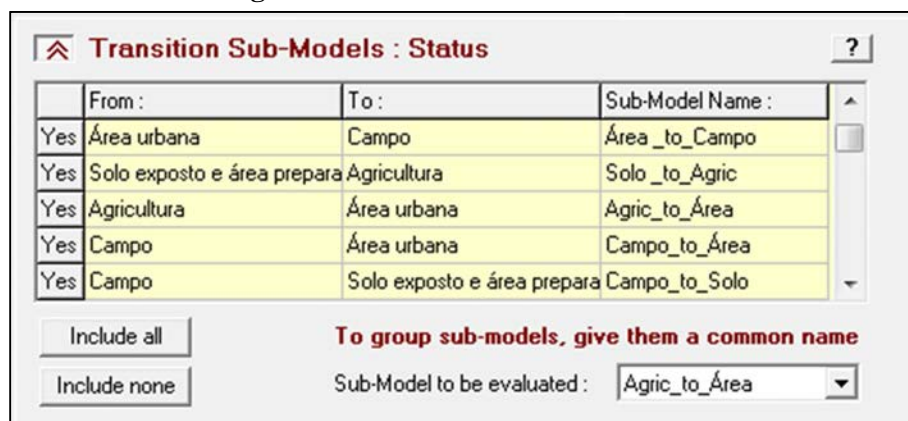
3- Transition Potentials

Neste painel será analisada a transição de modelagem potencial. Nele, existem cinco guias: Transition Sub-Models Status, Variable Transformation Utility, Test and Selection of Site and Driver Variables, Transition Sub-Model Structure e Run Transition Sub-Model (Figura 91).

Figura 91. Painel Transition Potentials

Fonte: Dados da pesquisa.

Na guia Transition Sub-Models: Status, as transições feitas anteriormente podem ser filtradas conforme a necessidade da pesquisa (Figura 92).

Figura 92. Guia Transition Sub-Models

Fonte: Dados da pesquisa.

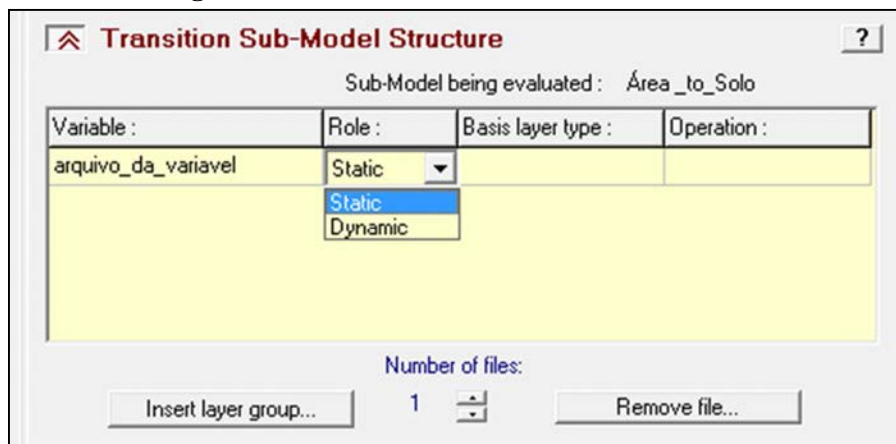
A guia Variable Transformation Utility fornece transformações opcionais. São elas: probabilidade (evidence likelihood), exponencial (exponential), raiz quadrada (square root), logaritmo natural (natural log), logit e power.

A guia Test and Selection of Site and Driver Variables também é opcional e fornece um teste para variáveis qualitativas e quantitativas.

Na guia Transition Sub-Model Structure as variáveis podem ser adicionadas ao modelo, quer como componentes estáticos ou dinâmicos. Variáveis estáticas partem do

princípio que são imutáveis ao longo do tempo, já as variáveis dinâmicas são dependentes do tempo, tais como a proximidade de desenvolvimento existente ou infra-estrutura e são recalculadas ao longo do tempo durante o curso de previsão (Figura 93).

