



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM RECURSOS  
HÍDRICOS E SANEAMENTO**



**AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS SEDIMENTOLÓGICOS NA BACIA  
DO RIO JACARECICA, EM MACEIÓ-AL**

**SAMUELSON LOPES CABRAL**

**MACEIÓ – AL  
2011**

**SAMUELSON LOPES CABRAL**

**AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS SEDIMENTOLÓGICOS NA BACIA  
DO RIO JACARECICA, EM MACEIÓ-AL**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rosangela Sampaio Reis.

**MACEIÓ - AL  
2011**

**Catlogação na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- C117a Cabral, Samuellson Lopes.  
Avaliação dos processos sedimentológicos na bacia do rio Jacarecica, em Maceió-AL / Samuellson Lopes Cabral. – 2011.  
133 f. : il., tabs.
- Orientadora: Rosangela Sampaio Reis.  
Dissertação (mestrado em Engenharia : Recursos Hídricos e Saneamento ) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia, Maceió, 2011.
- Bibliografia: f. 128 -133.
1. Bacia hidrográfica – Maceió (AL). 2. Urbanização. 3. Solo – Uso – Maceió (AL). 4. Modelagem computacional. 5. KINEROS2. I. Título.

CDU: 556.51(813.5)



Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Centro de Tecnologia – CTEC  
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamentos – PPGRHS  
Campus A. C. Simões, Av. Lourival de Melo Mota, S/N  
Tabuleiro do Martins – CEP 57072-970 – Maceió – Alagoas  
Tel/Fax: (82) 3214-1279  
E-mail: ppgrhs@yahoo.com  
Homepage://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs



**AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS SEDIMENTOLÓGICOS  
NA BACIA DO RIO JACARECICA EM MACEIÓ – AL**

**SAMUELLSON LOPES CABRAL**

Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 11 de fevereiro do ano de 2011.

Banca Examinadora:

Prof.ª Dr.ª Rosângela Sampaio Reis (Orientadora  
(CTEC/UFAL)

Prof.ª Dr.ª Cleuda Custódio Freire  
(PPGRHS/UFAL)

Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragoso Júnior  
(PPGRHS/UFAL)

Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos  
(UFPB).

Dedico a minha mãe Cicera Lopes,  
pelo seu amor, conselhos e orações.  
Amo-te mãe.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar forças, permanecer comigo em todos os momentos e permitir que eu alcançasse mais uma vitória.

À pessoa mais importante da minha vida, minha mãe, Cícera Lopes da Silva Gomes, que sempre me apoiou e que eu tanto amo.

A toda minha família, especialmente aos meus pais, irmãos, sogro e sogra, cunhados (as) e aos meus sobrinhos.

Em especial a minha noiva, Caroline Moreira Galdino, por todo seu apoio e incentivo nos momentos mais difíceis, e pelo carinho, amor, atenção e paciência, quando eu só falava em Recursos Hídricos, TE AMO.

À minha orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Rosangela Sampaio Reis, pela orientação, apoio, amizade e todo aprendizado passado nesses dois anos de curso.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS) do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em especial, aos professores Roberaldo Carvalho de Souza e Cleuda Custodio Freire, pelo apoio através do projeto Águas Subterrâneas (ASUB-UFAL), ao Prof. Valmir de Albuquerque Pedrosa pelos conselhos dados e ao Prof. Carlos Ruberto Fragoso Júnior pelo aprendizado e experiência passada sobre modelagem hidrológica.

Ao Prof. Frederico Tejo di Pace do Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), pela amizade e orientação acadêmica.

À Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados de precipitação.

À CAPES e a FAPEAL pela concessão da Bolsa de Estudos.

Ao PPGRHS e à UFAL pelo total apoio dado ao longo do curso.

Ao Laboratório de Saneamento Ambiental e ao Laboratório de Hidráulica da UFAL.

A todos os amigos que me deram força e proporcionaram vários momentos de descontração.

A minha turma de mestrado ano 2009, (Danilo, Eliana, Flor, Madalena, Marcelle, Milena, Valdir e Walber) pelo companheirismo e união ao longo dessa etapa, e aos companheiros das outras turmas do PPGRHS.

Agradeço em especial, a mestranda Milena Caramori, pela ajuda nas várias saídas de campo e ao mestrando Walber Gama pela ajuda no ArcGis.

A todos do projeto ASUB-AL e aos alunos da graduação dos cursos de Engenharia Civil e Ambiental: Alberonaldo, Almir, Aracely, Dayse, Geisa, Helen, Igor Bruno, e Josuele pela ajuda prestada.

A todos que participaram das campanhas de campo nesses seis meses de medições e coletas. E a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para esse trabalho.

## RESUMO

Ao longo dos anos com a mudança do uso e cobertura do solo a bacia do rio Jacarecica localizada em Maceió no Estado de Alagoas, tem passado por várias transformações aumentando significativamente sua área urbanizada, principalmente na parte alta e média da bacia. A erosão acelerada provocada pelo aumento da urbanização e efeitos da variabilidade climática são as principais causas do aumento da produção de sedimentos em muitas das bacias hidrográficas brasileiras. A crescente expansão urbana ocorrida nas últimas décadas no município de Maceió traz vários benefícios para o setor econômico, gerando emprego e renda. No entanto, com o avanço desordenado dessa urbanização ocorrem inúmeros problemas relacionados ao aumento da produção de sedimentos em escalas locais e regionais em função principalmente da impermeabilização do solo. Com o objetivo de analisar sazonalmente a produção de sedimentos em escala espaço-temporal, foram realizadas campanhas de campo nos períodos secos e chuvosos, entre junho a dezembro de 2010, para a medição dos parâmetros hidrossedimentológicos de na bacia do rio Jacarecica. Os resultados obtidos em campo servirão de comparação e calibração aos dados obtidos através do modelo sedimentológico chuva-vazão-erosão KINEROS2 acoplado a um SIG, utilizado para simular dados de escoamento superficial e produção de sedimentos. Os resultados mostram que os meses com precipitação acima da média climatológica (janeiro, fevereiro e junho) apresentam maiores valores de produção de sedimentos no exutório da bacia, na ordem de aproximadamente 6,57, 1,34 e 120 t.ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> respectivamente. Os usos da terra também influenciaram diretamente na produção de sedimentos na bacia, uma vez que o modelo respondeu bem à variação da cobertura da bacia: áreas urbanizadas e com solos expostos tiveram seus planos com maior produção de sedimentos, enquanto áreas com maior cobertura de vegetação produziram menos sedimentos ao longo do ano de 2010.

**Palavras-chave:** Urbanização. Produção de sedimentos. KINEROS 2.

## ABSTRACT

Over the years with the change of use and land cover Jacarecica River Basin located in Maceió in Alagoas state, has gone through several transformations significantly increasing its urbanized area, mainly in the upper and middle basin. The accelerated erosion caused by increased urbanization and the effects of climate variability are the main causes of increased sediment production in many river basins in Brazil. The growing urban sprawl in recent decades in the city of Maceió has several benefits for the economic sector, generating employment and income. However, with the advancement of disorderly urbanization occur numerous problems related to increased sediment production in local and regional scales due mainly to soil sealing. Aiming to analyze the seasonal sediment yield in spatiotemporal scale, field campaigns were conducted during the dry and rainy from June to December 2010 for the measurement of parameters of hydrosedimentological Jacarecica River Basin. The results obtained in the field will serve as a comparison and calibration of data obtained from the sedimentological model rainfall-runoff-erosion KINEROS2 coupled to a GIS data used for simulating runoff and sediment yield. The results show that the months with precipitation above the climatological average (January, February and June) had higher values of sediment yield at the outlet of the basin, in the order of about 6.57, 1.34 and 120 t ha<sup>-1</sup> months<sup>-1</sup> respectively. Land use also directly influenced the production of sediments in the basin, since the model responded well to the variation in coverage of the basin and urbanized areas with exposed soils had their plans with the highest sediment yield, while areas with higher vegetation cover produced less sediment throughout the year 2010.

**Key-words:** Urbanization. Sediment production. KINEROS2.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>2 OBJETIVOS.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>2.1 Geral.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>2.2 Específicos .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>  | <b>25</b> |
| <b>3.1 Processos Sedimentológicos em Bacias Urbanas.....</b>                 | <b>25</b> |
| 3.1.1 Efeitos da Urbanização na Produção de Sedimentos.....                  | 26        |
| <b>3.2 Modelos Hidrossedimentológicos.....</b>                               | <b>29</b> |
| 3.2.1 Determinação da Perda de Solos nos Modelos Hidrossedimentológicos..... | 30        |
| 3.2.2 Equação Universal de Perda de Solos (EUPS).....                        | 30        |
| 3.2.3 Equação Universal de Perda de Solos Modificada (EUPSM).....            | 32        |
| 3.2.4 Modelo IPH2-SED.....   | 32        |
| 3.2.5 Modelo LHANO e BARO.....   | 33        |
| <b>3.3 The Automated Geospatial Watershed Assessment tool (AGWA2).....</b>   | <b>33</b> |
| <b>3.4 KINEROS – Kinematic Runoff e Erosion Model.....</b>                   | <b>35</b> |
| <b>3.5 KINEROS2 – Kinematic Runoff e Erosion Model.....</b>                  | <b>36</b> |
| <b>3.6 Sistemas de Informações Geográficas em Modelos Hidrológicos.....</b>  | <b>38</b> |
| <b>3.7 Histórico de Uso no Modelo KINEROS2.....</b>                          | <b>39</b> |
| <b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>  | <b>42</b> |
| <b>4.1 Caracterização da Área de Estudo.....</b>                             | <b>42</b> |
| <b>4.2 População .....</b>   | <b>46</b> |
| <b>4.3 Modelo Numérico de Terreno.....</b>                                   | <b>48</b> |
| <b>4.4 Climatologia.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>4.5 Dados do Modelo KINEROS 2.....</b>                                    | <b>49</b> |
| 4.5.1 Modelo Numérico de Terreno (MNT).....                                  | 49        |
| 4.5.2 Uso e Cobertura da Terra.....  | 50        |
| 4.5.3 Tipos de Solos.....  | 51        |
| 4.5.4 Precipitação.....  | 52        |
| <b>4.6 Monitoramento.....</b>  | <b>53</b> |
| 4.6.1 Trabalho de Campo.....   | 53        |
| 4.6.2 Medições de Campo.....   | 55        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.6.2.1 Vazão.....  | 55        |
| 4.6.2.2 Amostragem de Sedimentos em Suspensão.....                                  | 56        |
| 4.6.2.3 Cálculo da Descarga Sólida em Suspensão.....                                | 57        |
| 4.6.3 Análise de Laboratório.....   | 58        |
| 4.6.3.1 Método de Filtração.....  | 58        |
| 4.6.4 Modelagem Hidrossedimentológica.....  | 60        |
| 4.6.4.1 Componente de Infiltração.....  | 60        |
| 4.6.4.2 Fluxo nos Planos.....   | 63        |
| 4.6.4.3 Condições de Fronteira.....   | 64        |
| 4.6.4.4 Recessão e Microtopografia.....   | 65        |
| 4.6.4.5 Fluxo nos Canais.....   | 65        |
| 4.6.4.6 Modelagem da Erosão nos Planos e Canais.....                                | 66        |
| 4.6.5 Etapas do Modelo KINEROS2 / AGWA2.....  | 69        |
| 4.6.5.1 Localização e Delimitação da Bacia.....                                     | 69        |
| 4.6.5.2 Subdivisão da Bacia.....  | 70        |
| 4.6.5.3 Parametrização dos Tipos de Solos e dos Usos e Coberturas da Terra.....     | 70        |
| 4.6.5.4 Entrada dos Dados de Precipitação.....                                      | 71        |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>   | <b>73</b> |
| <b>5.1 Análise Pluviométrica.....</b>   | <b>73</b> |
| <b>5.2 Monitoramento Fluviométrico.....</b>   | <b>75</b> |
| <b>5.3 Monitoramento Sedimentológico.....</b>                                       | <b>77</b> |
| 5.3.1 Concentração de Sedimentos em Suspensão.....                                  | 77        |
| 5.3.2 Descarga Sólida em Suspensão.....   | 80        |
| <b>5.4 Pré-Processamento das Informações a Modelagem Hidrossedimentológico.....</b> | <b>81</b> |
| 5.4.1 Modelo Numérico de Terreno (MNT).....   | 81        |
| 5.4.2 Uso e Cobertura da Terra.....   | 83        |
| 5.4.3 Identificação e Delimitação da Bacia.....                                     | 86        |
| 5.4.4 Subdivisão da Bacia.....  | 88        |
| 5.4.5 Parametrização dos Tipos de Solos e dos Usos e Coberturas da Terra.....       | 89        |
| 5.4.6 Entrada dos Dados de Precipitação.....  | 89        |
| 5.4.7 Execução do Modelo e Visualização dos Resultados.....                         | 89        |
| <b>5.5 Calibração do Escoamento.....</b>  | <b>91</b> |
| <b>5.6 Modelagem da Produção de Sedimentos.....</b>                                 | <b>93</b> |