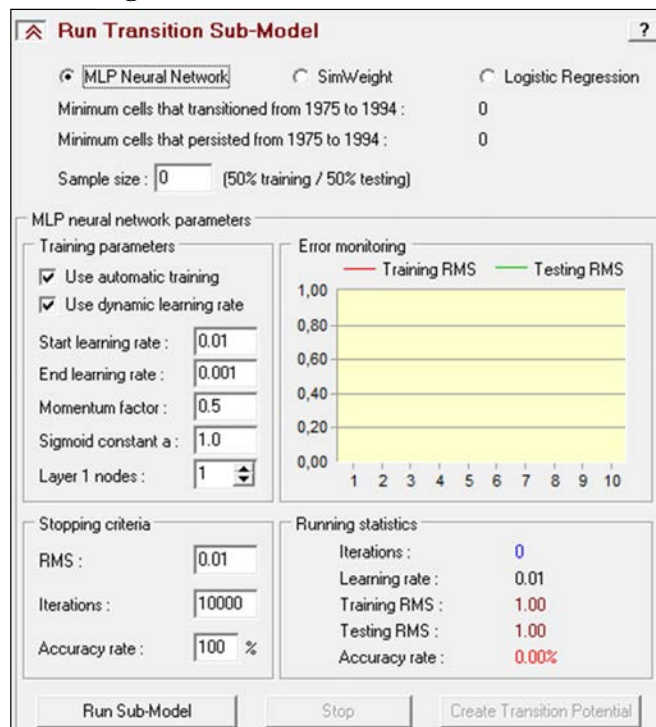
Figura 93. Guia Transition Sub-Model Structure



Fonte: Dados da pesquisa.

Na guia Run Transition Sub-Model as transições são modelados usando uma das três metodologias fornecidas para modelagem: a Multi-Layer Perceptron (MLP) da rede neural, SimWeight, e regressão logística (Figura 94).

Figura 94. Guia Run Transition Sub-Model



Fonte: Dados da pesquisa.

A opção MLP pode modelar várias transições de uma só vez. De acordo com o Manual (EASTMAN, 2012a) inicialmente, a Multi-Layer Perceptron pode parecer muito complexo, mas a maioria dos parâmetros apresentados não precisam ser modificados. Já a opção SimWeight modela uma transição de uma vez. Essa opção é baseada no algoritmo ponderado de similaridade. Uma vez calibrado, o modelo é utilizado para prever os cenários futuros.

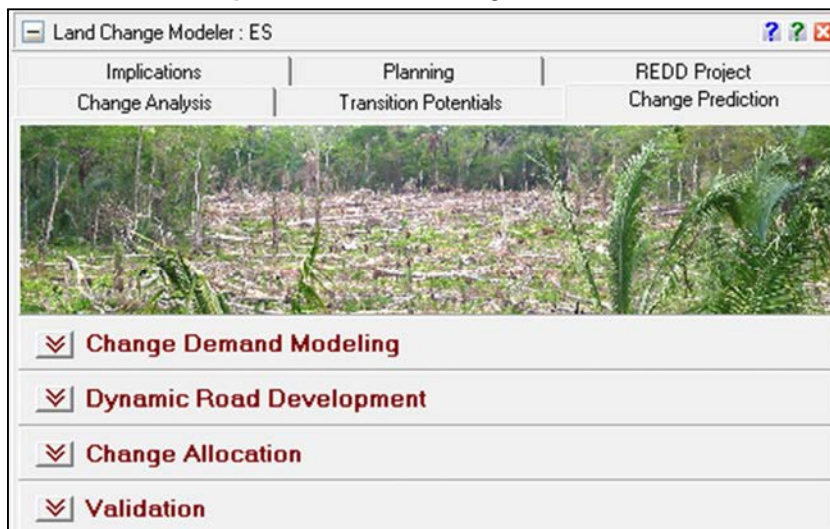
O procedimento SimWeight é mostrado para produzir resultados semelhantes como o procedimento MLP, mas com parâmetros mínimos, e que é mais facilmente acessível. No entanto, a rede neural MLP foi extensivamente aprimorada para oferecer um modo automático que não requer intervenção do usuário (EASTMAN, 2012a).

Em contraste com o MLP, regressão logística só pode modelar uma transição de cada vez. O Manual recomenda usar MLP ou SimWeight (EASTMAN, 2012a).

4- Change Prediction

Este painel permite realizar a previsão usando as cenas históricas de mudança, isto é, prevê um cenário futuro para uma data futura especificada. O modelo determina como as variáveis influenciam as mudanças futuras. Permite também a incorporação de restrições e incentivos, tais como mapas de zoneamento, e as mudanças de infraestrutura planejadas, tais como novas estradas ou desenvolvimento uso da terra. Existem quatro guias: Change Demand Modeling, Dynamic Road Development, Change Allocation e Validation (Figura 95).