|   |            |
|---|------------|
| 5.6.1 Análise da Descarga Sólida Observada e Calculada..... | 93         |
| <b>5.7 Análise do Regime Hidrossedimentológico .....</b>    | <b>94</b>  |
| 5.7.1 Janeiro de 2010.....                                  | 96         |
| 5.7.2 Fevereiro de 2010.....                                | 97         |
| 5.7.3 Março de 2010.....                                    | 100        |
| 5.7.4 Abril de 2010.....                                    | 102        |
| 5.7.5 Maio de 2010.....                                     | 104        |
| 5.7.6 Junho de 2010.....                                    | 107        |
| 5.7.7 Julho de 2010.....                                    | 110        |
| 5.7.8 Agosto de 2010.....                                   | 113        |
| 5.7.9 Setembro de 2010.....                                 | 115        |
| 5.7.10 Outubro de 2010.....                                 | 118        |
| 5.7.11 Novembro e Dezembro de 2010.....                     | 121        |
| <b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>                    | <b>125</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                    | <b>127</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 3.1</b> – Interface do AGWA2, inserida em um projeto do ArcGis 9.2.....  | 35 |
| <b>Figura 3.2</b> – Fluxograma ilustrativo das etapas de execução do AGWA2.....  | 36 |
| <b>Figura 3.3</b> – Diagrama representativo do KINEROS2 adptado de USDA (2007)...  | 37 |
| <b>Figura 3.4</b> – Representação esquemática da relação entre SIG e o modelo hidrológico HEC-HMS.....   | 40 |
| <b>Figura 4.1</b> – Localização da bacia do rio Jacarecica.....  | 42 |
| <b>Figura 4.2</b> – Impactos Ambientais da bacia do rio Jacarecica.....  | 44 |
| <b>Figura 4.3</b> – Áreas urbanizadas, em processo de urbanização e rurais ao longo da bacia do rio Jacarecica.....  | 45 |
| <b>Figura 4.4</b> – Localização da bacia do Tabuleiro .....  | 46 |
| <b>Figura 4.5</b> – Lagoas de detenção e bacia do rio Jacarecica .....   | 47 |
| <b>Figura 4.6</b> – Distribuição da população ao longo dos bairros inseridos na bacia do rio Jacarecica.....   | 48 |
| <b>Figura 4.7</b> – Distribuição dos bairros ao longo da bacia do rio Jacarecica.....  | 49 |
| <b>Figura 4.8</b> – MNT da bacia do rio Jacarecica.....  | 50 |
| <b>Figura 4.9</b> – Imagem em composição RGB do satélite TM- LANDSAT 5, sobre a bacia do rio Jacarecica.....   | 53 |
| <b>Figura 4.10</b> – Distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados no estudo da bacia do rio Jacarecica.....                                  | 54 |
| <b>Figura 4.11</b> – Distribuição dos pontos de medições ao longo da bacia do rio Jacarecica.....  | 56 |
| <b>Figura 4.12</b> – Diagrama Unifilar relativo aos pontos de coletas na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL.....   | 57 |
| <b>Figura 4.13</b> – Medição de vazão na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL.....   | 57 |
| <b>Figura 4.14</b> – Interface gráfica do VANE 2.0/2004.....   | 58 |
| <b>Figura 4.15</b> – Amostrador US DH-48 e campanha de campo na bacia do rio Jacarecica.....   | 59 |
| <b>Figura 4.16</b> – Etapas da análise laboratorial: cadinhos calcinados no dessecador e pesagem inicial da membrana filtrante na balança de precisão..... | 61 |
| <b>Figura 4.17</b> – Etapas da análise laboratorial.....   | 62 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 5.1</b> – Precipitação média mensal registrada pelo pluviômetro do INM UFAL instalados na parte alta da bacia do rio Jacarecica para o ano de 2010.....   | 75  |
| <b>Figura 5.2</b> – Precipitação média mensal registrada pelo pluviômetro da SEMARH-AL instalados na parte baixa da bacia do rio Jacarecica para o ano de 2010..... | 76  |
| <b>Figura 5.3</b> – Comparativo das precipitações diárias na parte alta e baixa da bacia do rio Jacarecica entre os dias 01/01/2010 a 31/12/2010.....               | 77  |
| <b>Figura 5.4</b> – Distribuição das vazões médias diárias na bacia do rio Jacarecica no período de junho de 2010 a dezembro de 2010.....                           | 79  |
| <b>Figura 5.5</b> – Distribuição da concentração de sólidos totais em suspensão na bacia do rio Jacarecica, no período de junho de 2010 a dezembro de 2010.....     | 81  |
| <b>Figura 5.6</b> – Modelo Numérico do Terreno (MNT) da bacia do rio Jacarecica.....  | 83  |
| <b>Figura 5.7</b> – Mapa de Uso e Cobertura da terra da bacia do rio Jacarecica.....  | 84  |
| <b>Figura 5.8</b> – Delimitação manual e automática (AGWA) para a bacia do rio Jacarecica.....  | 86  |
| <b>Figura 5.9</b> – Direção do escoamento da bacia do rio Jacarecica.....   | 87  |
| <b>Figura 5.10</b> – Discretização da área de drenagem da bacia utilizando-se o valor de CSA de 2,5%.....   | 89  |
| <b>Figura 5.11</b> – Comparativo das vazões observadas e calculadas nos meses de junho e julho de 2010.....   | 93  |
| <b>Figura 5.12</b> – Relação entre a precipitação média mensal e a produção de sedimentos mensal calculada.....   | 95  |
| <b>Figura 5.13</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Janeiro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....                               | 98  |
| <b>Figura 5.14</b> – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de Janeiro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....   | 99  |
| <b>Figura 5.15</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Fevereiro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....                             | 100 |
| <b>Figura 5.16</b> – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de Fevereiro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....   | 102 |
| <b>Figura 5.17</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Março de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....                                 | 103 |
| <b>Figura 5.18</b> – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de Março de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....   | 104 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 5.19</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Abril de 2010, na bacia do Rio Jacarecica.....    | 105 |
| <b>Figura 5.20</b> – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de Abril de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....                | 106 |
| <b>Figura 5.21</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Maio de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....     | 108 |
| <b>Figura 5.22</b> – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de Maio de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....                 | 109 |
| <b>Figura 5.23</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Junho de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....    | 110 |
| <b>Figura 5.24</b> – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de Junho de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....                | 111 |
| <b>Figura 5.25</b> – Áreas em processos de erosão ao longo da parte alta da bacia.....   | 112 |
| <b>Figura 5.26</b> – Processos erosivos ao longo da bacia do rio Jacarecica.....   | 112 |
| <b>Figura 5.27</b> – Desbarrancamento em áreas dos planos na parte média da bacia..  | 112 |
| <b>Figura 5.28</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Julho de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....    | 113 |
| <b>Figura 5.29</b> – Impactos presentes no plano com maior produção de sedimentos..  | 114 |
| <b>Figura 5.30</b> – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de Julho de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....                | 115 |
| <b>Figura 5.31</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Agosto de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....   | 116 |
| <b>Figura 5.32</b> – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de Agosto de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....               | 117 |
| <b>Figura 5.33</b> – Comparativo do nível da lamina d’água na bacia do Rio Jacarecica no dia 17/06/2010.....                           | 118 |
| <b>Figura 5.34</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Setembro de 2010, na bacia do rio Jacarecica..... | 119 |
| <b>Figura 5.35</b> – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de Setembro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....             | 120 |
| <b>Figura 5.36</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Outubro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....  | 121 |
| <b>Figura 5.37</b> – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de Outubro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.....              | 122 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 5.38</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos e escoamento para o mês de Novembro de 2010, na bacia do rio Jacarecica..... | 123 |
| <b>Figura 5.39</b> – Resultados da modelagem da produção de sedimentos e escoamento para o mês de Dezembro de 2010, na bacia do rio Jacarecica..... | 124 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 4.1</b> – Variáveis climáticas da bacia do rio Jacarecica.....   | 51 |
| <b>Tabela 4.2</b> - Distribuição dos postos pluviométricos de interesse do estudo.....   | 54 |
| <b>Tabela 4.3</b> – Localização dos pontos selecionados para o estudo.....   | 55 |
| <b>Tabela 4.4</b> – Informações relacionadas com a cobertura do solo.....  | 73 |
| <b>Tabela 5.1</b> – Valores de vazão (m <sup>3</sup> /s) para o período do estudo no rio Jacarecica  | 77 |
| <b>Tabela 5.2</b> – Valores da tábua da maré, de Maceió-AL.....  | 78 |
| <b>Tabela 5.3</b> – Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L) para o período do estudo no rio Jacarecica.....                                     | 80 |
| <b>Tabela 5.4</b> – Descarga sólida em suspensão (t/dia) para o período do estudo no rio Jacarecica.....   | 82 |
| <b>Tabela 5.5</b> – Uso e Cobertura da terra na bacia do rio Jacarecica.....   | 85 |
| <b>Tabela 5.6</b> – Comparativo das áreas, perímetros, coef. de capacidade e fator de forma, pelo método manual e automático.....                      | 87 |
| <b>Tabela 5.7</b> – Informações dos Planos de Controle.....  | 90 |
| <b>Tabela 5.8</b> – Valores dos parâmetros usados no estudo.....   | 91 |
| <b>Tabela 5.9</b> – Comparativo dos valores das vazões acumuladas observadas e calculadas nos canais dos meses de junho e julho de 2010 (Posto 3)..... | 93 |
| <b>Tabela 5.10</b> – Produção total de sedimentos calculada no exutório da bacia do rio Jacarecica, em Maceió-AL para o ano de 2010.....               | 94 |
| <b>Tabela 5.11</b> – Relação da descarga solida observada <i>versus</i> calculada.....   | 96 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| SÍMBOLO                            | DESCRIÇÃO                                       | DIMENSÃO              |
|------------------------------------|---|-----------------------|
| <b>A</b>                           | Perda de solo                                   | [t/ha.ano]            |
| <b>C</b>                           | Fator de uso e manejo do solo                   |                       |
| <b>D</b>                           | Diâmetro efetivo de uma partícula de solo       | [ $\mu\text{m}$ ]     |
| <b>D<sub>f</sub></b>               | Dimensão fractal do solo                        |                       |
| <b>D<sub>g</sub></b>               | Parâmetro de escala do tamanho das partículas   | [ $\mu\text{m}$ ]     |
| <b>DH</b>                          | Equidistância entre as cotas                    | [km]                  |
| <b>D%</b>                          | Declividade média                               | [%]                   |
| <b>E</b>                           | Índice de vazios                                |                       |
| <b>f<sub>c</sub></b>               | Taxa de infiltração                             |                       |
| <b>F(D)</b>                        | Distribuição do tamanho das partículas          |                       |
| <b>g</b>                           | Aceleração da gravidade                         | [m.s <sup>-2</sup> ]  |
| <b>G</b>                           | Potencial de capilaridade                       | [m]                   |
| <b>H</b>                           | Potencial matricial                             | [m]                   |
| <b>ha</b>                          | Altura da lâmina d'água                         | [m]                   |
| <b>h(<math>\theta</math>)</b>      | Curva de retenção da água no solo               |                       |
| <b>h<sub>ea</sub></b>              | Potencial de entrada de ar                      | [mm]                  |
| <b>h<sub>f</sub></b>               | Pressão matricial na frente da infiltração      | [mm]                  |
| <b>h<sub>g</sub></b>               | Parâmetro de normalização                       | [mm]                  |
| <b>I</b>                           | Infiltração                                     |                       |
| <b>K</b>                           | Fator de erodibilidade do solo                  | [mm.s <sup>-1</sup> ] |
| <b>K(<math>\theta</math>)/K(h)</b> | Condutividade hidráulica não saturada           | [mm.s <sup>-1</sup> ] |
| <b>K<sub>s</sub></b>               | Condutividade hidráulica saturada               | [mm.s <sup>-1</sup> ] |
| <b>LS</b>                          | Fator conjunto de comprimento e grau de declive |                       |
| <b>M e N</b>                       | Parâmetros de Forma da curva F(D)               |                       |

|   |  |                                      |
|---|--|--------------------------------------|
| <b>m e n</b>  | Parâmetros de forma de $h(\theta)$           |                                      |
| <b><math>M</math></b>                                 | Peso total da amostra                        | [m]                                  |
| <b><math>M_s</math></b>                               | Peso das partículas sólidas                  | [m]                                  |
| <b><math>M_w</math></b>                               | Peso da parte líquida                        | [m]                                  |
| <b><math>M_a</math></b>                               | Peso da parte gasosa                         | [m]                                  |
| <b><math>Mc</math></b>                                | Peso da cápsula                              | [m]                                  |
| <b>P</b>  | Parâmetro de tortuosidade                    |                                      |
| <b><math>P_{atm}</math></b>                           | Pressão atmosférica                          | [kPa]                                |
| <b>Q</b>  | Vazão  | [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]   |
| <b>R</b>  | Fator energético da chuva                    | [Mj.mm<br>/ha.h]                     |
| <b>S</b>  | Dimensão fractal relativa do solo            |                                      |
| <b>S</b>  | Sorvidade do solo                            | [mm.s <sup>-1/2</sup> ]              |
| <b>S(R)</b>   | Curva porosimétrica                          |                                      |
| <b>SCn</b>  | Somatória do comprimento das curvas de nível | [km]                                 |
| <b><math>\phi</math></b>                              | Porosidade total do solo                     | [%]                                  |
| <b><math>\delta_s</math></b>                          | Peso específico dos grãos                    | [g.cm <sup>-3</sup> ]                |
| <b><math>\delta</math></b>                            | Peso específico do solo                      | [g.cm <sup>-3</sup> ]                |
| <b><math>\Psi</math></b>                              | Potencial Total da água no solo              | [m]                                  |
| <b><math>\theta/\theta(h)</math></b>                  | Umidade efetiva                              |                                      |
| <b><math>\Psi_g</math></b>                            | Potencial gravitacional                      | [m]                                  |
| <b><math>\Psi_{os}</math></b>                         | Potencial osmótico                           | [m]                                  |
| <b><math>\Psi_p</math></b>                            | Potencial de pressão                         | [m]                                  |
| <b><math>\theta_0; \theta(inic); \theta(i)</math></b> | Umidade volumétrica inicial                  | [cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> ] |
| <b><math>\theta_r</math></b>                          | Umidade residual                             | [cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> ] |
| <b><math>\theta_s; \theta_f</math></b>                | Umidade volumétrica na saturação             | [cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> ] |

|                |  |                       |
|----------------|--|-----------------------|
| $\sigma_t$     | Tensão superficial da água                                 | $[g.s^{-2}]$          |
| $\lambda_{tp}$ | Índice de distribuição do tamanho de poros                 |                       |
| $\mu_{vd}$     | Coeficiente de viscosidade dinâmica                        | $[kg.mm^{-1}.s^{-1}]$ |
| $\Delta\theta$ | Variação de umidade  |                       |
| $\eta$         | Parâmetro de forma de $K(\theta)$ da Eq. de Brooks & Corey |                       |
| $\rho_a$       | Densidade do ar  | $[1285 kg.m^{-3}]$    |
| $\rho_{ag}$    | Massa específica da água                                   | $[g.cm^{-3}]$         |
| $\rho_p$       | Massa específica das partículas do solo                    | $[g.cm^{-3}]$         |
| $\rho_d$       | Massa específica do solo                                   | $[g.cm^{-3}]$         |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

|                |   |
|----------------|---|
| <b>AGWA</b>    | – The Automated Geospatial Watershed Assessment tool      |
| <b>ANEEL</b>   | – Agência Nacional de Energia Elétrica                    |
| <b>ASUB</b>    | – Águas Subterrâneas                                      |
| <b>BEER</b>    | – Bacias Experimentais e Representativas                  |
| <b>BESI</b>    | – Bacia Experimental de Santana do Ipanema                |
| <b>BHRG</b>    | – Bacia Hidrográfica do Riacho Gravatá                    |
| <b>CONAMA</b>  | – Conselho Nacional de Meio Ambiente                      |
| <b>CSA</b>     | – Porcentagem de área de contribuição de drenagem         |
| <b>CTEC</b>    | – Centro de Tecnologia                                    |
| <b>DMET</b>    | – Diretoria de meteorologia                               |
| <b>EMBRAPA</b> | – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária             |
| <b>EUPS</b>    | – Equação Universal de Perda de Solos                     |
| <b>EUPSM</b>   | – Equação Universal de Perda de Solos Modificada          |
| <b>FAO</b>     | – Food and Agriculture Organization of the United Nations |
| <b>FINEP</b>   | – Financiadora de Estudos e Projetos                      |
| <b>GPS</b>     | – Global Position System                                  |
| <b>IBGE</b>    | – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística         |
| <b>INMET</b>   | – Instituto Nacional de Meteorologia                      |
| <b>KINEROS</b> | – KINematic Runoff and EROSION Model                      |
| <b>LH</b>      | – Laboratório de Hidráulica                               |
| <b>LSA</b>     | – Laboratório de Saneamento Ambiental                     |
| <b>MUSLE</b>   | – Universal Loss Equation Modified Soil                   |
| <b>MNT</b>     | – Modelo Numérico do Terreno                              |
| <b>PDRH</b>    | – Plano Diretor de Recursos Hídricos                      |

|                |  |
|----------------|--|
| <b>REHISA</b>  | – Rede Hidrológica do Semi-Árido                           |
| <b>RGB</b>     | – Red, Green e Blue  |
| <b>SCS</b>     | – Soil Conservation Service                                |
| <b>SEINFRA</b> | – Secretaria de Infra-estrutura de Alagoas                 |
| <b>SEMARH</b>  | – Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos |
| <b>SIG</b>     | – Sistemas de Informações Geográficas                      |
| <b>SRTM</b>    | – Shuttle Radar Topography Mission                         |
| <b>SSURGO</b>  | – Soil Survey Geographic                                   |
| <b>STATSGO</b> | – State Soil Geographic                                    |
| <b>SWAT</b>    | – Soil Water Assessment Tool                               |
| <b>TM</b>      | – Thematic Mapper  |
| <b>UFAL</b>    | – Universidade Federal de Alagoas                          |
| <b>USDA</b>    | – United States Department of Agriculture                  |
| <b>USGS</b>    | – United States Geological Survey                          |
| <b>USLE</b>    | – Universal Soil Loss Equation                             |

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme Belló (2004) a urbanização sem planejamento e sem controle pode ocasionar efeitos catastróficos do ponto de vista ambiental. O processo de urbanização, e a mudança de uso e ocupação do solo ocasionam grandes mudanças nos processos hidrológicos e sedimentológicos, provocando assim um desequilíbrio no ciclo hidrológico local e regional.

A interferência do homem sobre o meio ambiente pode ser percebida através das variações dos processos do ciclo hidrológico, podendo provocar em algumas regiões, a escassez de água. “As modificações naturais e artificiais na cobertura vegetal das bacias hidrográficas influenciam o seu comportamento hidrológico. Essas alterações produzem os mais variados impactos sobre o meio ambiente e a disponibilidade dos recursos hídricos” (TUCCI, 1997).

Segundo Scapin (2005), a falta de cuidados, como a retirada da vegetação, o manejo inadequado do solo e a urbanização acelerada próxima aos rios, são alguns dos fatores que trazem sérias consequências ao meio ambiente e ao homem. Como exemplos dessas consequências, podem-se destacar, entre outros, (a) o assoreamento de reservatórios e rios, aumentando a incidência das cheias e, por conseguinte, dos alagamentos; (b) redução da qualidade da água para consumo e irrigação, mortandade de espécies aquáticas, e (c) impossibilidade de navegação devido à diminuição da lâmina d’água. Os custos para a recuperação de um rio ou reservatório assoreado são extremamente altos, por isso medidas preventivas acompanhadas de um monitoramento são recomendadas.

Para uma melhor compreensão desses problemas se faz necessário o aprofundamento nos conhecimentos das áreas em fases distintas de urbanização, através do estudo hidrosedimentológico. (BELLÓ, 2004).

Atualmente, o conhecimento dos processos hidrológicos e sedimentológicos em pequenas bacias hidrográficas urbanas, também passaram a ser importantes, uma vez que a utilização dos recursos hídricos disponíveis cresceu juntamente com a população, pois a urbanização provoca uma modificação substancial no ciclo hidrológico; e a disponibilidade de séries de dados medidos de vazões, bem como a avaliação de transporte de sedimentos, para as pequenas e médias bacias

hidrográficas é quase nula, com exceção de poucos trabalhos de pesquisa, mas de duração limitada.

Os modelos hidrossedimentológicos fornecem estimativas que podem auxiliar a suprir a falta de informações sobre o aporte de sedimentos em bacias hidrográficas. Porém, quando dados medidos são confrontados com os resultados obtidos a partir de modelos, grandes discrepâncias são encontradas. (PAIVA, 2000).

A modelagem dos escoamentos urbanos é complexa em razão de diversos fatores, tais como: diversidade da ocupação urbana, inexistência de cadastramento atualizado da rede de micro drenagem, interfaces entre o escoamento da superfície e escoamentos em redes de canais subterrâneos de drenagem, mudanças sucessivas de regimes de escoamento, presença de resíduos sólidos e de sedimentos no escoamento. O aperfeiçoamento de técnicas de modelagem e esforços para a quantificação e a redução de incertezas nesse campo constituem-se, portanto, em elementos relevantes de desenvolvimento tecnológico (NASCIMENTO, 2003).

Esta realidade indica a importância de se ampliar os dados obtidos no campo, no sentido de fornecer estas informações como entrada e auxiliar no aprimoramento e calibração de métodos e modelos de estimativa do transporte de sedimentos.