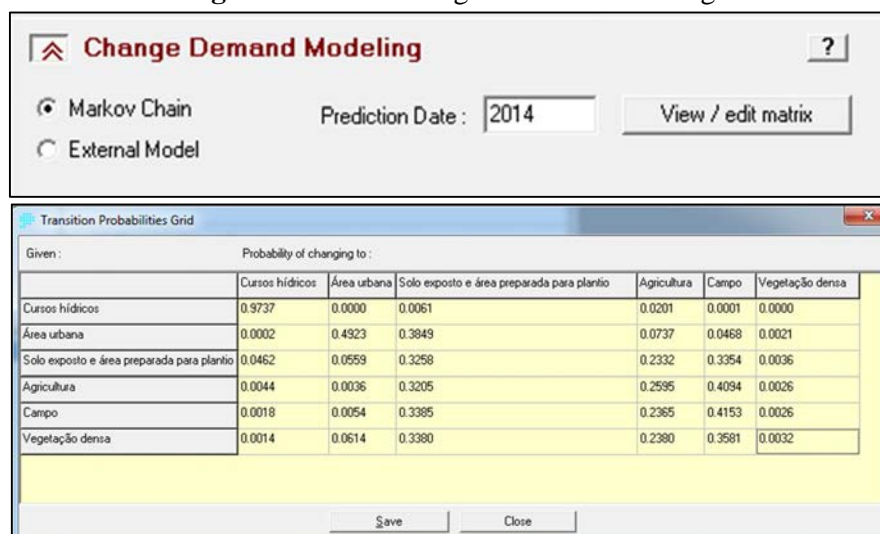
Figura 95. Painel Change Prediction



Fonte: Dados da pesquisa.

Na guia Change Demand Modeling, as transições são modeladas por meio de uma análise da cadeia de Markov ou especificando a matriz de probabilidade de transição de um modelo externo. A data da previsão é especificada e a matriz pode ser visualizada e ou editada. Na Figura 96 é apresentado a guia, seguida e abaixo, o resultado da matriz sem edição.

Figura 96. Guia Change Demand Modeling



Fonte: Dados da pesquisa.

A guia Dynamic Road Development, define os parâmetros para o desenvolvimento de estradas dinâmicas, que é um procedimento que tenta prever como estradas vai desenvolver no future.

Na guia Change Allocation pode especificar o número de estágios durante o qual as variáveis dinâmicas são atualizadas (Figura 97). Também fornece várias opções para visualização da previsão, como mostrar as imagens das fases intermediárias e a criação de um arquivo de vídeo AVI. No Idrisi, este arquivo pode ser visualizado na mídia do Idrisi Viewer, no menu Display. Ele também pode ser visualizado no Microsoft Media Player e pode ser inserido em uma apresentação do Microsoft PowerPoint.

Tanto a opção de apresentar os estágios de previsão (Display intermediate stage images), quanto à de criar o arquivo de vídeo, são opções bem interessantes. No entanto, nesse trabalho, embora testado nos testes, não foi apresentado por conta do resultado insatisfatório das previsões.

Figura 97. Guia Change Allocation

Fonte: Dados da pesquisa.

Para apresentar e avaliar a projeção do *Land Change Modeler* na microbacia hidrográfica do Córrego Caçula foi testado algumas combinações, como sem restrições e sem incentivos, com incentivo de expansão urbana e com restrições e com incentivos. Para isso foi utilizado nessa etapa as opções oferecidas pelo Optional Components. Nessa opção, o usuário é direcionado para a aba de planejamento (Planning), apresentada separadamente no próximo item.

Ainda segundo esta guia, segundo o Manual do Idrisi (EASTMAN, 2012a) para sequências longas, uma Frame Rate (taxa de quadros) de 0,25 geralmente funciona bem.

A guia Validation permite que determine a qualidade do mapa previsto de uso da terra em relação a um mapa da realidade (Figura 98). Isso é feito por meio de uma tabulação cruzada de três vias entre o 2º mapa mais antigo, o mapa de previsão e um mapa da realidade.

Figura 98. Guia Validation

Fonte: Dados da pesquisa.

A saída desse processo vai ilustrar a precisão dos resultados do modelo, onde:

A | B | B = Hits (verde) - Modelo previu mudança e mudou.

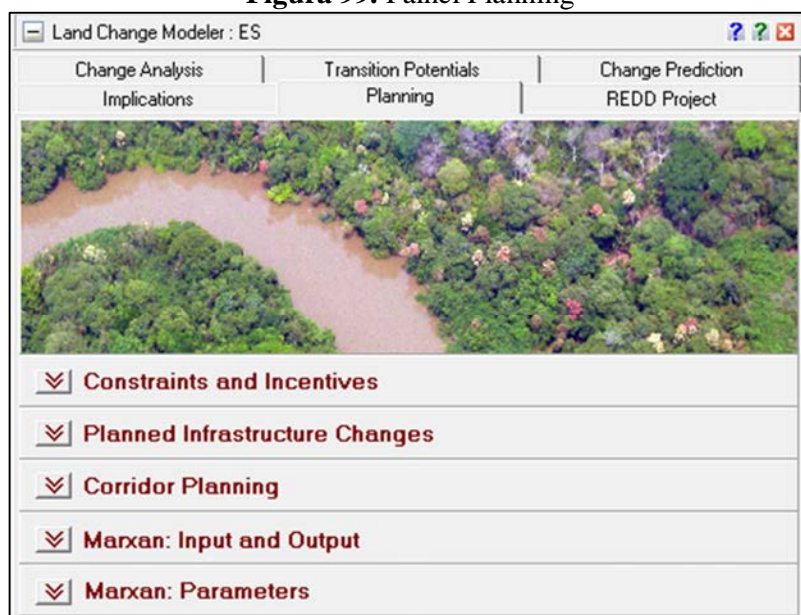
A | A | B = Misses (vermelho) - O modelo previu persistência e mudou.