Sendo assim este estudo tem como objetivo avaliar o regime hidrossedimentológico de produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica, bacias essa que passa por transformações causadas pelas ações naturais e pelas ações antrópicas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

- O objetivo central deste trabalho é avaliar o regime hidrossedimentológico de produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica.

### **2.2 Específicos**

- Diagnosticar a influência do uso e cobertura do solo da bacia na produção de sedimentos;
- Verificar o potencial do modelo KINEROS2 utilizando o AGWA2;
- Verificar a influência da Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins na produção de sedimentos sobre o rio Jacarecica;
- Calibrar o modelo KINEROS 2;

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Processos Sedimentológicos em Bacias Urbanas**

A produção de sedimentos se origina do desprendimento de partículas sólidas do solo através dos processos erosivos, é a quantidade de material erodido em um determinado local, tendo origem inicialmente nas vertentes.

O uso da terra e o crescimento populacional urbano e rural aceleram este processo, no que resulta o aumento sensível na produção de sedimentos.

Segundo Carvalho et al. (2000) a produção de sedimento derivada da área de drenagem ou correspondente a toda uma bacia hidrográfica é dependente da erosão, do escoamento das águas de chuva com o carregamento dos sedimentos e das características de transporte de sedimentos nos cursos d'água.

Pode-se constatar que a produção e deposição de sedimentos em uma bacia atuam em função de alguns aspectos e características naturais como; precipitação, topografia, tipo de solo, cobertura vegetal e área de drenagem.

Carvalho et al (2000) define os principais fatores que afetam a produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica:

- Precipitação – quantidade, intensidade e frequência;
- Tipo de solo e formação geológica;
- Cobertura do solo (vegetação, rochas aparentes e outros);
- Uso do solo (prática de cultivo, pastagens, exploração de florestas, atividades de construção e medidas de conservação);
- Topografia (geomorfologia);
- Natureza da rede de drenagem – densidade, declividade, forma, tamanho e conformação de canais;
- Escoamento superficial;
- Características dos sedimentos (granulométricas, mineralógicas, etc.);
- Hidráulica dos canais.

De acordo com Canalli (1980), a ação do escoamento superficial sobre o solo, manifesta-se de duas maneiras; desagregando o solo com o impacto cinético do fluxo (mistura água e solo), e ao mesmo tempo transportando partículas de solos suscetíveis ao transporte devido sua forma, tamanho e peso. Muitos dos sedimentos levados aos rios e reservatórios são originários de áreas elevadas, tais como áreas de cultivo e locais de construção. Estes sedimentos têm sua origem na superfície da bacia e pelos processos de erosão laminar e por ravinamento, são levados aos cursos d'água, sendo por isso denominado deplúvio.

Depois dos sedimentos erodidos serem carreados para o curso principal da bacia hidrográfica; começa então o transporte destas partículas sólidas rio abaixo em direção ao exutório. No decorrer deste transporte ocorre também a erosão do leito dos cursos d'água, gerando uma série de problemas hidráulicos tais como; assoreamentos, instabilização de taludes, entre outros.

O deslocamento e o conseqüente transporte do sedimento dependem da forma, tamanho, peso da partícula, e das forças exercidas pela ação do escoamento. Quando essas forças se reduzem até a condição de não conseguir mais deslocar a partícula, ocorre então o processo de deposição dos sedimentos.

### 3.1.1 Efeitos da Urbanização na Produção de Sedimentos

Com o crescimento urbano sem planejamento, as conseqüências nas áreas em urbanização causam preocupação, tanto do ponto de vista da infra-estrutura como da produção de sedimentos através de processos erosivos.

Pode-se constatar que este problema vem se agravando ao longo do tempo, principalmente nas regiões periféricas dos grandes centros urbanos resultante das precárias condições de infra estrutura.

Outro agravante, referente a esta questão, é que as áreas em fase de urbanização muitas vezes localizam-se em lugares com grande declividade, com terrenos altamente susceptíveis à erosão superficial, facilitando assim o processo erosivo. É notório que esses processos erosivos apresentam características das

mais variadas possíveis entre uma bacia rural e uma bacia urbana; por isso, a atenção aos cuidados que devem ser tomados ao se analisar uma bacia em fase de urbanização.

A erosão urbana se expressa mais frequentemente nas formas de erosão laminar e de sulcos ou ravinas nas vias públicas e áreas periféricas, e mais intensamente na forma de voçorocas que, de forma acelerada, destroem edificações e equipamentos urbanos. Do ponto de vista de estabilização da morfologia de cursos d'água, a erosão rural tem um caráter mais extensivo que as erosões urbanas, apresentando, no entanto, taxas específicas de contribuição muito inferiores (RAMOS 1995).

Em regiões de ocupação recente, observa-se em geral que as pessoas que fazem estas ocupações têm uma menor condição cultural e financeira. Como consequência, as ocupações ocorrem de maneira inadequada, sem os devidos cuidados ambientais e de conservação do solo, através da retirada da cobertura vegetal desprotegendo a superfície.

Além da susceptibilidade do solo e dos volumes precipitados nos períodos chuvosos, outro fator agravante é o manejo do solo pelas edificações, sem a atenção necessária para a proteção do mesmo.

Araújo (2000) afirma que as mudanças antrópicas realizadas na cobertura vegetal e nas formas de uso do solo urbano das bacias hidrográficas, contidas nas grandes metrópoles, influenciam diretamente os regimes hidrológicos, hidráulicos, sedimentológicos e de qualidade das suas águas superficiais.

O impacto quantitativo dessas modificações é de difícil prognóstico, face ao grande número de combinações entre condições climáticas, geológica, solo e suas variadas formas alternativas de cobertura.

Os principais fatores que influem na erosão das áreas urbanas relacionados com o escoamento superficial são: (PONTES, 1980)

- Vazão do escoamento das águas pluviais;
- Declividade do terreno;
- Natureza do terreno.

Pode-se então fazer uma análise das formas de uso e ocupação, e os principais problemas associados a processos erosivos urbanos. (CANIL, 2000).

a) Áreas urbanas consolidadas;

- Intervenção: impermeabilizações, ocupação das baixadas, concentração das águas pluviais, estrangulamento de sistemas de drenagens.
- Consequências: erosão (lançamento das galerias a meia encosta ou na cabeceira de drenagens), inundações e ou enchentes, assoreamentos.

b) Áreas urbanas em expansão;

- Intervenção: movimento de terra, parcelamento do solo e ausência de infraestrutura (sistema de drenagem e pavimentação).
- Consequências: intensos processos erosivos (laminar, sulcos, ravinas e voçorocas), e transporte de sedimentos com assoreamento das drenagens.

### **3.2 Modelos Hidrossedimentológicos**

Os modelos são utilizados para estimar quantidades físicas que descrevem as principais respostas da bacia à precipitação, tais como produção de água e sedimentos, Li (1974) *apud* Branco (1998). Estes modelos apresentam características e objetivos distintos, o que acarreta maior ou menor nível de precisão nos resultados e nos dados de entrada, Goldenfum, (1991). É necessário, portanto, que se conheça esses diferentes enfoques para que se possa desenvolver, escolher e utilizar conforme as necessidades do usuário.

Segundo Santos (2001) os modelos erosivos são importantes do ponto de vista da sedimentometria principalmente por que:

- permitem localizar espacialmente as áreas com processos erosivos mais acentuados, favorecendo a tomada de decisão com medidas locais e mais eficientes, pois atingem a fonte do problema;
- permitem prever transporte de sedimentos quantitativamente no tempo e no espaço, facilitando assim o planejamento da rede de monitoramento sedimentométrico e a frequência das campanhas de medição;
- permitem estimar variações na carga de sedimentos devido a alterações no uso do solo previstas no futuro, seja com a finalidade de manejo de bacias, seja para avaliar impactos de determinados usos agrícolas.

Um dos modelos de predição da erosão de origem hídrica, mais conhecido é o método centrado na Equação Universal de Perda de Solos (USLE).

### 3.2.1 Determinação da Perda de Solos nos Modelos Hidrossedimentológicos

A hidrologia tem ganhado importância nas últimas décadas, dada a demanda crescente por água em quantidade suficiente e qualidade satisfatória para abastecer as necessidades humanas e manter as condições ambientais necessárias à preservação dos ecossistemas. (SILVA, 2010)

Assim, modelos matemáticos estão em constante aperfeiçoamento para adaptar-se às diversas condições regionais a que são submetidos. Corpos d'água são, por questões topográficas, o destino de tudo que é arrastado pela água da chuva, incluindo-se aí o sedimento responsável pelo assoreamento de canais e pela redução da qualidade da água. Desta forma, a quantificação da erosão por modelos como a USLE, a MUSLE e suas revisões, mesmo inicialmente desenvolvidos com fins de proteção do solo, têm sido muito utilizados na hidrologia para predição do aporte de sedimento em pequenas bacias hidrográficas (SADEGHI et al. 2007).

### 3.2.2 Equação Universal de Perda de Solos (EUPS)

É um modelo de erosão, destinado a calcular a perda de solo média, em períodos longos, proveniente da erosão laminar e por sulcos. Não prevê deposição e não computa produção de sedimento por ravina e erosão das margens e fundo do canal. O maior propósito desta equação é como guia sistemático no planejamento da conservação do solo.

Ela não é recomendada para prever perda de solo de eventos específicos, prevê perda de solo média de eventos, no caso a perda de solo de um evento único pode diferir largamente na média, devido à flutuação aleatória do tempo.

A equação universal de perda de solos é baseada na equação abaixo que calcula a perda de solo de uma parcela é dada por:

$$A = R.K.L.S.C \quad (3.1)$$

Onde:

A: perda de solo, t/(ha.ano);

R: fator energético da chuva, Mj.mm/(ha.h);

K: fator de erodibilidade do solo, t.h/(Mj.mm);

LS: fator conjunto de comprimento e grau de declive;

C: fator de uso e manejo do solo;

P: fator prático conservacionista do solo.

Para a entrada são necessários:

- dados de pluviômetros;
- razão de perda de solo entre área cultivada;
- área continuamente descoberta, obtida por tabelas;
- cobertura do solo;
- seqüência de manejo;

- práticas conservacionistas;
- dimensões da parcela;
- tipo de solo;
- percentagem de matéria orgânica;
- permeabilidade e estrutura do solo.

O resultado da aplicação é a perda de solo anual por unidade de área para o período selecionado.

### 3.2.3 Equação Universal de Perda de Solos Modificada (EUPSM)

Modificação da Equação Universal da Perda de Solo (EUPSM) através da substituição do fator de energia (**R**) para um fator de escoamento, com a finalidade de prever a deposição. Quando a deposição ocorre, a produção de sedimentos é altamente correlacionada com as características do escoamento, uma vez que o escoamento controla a capacidade de transporte de sedimentos, que é relacionada à carga de sedimentos. Deve ser aplicada a eventos de chuvas individuais.

Devem ser usados dados de entrada iguais aos da EUPS, com exceção dos dados de pluviógrafos, que devem ser substituídos por dados de linígrafos, para determinação da vazão de pico e volume de escoamento superficial.

### 3.2.4 Modelo IPH2-SED

O modelo IPH2-SED é uma adaptação do modelo IPH-II, para permitir a predição de valores de perda de solos em eventos de pequenas bacias rurais através da EUPSM. É caracterizado por dois sub-modelos principais: um modelo hidrológico e um modelo de erosão.

Desenvolvido por Tucci et al (1983), o modelo IPH II apresenta poucos parâmetros, e é aplicável em bacias que não necessitem de propagação no leito do rio. O modelo possui três algoritmos básicos: propagação dos escoamentos

superficiais e subterrâneos, evaporação e interceptação e separação dos escoamentos.