A | B | A = Alarmes Falsos (amarelo) - O modelo previu a mudança e persistiu.

5- Planning

Neste painel o modelo também verifica a presença de intervenções de planejamento, como a inclusão de incentivos e restrições, além das principais melhorias de infra-estrutura (Figura 99).

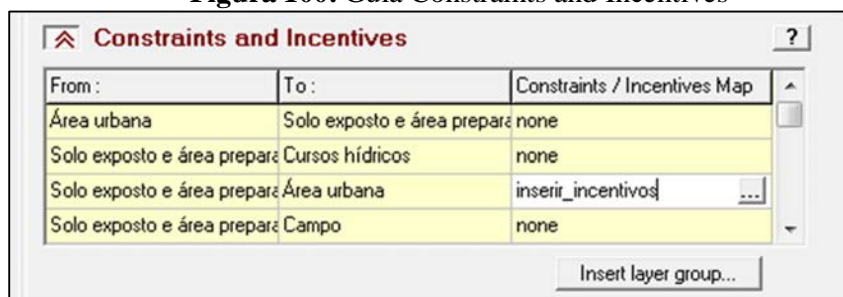
Figura 99. Painel Planning



Fonte: Dados da pesquisa.

Na guia Constraints and Incentives é possível inserir os mapas de restrições e incentivos, ou não, para cada potencial de mudança, conforme observado na Figura 100.

Figura 100. Guia Constraints and Incentives



Fonte: Dados da pesquisa.


Já na guia Planned Infrastructure Changes, é possível inserir os mapas de mudanças de infraestrutura visados pelo planejamento urbano (Figura 101).

Figura 101. Guia Planned Infrastructure Changes

Infrastructure image :	Effective Date :
estradas	1998

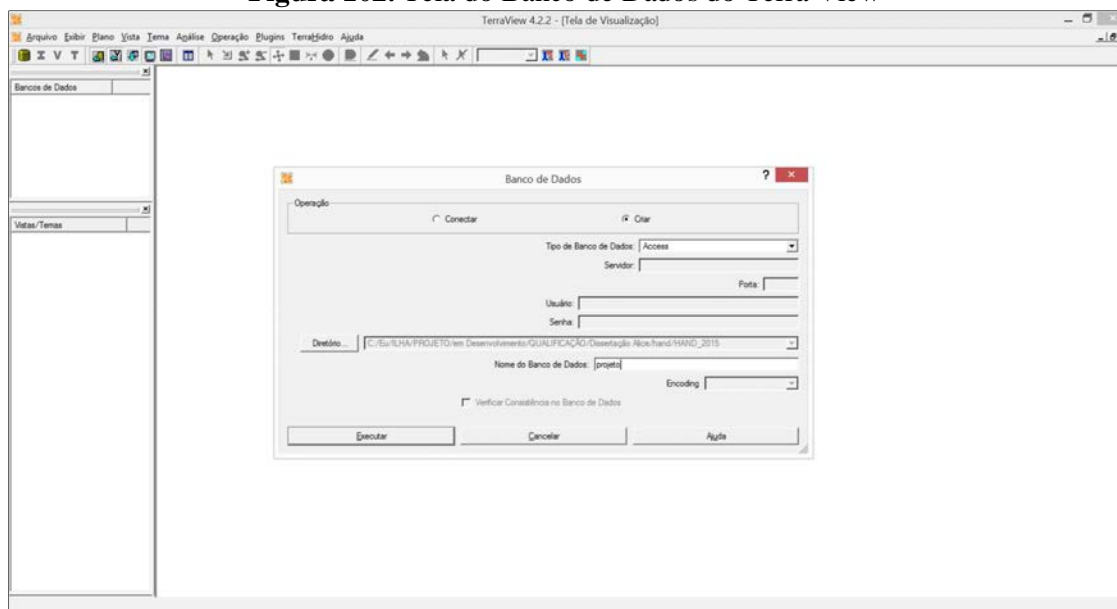
Fonte: Dados da pesquisa.

APÊNDICE C – PROCEDIMENTOS PARA O HAND

Após abrir o TerraView, clicar no ícone  (Banco de Dados).

Na janela do Banco de Dados que será aberta, preencher e executar conforme apresentado na Figura 102.

Figura 102. Tela do Banco de Dados do Terra View



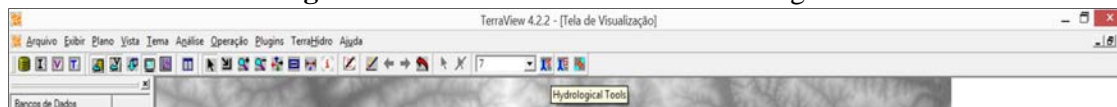
Fonte: Dados da pesquisa.

Em seguida, ir em Arquivo → Importar Raster.

Inserir o arquivo SRTM, dar o nome do Plano. Em seguida, pode Finalizar ou ir em Próximo. Neste caso, poderá ser definido as características geográficas (projeção), características de armazenamento e a pirâmide de multi resolução, para então finalizar. Clique em “sim” na mensagem que aparecerá para visualizar.

Acessar as ferramentas hidrológicas (Figura 103).

Figura 103. Ícone das ferramentas hidrológicas



Fonte: Dados da pesquisa.

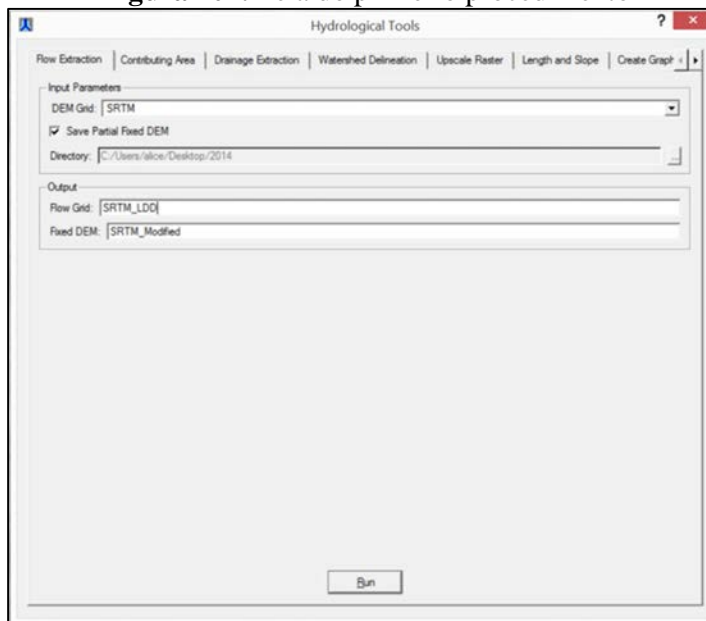
Na aba Flow Extraction são computados as direções de fluxo (LDD) e o DEM corrigidos originados a partir do DEM/SRTM como informação de entrada (DEM Grid), assim como demonstra a Figura 104. A Figura 105 apresenta o resultado do processo, que é a grade de direções de fluxo.

1- Obtenção da direção de fluxo e DEM corrigido

Na aba Flow Extraction, preencher conforme segue:

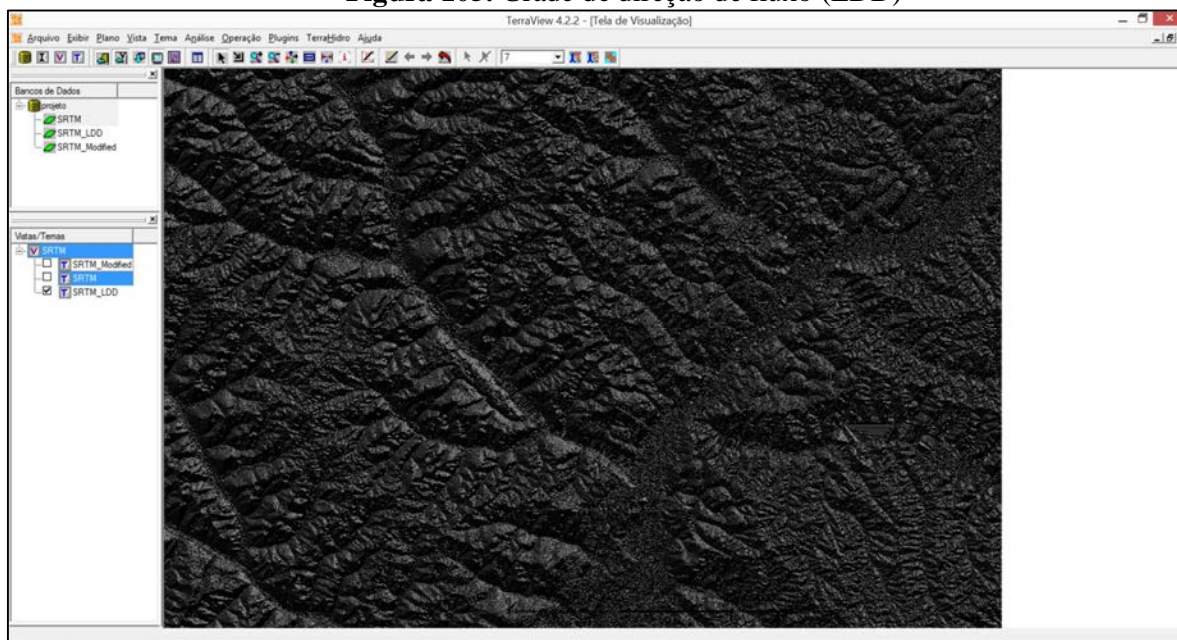
DEM GRID: inserir o tiff da SRTM
Flow Grid: nome_LDD
Fixed DEM: nome_Modified (automático)
Clicar em Run