### 3.2.5 Modelo LHANO e BARO

Modelo conceitual, distribuído, de intervalo diário ou por evento. Através deste modelo pode-se avaliar qualitativamente e quantitativamente a erosão hídrica de bacias hidrográficas, sejam pequenas e homogêneas ou grandes e heterogêneas.

A metodologia faz o uso da EUPS para determinar a erosão e faz o uso da EUPSM para quantificar as saídas de sedimentos das bacias.

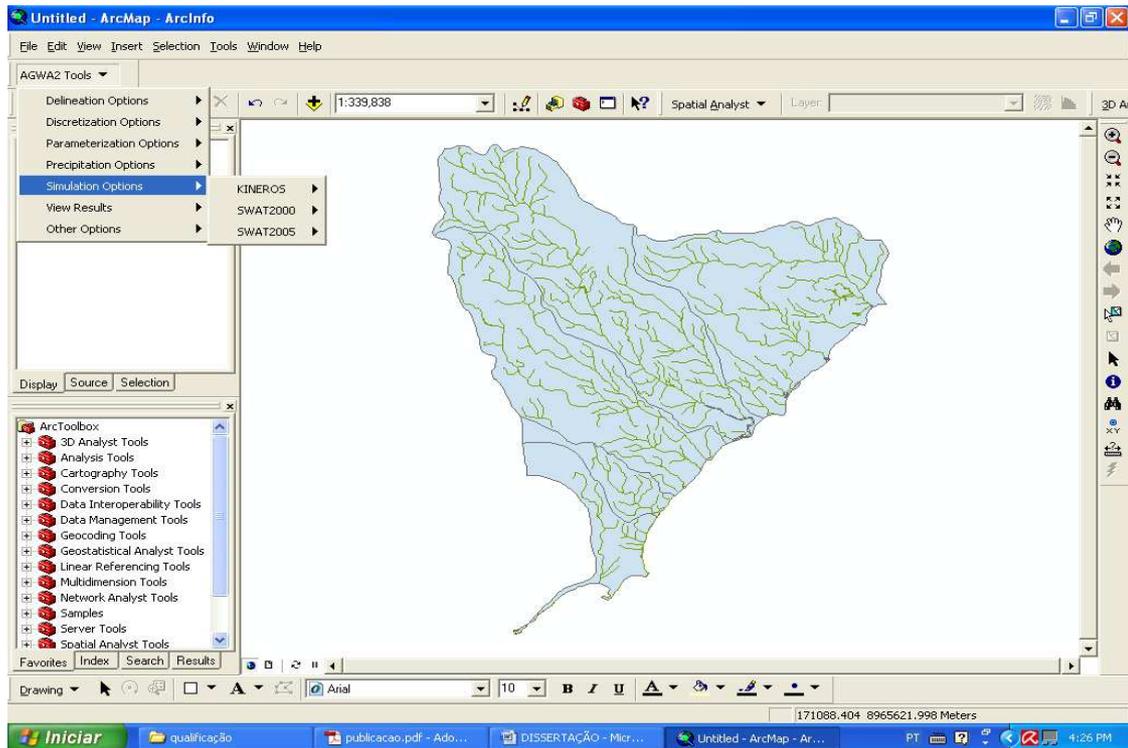
## 3.3 The Automated Geospatial Watershed Assessment tool (AGWA2)

O AGWA2 pode ser definido como um conjunto de ferramentas para modelagem hidrológica inseridas em um sistema de informações geográficas. Este software foi desenvolvido em um programa de cooperação que envolveu duas Universidades e duas agências governamentais americanas (MILLER et al., 2007).

O AGWA2 é um software de código aberto e distribuído gratuitamente pela internet (Miller et al., 2007), disponível em ([www.tucson.ars.ag.gov](http://www.tucson.ars.ag.gov)), tendo sido desenvolvido como uma extensão para a plataforma ArcGis 9.X. Ele foi projetado para permitir a avaliação de bacias em múltiplas escalas espaciais e temporais, e prover suporte para o funcionamento de todas as fases dos modelos hidrológico SWAT (*Soil Water Assessment Tool*) e KINEROS2 (*KINematic Runoff and EROSION Model*). Os dados requeridos por ambos os modelos incluem modelo digital de elevação, mapas de uso e cobertura da terra, mapas de solo e dados de precipitação (KEPNER et al., 2004).

Uma vez que a extensão AGWA2 foi instalada e habilitada no ArcGis, o menu “AGWA tools” é adicionado à barra de ferramentas, deixando disponível todos os componentes dos modelos conforme mostra a figura 3.1.

**Figura 3.1** – Interface do AGWA2, inserida em um projeto do ArcGis 9.2.



**Fonte:** (Do Autor, 2011)

As tarefas necessárias para se avaliar os processos hidrossedimentológicos em uma bacia hidrográfica utilizando-se o AGWA2 podem ser divididas em cinco passos:

1. Identificação da localização e delimitação da Bacia;
2. Subdivisão da Bacia;
3. Parametrização dos tipos de solos e dos usos e coberturas da terra;
4. Entrada dos dados de precipitação;
5. Execução do modelo e visualização dos resultados.

A Figura 3.2 apresenta um fluxograma ilustrativo das etapas de execução do AGWA2 (adaptado de MILLER et al., 2007).

**Figura 3.2** – Fluxograma ilustrativo das etapas de execução do AGWA2.



**Fonte:** (Adaptado de Miller et al. 2007).

### 3.4 KINEROS – Kinematic Runoff e erosion model

KINEROS é um modelo de base física, orientado a evento, descreve os processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão em pequenas bacias urbanas e rurais. A bacia é representada por uma cascata de planos e de canais. As equações diferenciais parciais que descrevem o fluxo nos planos, o fluxo nos canais, a erosão e o transporte do sedimento são resolvidas pelo método das diferenças finitas. A variação espacial da precipitação, da infiltração, do escoamento, e dos parâmetros da erosão também pode ser considerada. Este modelo pode ser usado para determinar os efeitos, no hidrograma e no sedimentograma de uma seção qualquer, de possíveis mudanças nas características da bacia, tais como: urbanização de uma área, construção de reservatórios, desmatamento, etc. (WOOLHISER et al. 1990).

### 3.5 KINEROS2 – Kinematic Runoff e erosion model

Este modelo inicialmente incorporou ao modelo hidrológico de Rovey et al. (1977) componentes de erosão, transporte e deposição. Este modelo usou um outro processo de infiltração para simular a vazão, e era usado para estudos de vazão rural ou urbanas usando chuva de projeto. Desde então o modelo vem sendo modificado, com inclusão de novos componentes, simulação da erosão e transporte de sedimentos, revisão do componente de infiltração e inclusão de um elemento de empocamento; e assim, o modelo foi chamado KINEROS. Atualmente, este modelo é chamado KINEROS2 e de acordo com Santos et al. (2000) o qual incluiu novas características, tais como: (a) o algoritmo de infiltração abrange o perfil do solo com duas camadas e incorpora um novo método baseado nas características físicas do solo, com a finalidade de redistribuir a água no solo durante os períodos sem chuva; e (b) o solo e os sedimentos são caracterizados por uma distribuição de até cinco classes de tamanho de sedimento.

O escoamento é representado por um modelo cinemático, distribuído e de base física, que usa uma rede de planos e canais (Figura 3.3) que representam os cursos d'água na bacia. Sendo assim, a bacia é representada por uma cascata de planos e canais. As equações diferenciais que descrevem o escoamento superficial, o transporte de sedimentos e a deposição de sedimentos nesses planos e canais, são resolvidas pela técnica de diferenças finitas.

**Figura 3.3** – Diagrama representativo do KINEROS2



Fonte: (Adptado de USDA, 2007)

### **3.6 Sistemas de Informações Geográficas em Modelos Hidrológicos**

O uso de modelos hidrológicos vem sendo de grande utilidade para diversas áreas de planejamento e estudos de áreas, cujo comportamento da quantidade e qualidade da água é de extrema influência para a região.

Machado (2002) identifica como a maior limitação na utilização dos modelos, a dificuldade de manipular a grande quantidade de dados relacionados com a variabilidade espacial e temporal das características que descrevem a heterogeneidade do comportamento hidrológico, onde essa variabilidade implicará em limitações na aplicação de modelos.

Os modelos hidrológicos são ditos distribuídos quando leva em consideração a variabilidade espacial e/ou temporal de suas variáveis e parâmetros do mesmo. A qualidade desses modelos é avaliada pela capacidade em representar melhor a variabilidade espacial do sistema, sujeito às condições também variáveis da entrada, como a precipitação. A grande variação espacial das características naturais e do uso do solo resulta numa grande quantidade de informações a serem transferidas para os modelos, principalmente para os modelos distribuídos onde são estabelecidas relações entre características físicas e os parâmetros dos modelos (TUCCI, 1998).

A consideração da variação espacial nos modelos hidrológicos se dá por meio de subdivisões da bacia hidrográfica, onde cada subdivisão apresenta uma característica distinta.

Segundo Burrough (1998), conceitualmente o espaço pode ser discretizado segundo duas abordagens distintas. Na primeira, a divisão é feita por partes reconhecíveis, as quais são denominadas objetos e podem ser representadas através de pontos, linhas ou polígonos. Na outra abordagem o espaço é simplesmente fatiado formando o que se denomina campos contínuos. O grau de detalhamento da discretização estará relacionado com o tipo de modelo a ser aplicado.

Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm sido utilizados para a geração de banco de dados que funcionam como parâmetros de entrada para os modelos

hidrológicos, permitindo, através dessa integração, a manipulação de dados espaciais e servindo como ferramenta de auxílio para a tomada de decisões relacionadas com o planejamento e o ordenamento do território (SANTOS et al., 2006; MENDES FILHO et al., 2007).

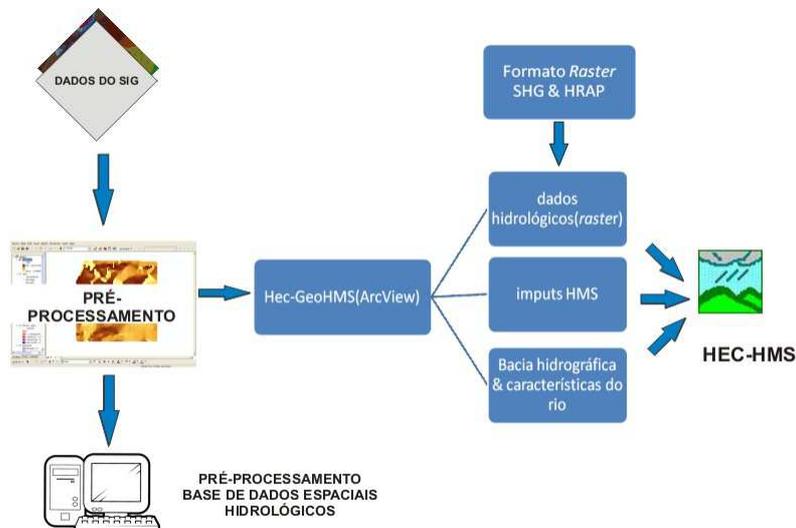
Atualmente, através dos SIGs, pode-se obter uma descrição espacial detalhada de variáveis da região em estudo vinculadas a modelos hidrológicos distribuídos, contribuindo assim para se conhecer com maiores detalhes os processos complexos que, quando analisados de forma conjunta, convergem para uma maior precisão para a análise do fenômeno (GOMES & RODRIGUES, 1998).

Dentre as variáveis comumente utilizadas como dados de entrada e que são fornecidas pelos SIG, podemos citar tipo e uso do solo, cobertura vegetal e distribuição dos dados hidrológicos.