Figura 104. Tela do primeiro procedimento



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 105. Grade de direção de fluxo (LDD)

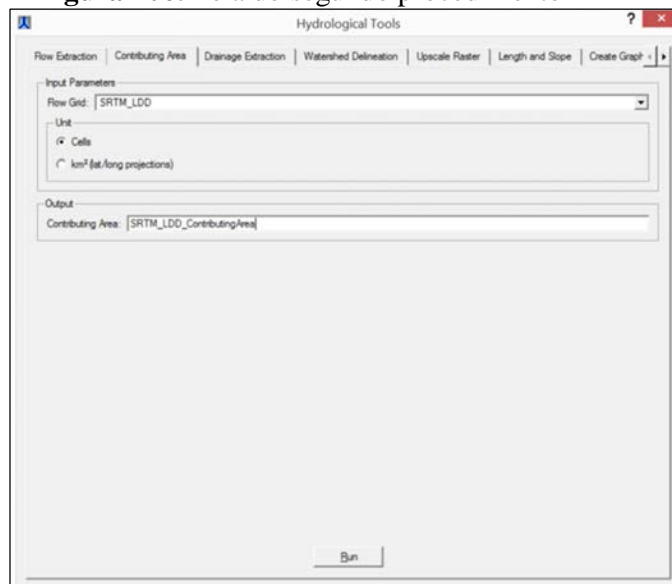


Fonte: Dados da pesquisa.

2- Fluxo acumulado

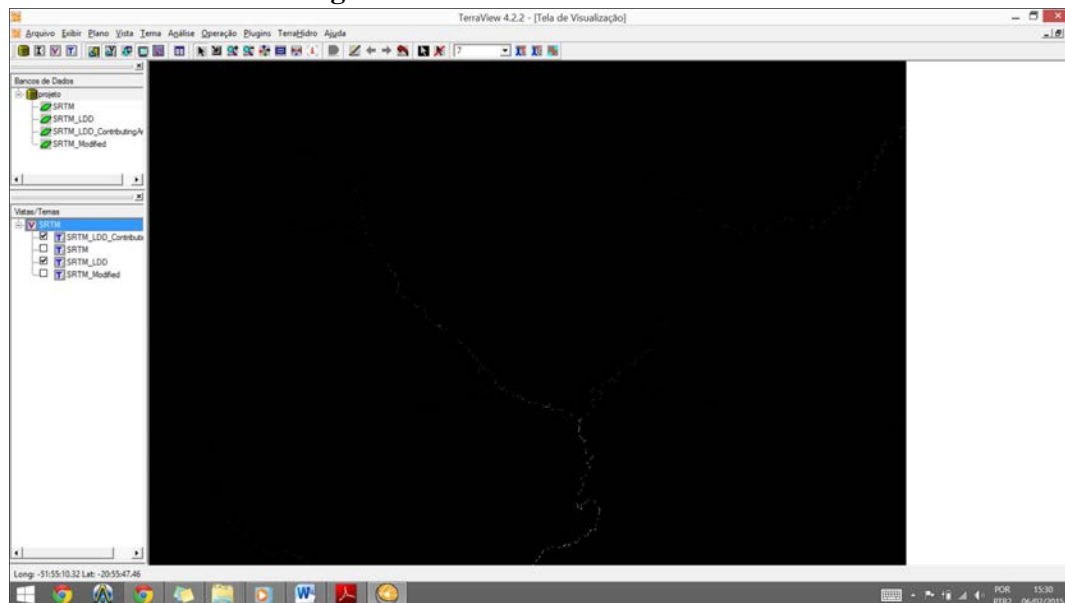
Logo após, utilizando a grade de direção de fluxo como dado de entrada (Flow Grid) na aba Contributing Area das ferramentas hidrológicas (Figura 106) resultou-se na grade de área de fluxo acumulado (Figura 107).