Segundo Calijuri (1998) a integração do SIG com os modelos hidrológicos e a sua aplicação em estudos de bacias hidrográficas permite a realização de um grande número de operações, como: calibração, simulação e comparação entre os modelos, com uma grande vantagem que é a velocidade de processo dessas operações. O uso do SIG permite, portanto, subdividir a bacia hidrográfica em subáreas homogêneas, que através dos resultados georreferenciados contribuem com o avanço quantitativo na caracterização dos parâmetros hidrológicos e no apoio à decisão no contexto da decisão da gestão eficiente da ocupação do solo e dos recursos hídricos (SANTOS et al., 2006).

A Figura 3.4 mostra um esquema de integração dos SIG com um modelo hidrológico (HEC-HMS4).

**Figura 3.4** – Representação esquemática da relação entre os SIG e o modelo hidrológico HEC-HMS.



**Fonte:** (adaptado de Santos *et al.* 2006).

### 3.7 Histórico de uso no Modelo KINEROS2

Green *et al.* 1999 ) analisaram uma bacia de 800 hectares, a oeste da cidade de Galena, Kansas nos Estados Unidos da América. A bacia foi discretizada em 39 segmentos. Através do modelo *KINEROS2*, procurou-se simular a diferença de transporte de sedimentos em regiões com cobertura vegetal e em regiões com ausência de cobertura vegetal. Foram usados eventos de precipitação com tempo de retorno de 2 anos, 10 anos e 50 anos. O modelo *KINEROS2* retornou um decréscimo de apenas 8% para eventos com tempo de retorno de 2 anos para as diferentes áreas.

Lopes (2003) aplicou o modelo *KINEROS2* , em três subbacias da Bacia Representativa de Sumé, para determinar os efeitos de escala na modelagem hidrossedimentológica na região semi-árida do Estado da Paraíba. Concluiu que os dois modelos simularam bem o escoamento superficial e razoavelmente bem a produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas da região semi-árida.

Silva (2005) aplicou o modelo KINEROS2 na Bacia do Rio Pirapama, na Região Metropolitana do Recife – RMR e Zona da Mata Pernambucana, obtendo bons resultados para a previsão de vazões líquidas. Os resultados da previsão de sedimentos não foram comparados com dados observados, segundo o autor, devido a deficiência de dados sedimentológicos na região nordeste do Brasil.

Pereira & Silva (2007) realizaram o trabalho na bacia hidrográfica do Rio Cuiá que está inserida no município de João Pessoa, com uma área de aproximadamente 40 km<sup>2</sup> com valores altimétricos que variam de 0 até 60 m. Sua conclusão foi que a aplicação do modelo *KINEROS2* foi viável e pode ser usado também na simulação de eventos contínuos de chuva-vazão em bacias hidrográficas. Pereira & Silva (2007) analisaram apenas dados de produção total de sedimentos, não efetuou uma análise de correlação de dados de vazão através do modelo KINEROS2. Para os dados de sedimentos totais, os autores não fizeram comparações com dados observados, alegando a inexistência dos mesmos na região Nordeste do Brasil.

No trabalho, Paiva (2008) utilizou dados de bacias experimentais do rio Sumé, no município de Sumé, Estado da Paraíba. Concluiu que o modelo mostrou-se bastante confiável com resultados robustos, tanto para o escoamento superficial como para a produção de sedimento, em nível da região semi-árida paraibana;

Rocha (2008) utilizou o modelo KINEROS 2 para avaliar o potencial de escoamento da bacia hidrográfica do Gravatá (BHRG) no semi árido alagoano e da sub bacia 01 da bacia experimental de Santana do Ipanema (BESI), estudou nove eventos de precipitação e vários cenários de uso e cobertura do solo da bacia tais como: situação atual, caatinga original, desmatamento total e predominância de pastagem.

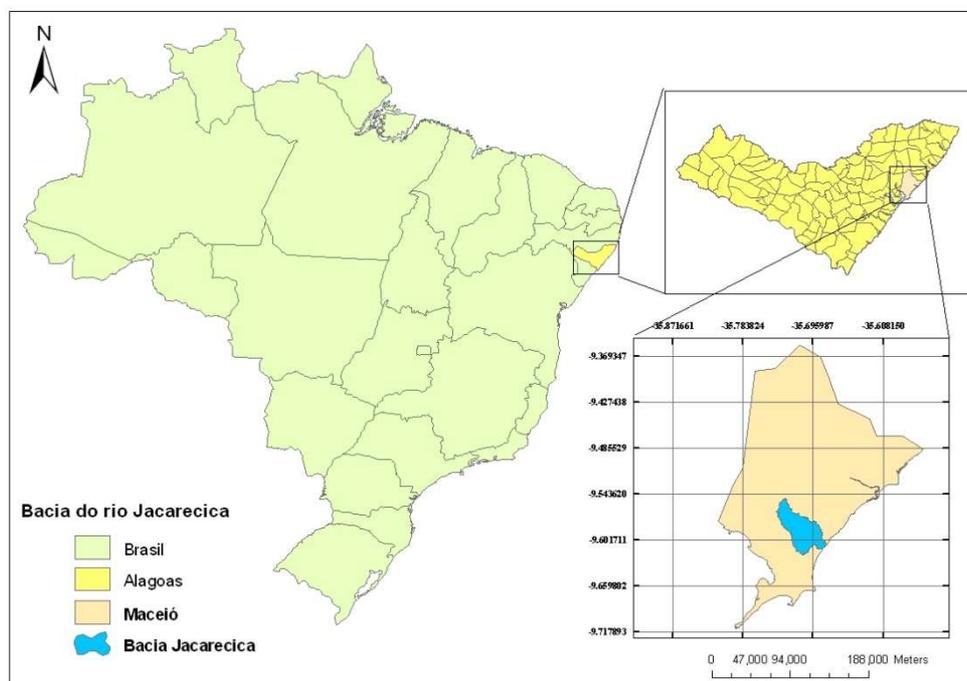
Melo (2010) observou que a utilização do modelo KINEROS2 integrado com um SIG mostrou que apesar das limitações, é possível a integração de modelos hidrológicos complexos com SIG desde que sejam identificadas as limitações do processo, elaborando dados com precisão significativa para serem aplicados na região. Devido à aplicação de algoritmos de interpolação, recomenda que a coleta dos dados extrapole os limites da bacia hidrográfica em estudo, para que se possam obter dados mais representativos.

## 4 MATÉRIAS E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da Área de Estudo

A área da bacia hidrográfica do rio Jacarecica, localizada entre as coordenadas  $35^{\circ} 40'$  e  $35^{\circ}$  Longitude W e  $9^{\circ} 35'$  e  $9^{\circ} 40'$  Latitude S na região nordeste da cidade de Maceió (Figura 4.1), trata-se de uma bacia relativamente pequena drenando uma área de aproximadamente  $24,5 \text{ km}^2$ . O rio principal, tem cerca de 13 km de extensão (ALAGOAS, 1998).

**Figura 4.1** – Localização da bacia do rio Jacarecica.



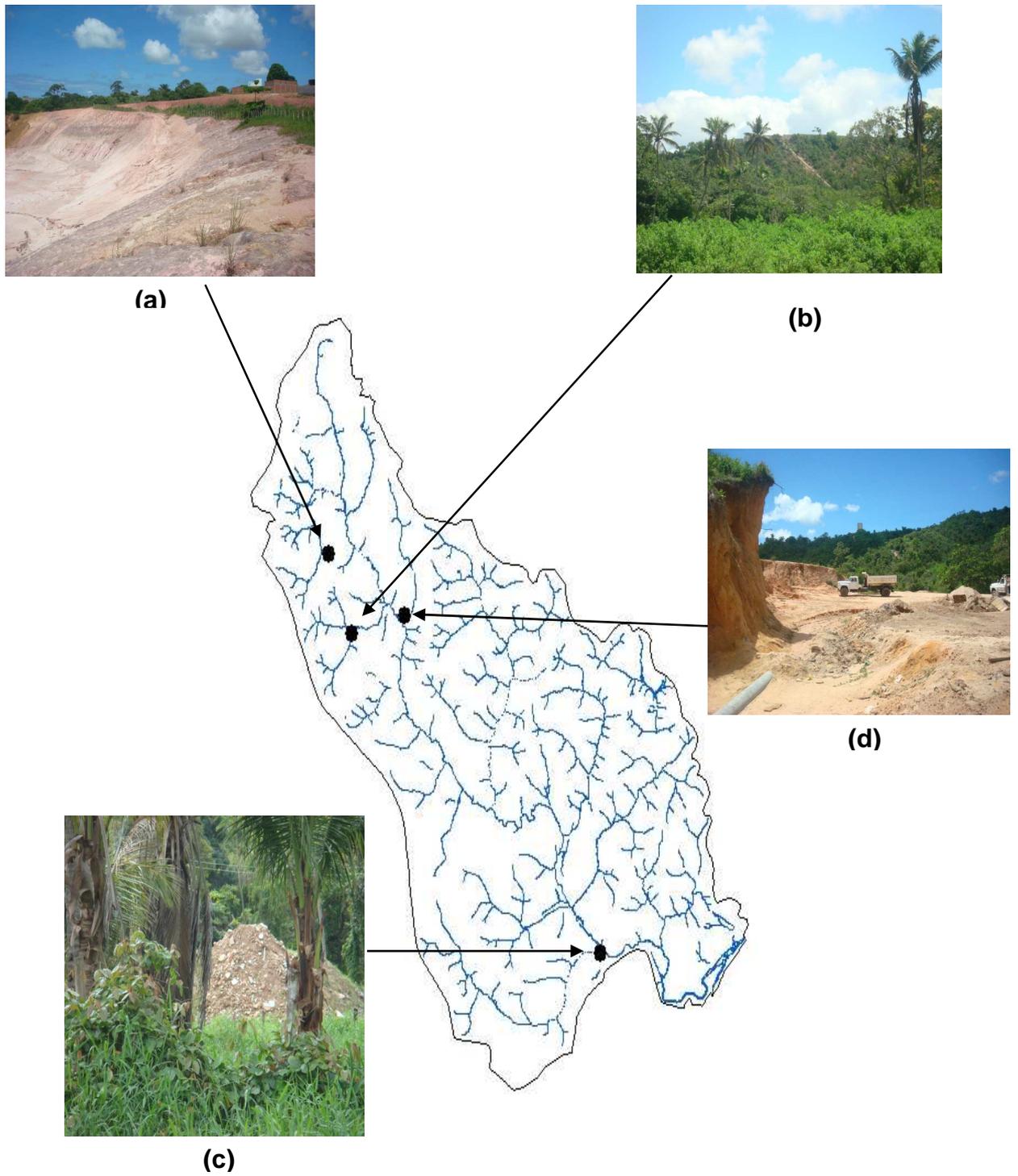
**Fonte:** (Do Autor, 2011).

A bacia do rio Jacarecica apresenta uma declividade média em torno dos 6,5 % contendo elevações na cota 90 m próxima as nascentes. Por apresentar uma elevada declividade, o rio Jacarecica atravessa grandes grotas formadas por processos erosivos, encaixando-se em vales profundos no seu alto e médio curso (AGRA, 1999).

Com processos de degradação desde a nascente até a sua foz, observa-se a ocorrência de urbanização sem planejamento, com ocupação de encostas, em geral

por favelas, ocorrendo lançamento de esgoto e lixo em toda a extensão. A erosão dos talwegues ocorre pela concentração do escoamento, em regiões de alta declividade, e pela falta de proteção das superfícies, contribuindo para o assoreamento da foz. A Figura 4.2 abaixo mostra alguns dos diversos tipos de degradação da bacia do rio Jacarecica em Maceió.