Figura 106. Tela do segundo procedimento



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 107. Grade de fluxo acumulado

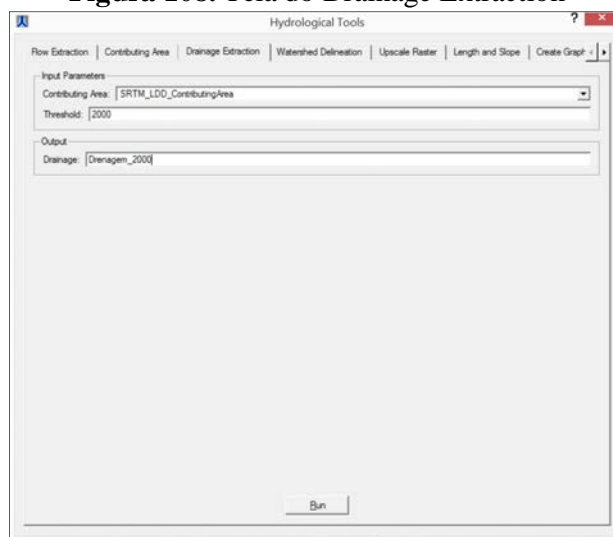


Fonte: Dados da pesquisa.

3- Drenagem

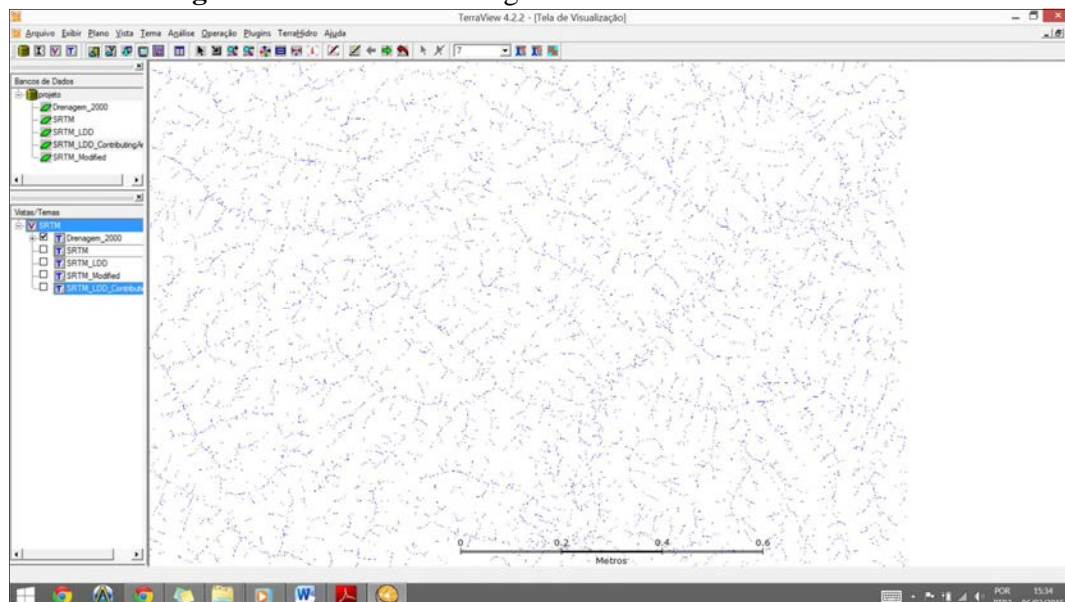
A grade de área de fluxo acumulado (Figura 107) é parâmetro de entrada para a extração da rede de drenagens por meio da ferramenta *Drainage Extraction*. Para isto, foi definido um limiar de extração de 2000, como exemplo evidenciado na Figura 108. As drenagens extraídas podem ser observadas nas Figuras 109 e 110.

Figura 108. Tela do Drainage Extraction



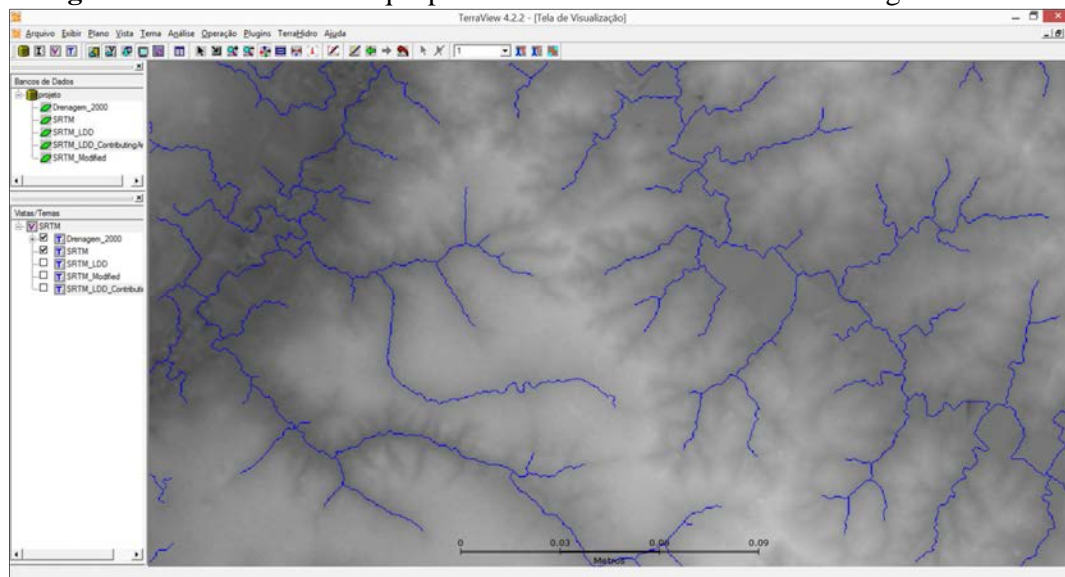
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 109. Grade de drenagens extraídas com limiar de 2000