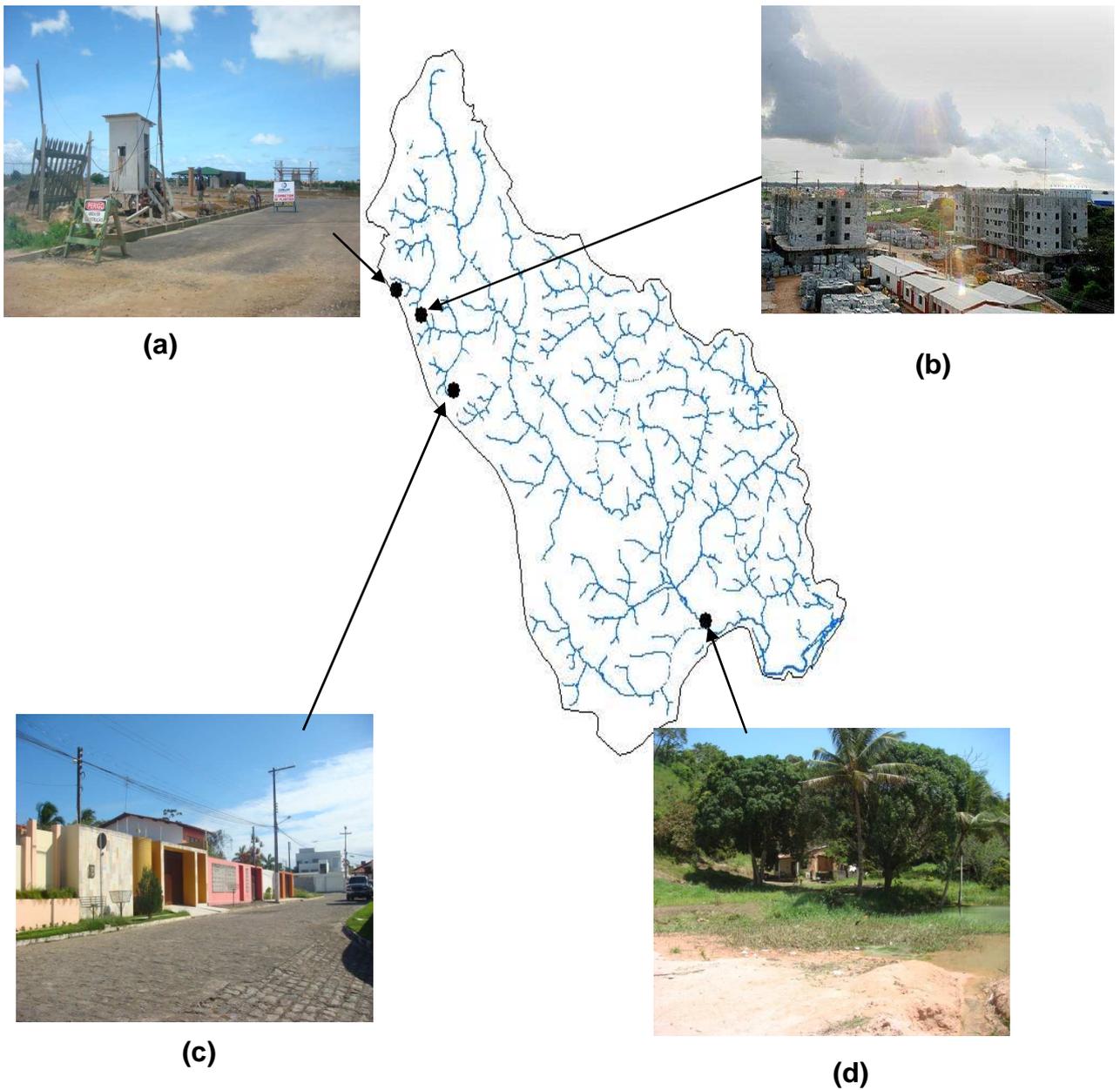
**Figura 4.2** – Impactos Ambientais da bacia do rio Jacarecica: (a) extração de argila, (b) escadarias fluviais, (c) entulhos e (d) extração de areia.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

O seu vale encontra-se bastante urbanizado, embora existam ainda no seu baixo curso vários sítios com características rurais. A Figura 4.3 abaixo mostra algumas áreas de urbanização, em processo de urbanização e características rurais.

**Figura 4.3** – Áreas urbanizadas, em processo de urbanização e rurais ao longo da bacia do rio Jacarecica: (a) e (b) áreas em fase de urbanização, (c) área urbanizada e (d) área rural.



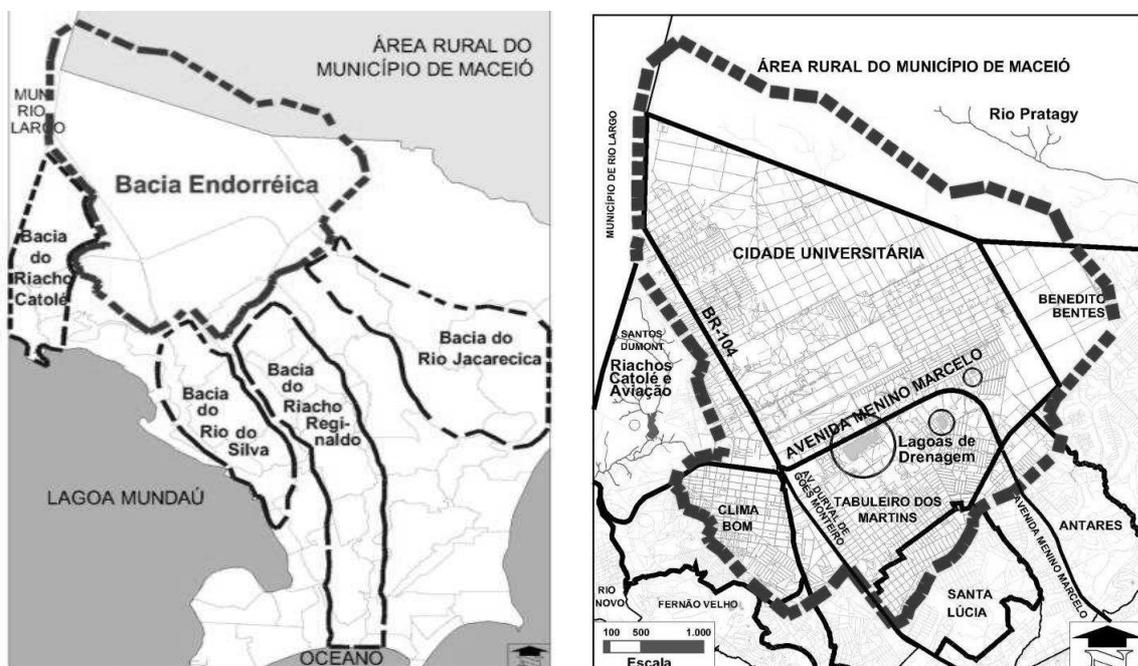
Fonte: (Do Autor, 2011).

O rio Jacarecica já foi objeto de estudos para reforçar o abastecimento de água de Maceió, porém hoje sofre os impactos decorrentes da implantação dos complexos residenciais, com seus vales nas vertentes de cabeceiras totalmente ocupados irregularmente por favelas, quando estas áreas no projeto do conjunto eram previstas e são de preservação permanente.

O crescimento desordenado da cidade ao longo da parte alta da bacia é outro fator de grande impacto ambiental, além do projeto de Macro Drenagem do Grande Tabuleiro, cuja vazão prevista é incompatível com o vale do Jacarecica.

A bacia do rio Jacarecica tem um importante papel no desenvolvimento da cidade de Maceió, uma vez que recebe todo o excesso de água drenada de uma bacia do Tabuleiro (endorreica) de aproximadamente 40 km<sup>2</sup>, situada no bairro dos Tabuleiros dos Martins, na parte alta da cidade, onde se localiza o Distrito Industrial. A Figura 4.4 apresenta a localização da bacia do Tabuleiro em relação à bacia do Jacarecica.

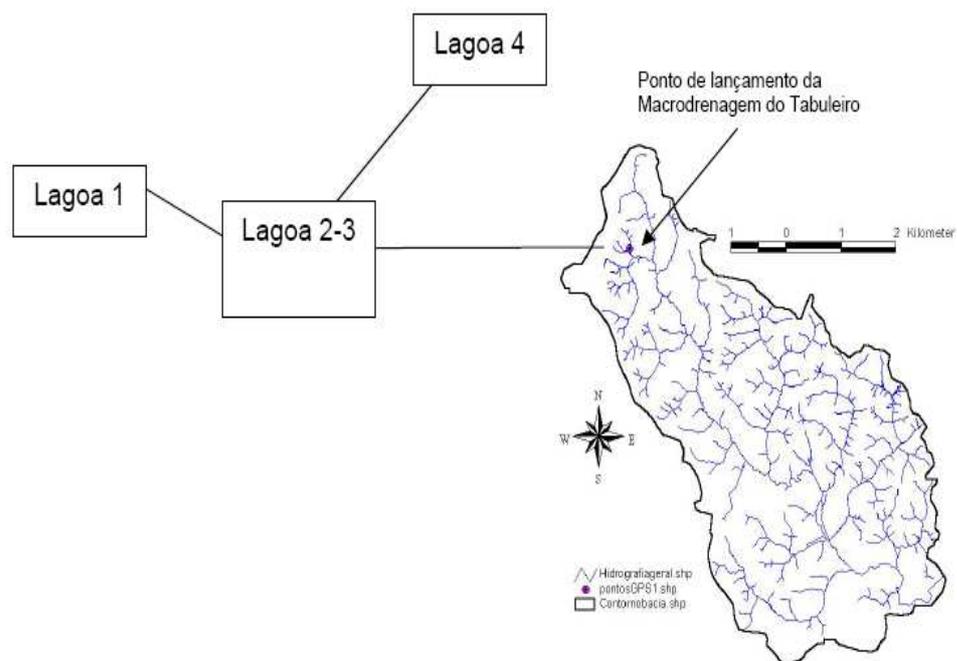
**Figura 4.4** – Localização da bacia do Tabuleiro (Endorreica).



**Fonte:** (Adaptação da base cartográfica da Prefeitura Municipal de Maceió, 1999-2000).

A bacia do Tabuleiro, devido não somente ao seu elevado grau de urbanização, causando acentuada impermeabilização do solo, mas também ao fato de se tratar de uma bacia endorreica, ou seja, não possui exutório, sofre intensas cheias nos períodos chuvosos. A fim de amenizar os transtornos gerados nesses períodos de chuva, o Projeto de Macrodrenagem visa transpor para a bacia do Jacarecica, as águas excedentes da bacia do Tabuleiro concentradas em quatro lagoas de retenção (Figura 4.5) situadas na parte mais baixa da região (PEPLAU, 2004).