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 110. Tela com destaque para a área de estudo da rede de drenagem extraída

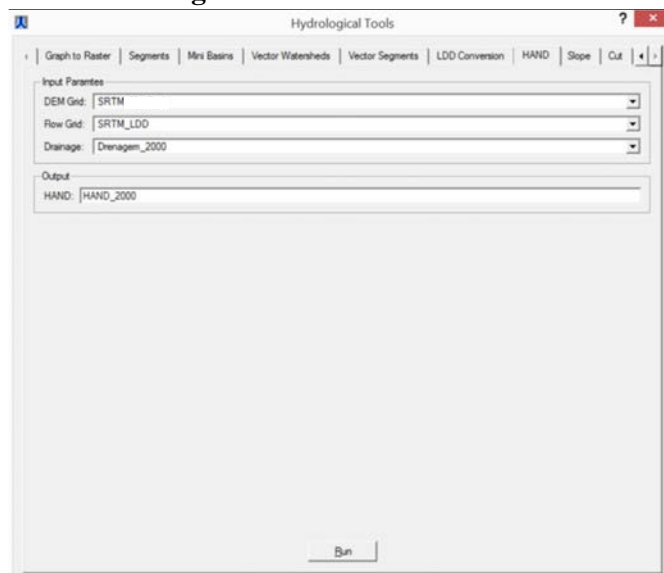


Fonte: Dados da pesquisa.

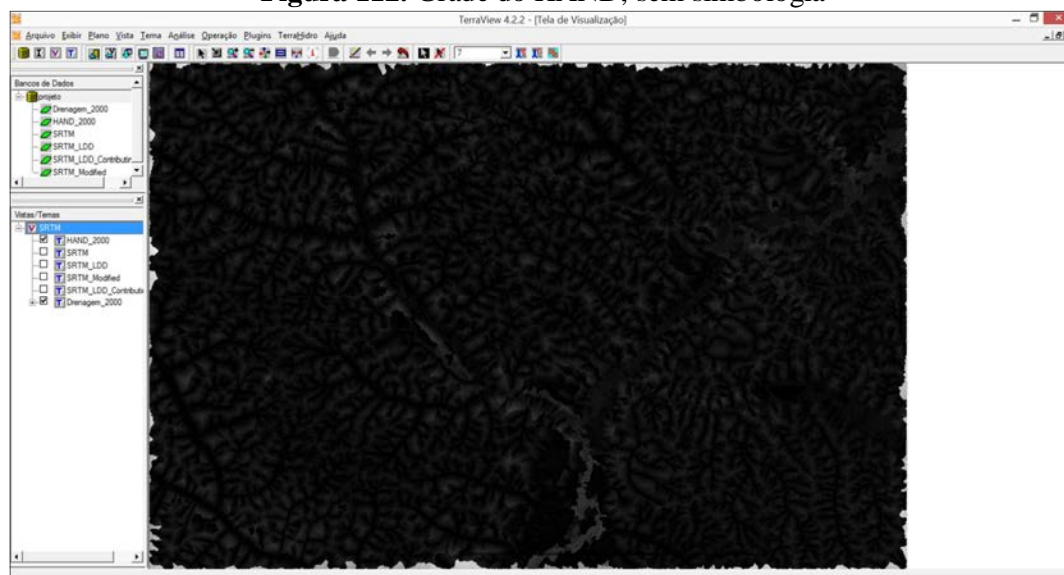
4- HAND

A última etapa corresponde na utilização da rede de drenagem (Figura 110), das direções de fluxo (Figura 105) e do DEM para conseguir a grade do HAND (Figura 112). Esse passo é realizado na aba HAND das ferramentas hidrológicas do TerraView (Figura 111).

Figura 111. Tela do HAND



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 112. Grade do HAND, sem simbologia

Fonte: Dados da pesquisa.