**Figura 4.5** – Lagoas de retenção e bacia do rio Jacarecica

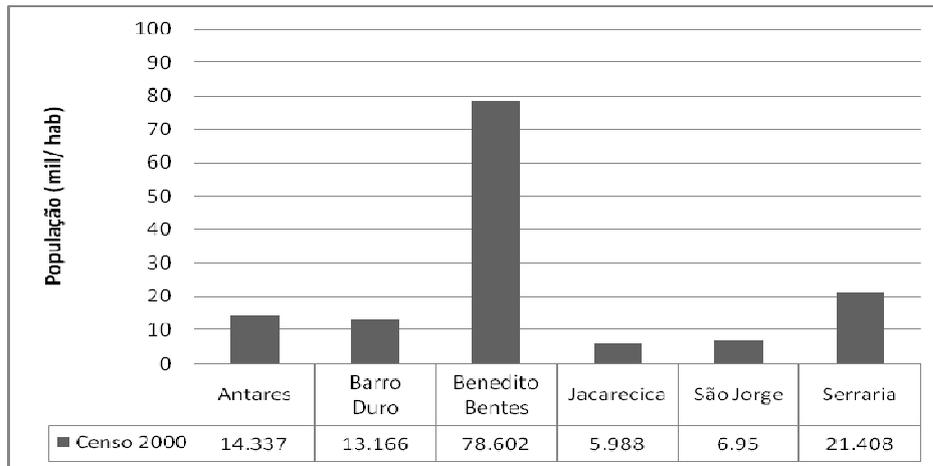


**Fonte:** (Peplau, 2005).

## 4.2 População

Seis bairros possuem território na bacia do rio Jacarecica, nenhum totalmente inserido, são eles: Jacarecica, São Jorge, Serraria, Barro Duro, Antares e Benedito Bentes. A Figura (4.6) mostra a população distribuída nos bairros da bacia do rio Jacarecica.

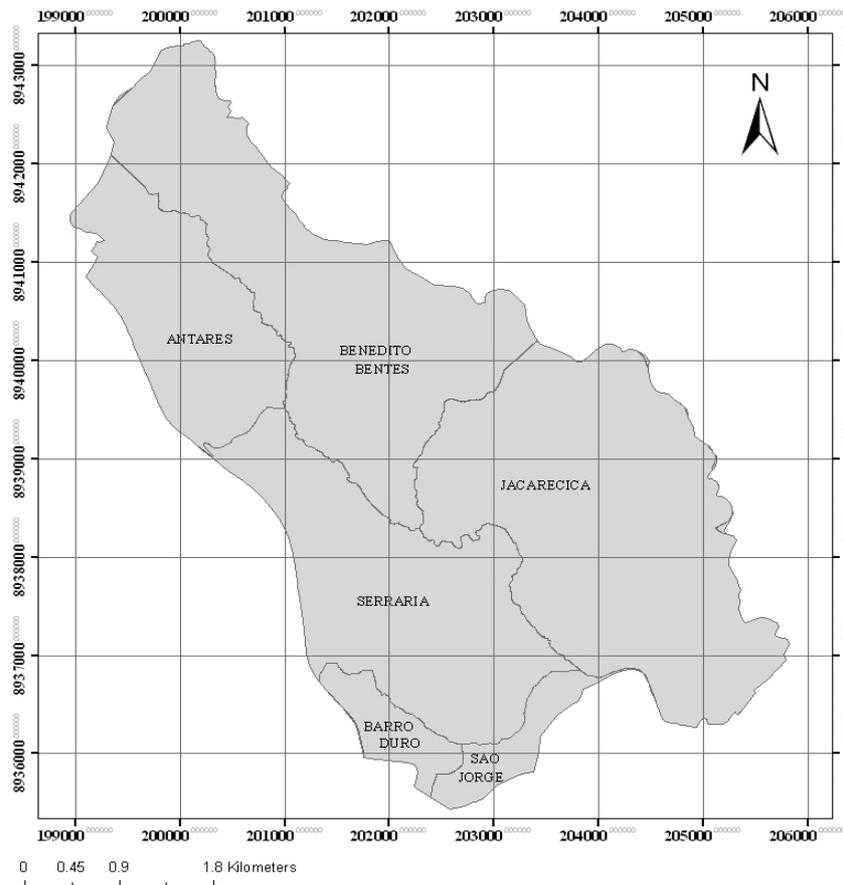
**Figura 4.6** – Distribuição da população ao longo dos bairros inseridos na bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (IBGE, 2000)

A Figura 4.7 mostra a distribuição espacial dos bairros inseridos ao longo da bacia do rio Jacarecica.

**Figura 4.7 –** Distribuição dos bairros ao longo da bacia do rio Jacarecica.

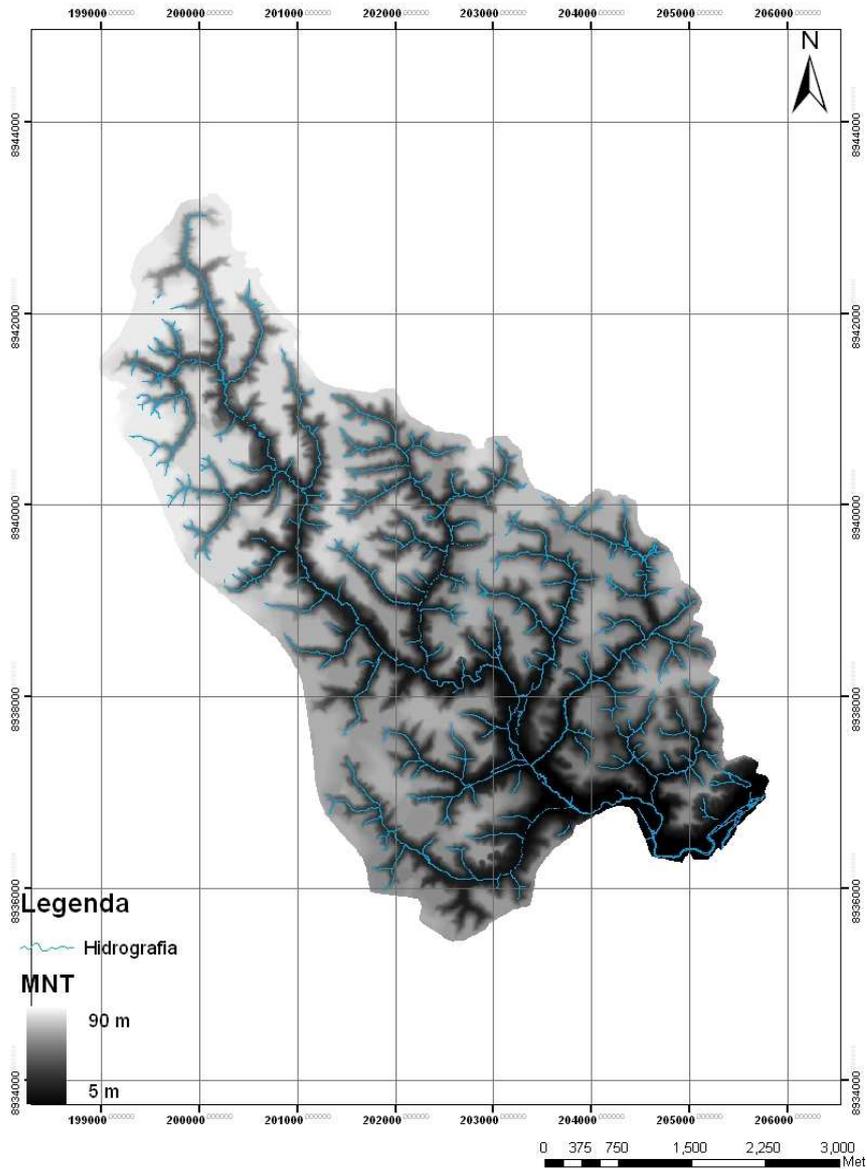


**Fonte:** (Adaptação da base cartográfica da Prefeitura Municipal de Maceió, 1999-2000).

### 4.3 Modelo Numérico de Terreno

A Figura 4.8 mostra que a morfologia da bacia em estudo caracteriza-se pela alta declividade no alto curso do rio, que passa a ser mais suave à medida que o rio avança em direção ao oceano através da planície litorânea. Em geral as encostas são bastante íngremes e definidas rumo aos talwegues, tornando a bacia do rio Jacarecica, uma bacia encravada ou bem encaixada.

**Figura 4.8** – MNT da bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (Do Autor, 2011).

#### 4.4 Climatologia

De clima quente e úmido, a bacia do rio Jacarecica tem temperatura média anual de 25,4°C e variação anual de 3,4°C entre os valores médios mensais das temperaturas médias de 26,3°C em fevereiro e 23,7°C em julho (máximas médias de 30,2°C e mínima média 21,1°C), e valores extremos de temperatura (máxima

absoluta 30,4°C em janeiro e mínima absoluta 11,0°C em junho) e uma alta umidade relativa média (78%). Está sob influência alternada dos ventos alísios de Sudeste, mais freqüente (de velocidade fraca a moderada) e os ventos de retorno do Nordeste nos meses mais quentes (janeiro, fevereiro e março). O valor médio mensal da velocidade de vento é de 2,8 m/s, podendo chegar a valores absolutos mais intensos de 10 m/s na direção Nordeste. A pluviosidade média anual é de 1654 mm, com meses mais chuvosos de abril a julho conhecido como a quadra chuvosa do município (PDRH Pratagy). A Tabela 4.1 mostra as variáveis climáticas na bacia do rio Jacarecica.

**Tabela 4.1** – Variáveis climáticas da bacia do rio Jacarecica.

| Variáveis         | Jan    | Fev    | Mar    | Abr    | Mai    | Jun    | Jul    | Ago    | Set    | Out    | Nov    | Dez    |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Prec. mm</b>   | 74,8   | 111,0  | 191,0  | 312,6  | 340,7  | 298,3  | 325,1  | 179,0  | 148,4  | 72,7   | 51,9   | 62,1   |
| <b>T. Méd. °C</b> | 26,2   | 26,3   | 25,3   | 25,9   | 25,1   | 24,3   | 23,7   | 23,5   | 23,9   | 24,1   | 24,4   | 24,8   |
| <b>T. Máx. °C</b> | 30,2   | 30,4   | 30,2   | 29,6   | 28,5   | 27,6   | 27,0   | 27,1   | 27,8   | 29,0   | 29,9   | 30,0   |
| <b>T. Mín. °C</b> | 22,4   | 22,6   | 22,7   | 22,5   | 22,0   | 21,3   | 20,5   | 20,2   | 20,7   | 21,2   | 21,6   | 22,0   |
| <b>P. hpa</b>     | 1005,4 | 1005,2 | 1004,9 | 1005,0 | 1006,3 | 1008,0 | 1008,9 | 1009,0 | 1008,5 | 1007,1 | 1005,5 | 1004,9 |
| <b>Ur %</b>       | 75,4   | 76,6   | 78,3   | 81,5   | 82,6   | 79,6   | 82,1   | 79,5   | 77,2   | 76,0   | 74,7   | 75,8   |
| <b>Neb</b>        | 5,9    | 6,0    | 6,3    | 6,8    | 6,8    | 6,8    | 6,8    | 6,3    | 6,2    | 5,5    | 5,5    | 5,6    |
| <b>Ins h</b>      | 254,2  | 225,7  | 203,0  | 179,4  | 191,8  | 178,6  | 176,0  | 205,2  | 204,6  | 252,4  | 274,7  | 264,2  |
| <b>Evap. mm</b>   | 121,2  | 112,7  | 99,9   | 82,9   | 72,0   | 77,7   | 79,0   | 97,7   | 105,8  | 117,3  | 122,4  | 128,7  |

Fonte – (PDRH Pratagy, 2002)

## 4.5 Dados do Modelo KINEROS 2

### 4.5.1 Modelo Numérico de Terreno (MNT)

Para a bacia do rio Jacarecica o MNT foi gerado com base na carta topográfica da Prefeitura Municipal de Maceió, com uma escala de 1:2. 000. Os dados foram preparados para o formato DBF, os quais foram inseridos no ArcGIS 9.2 (*Tool-Add XY Data*) onde com auxílio da extensão *3-D Analyst* os pontos foram interpolados

para gerar um grid com células de 10 m de resolução. A interpolação adotada foi o método do inverso da distância.

#### 4.5.2 Uso e Cobertura da Terra

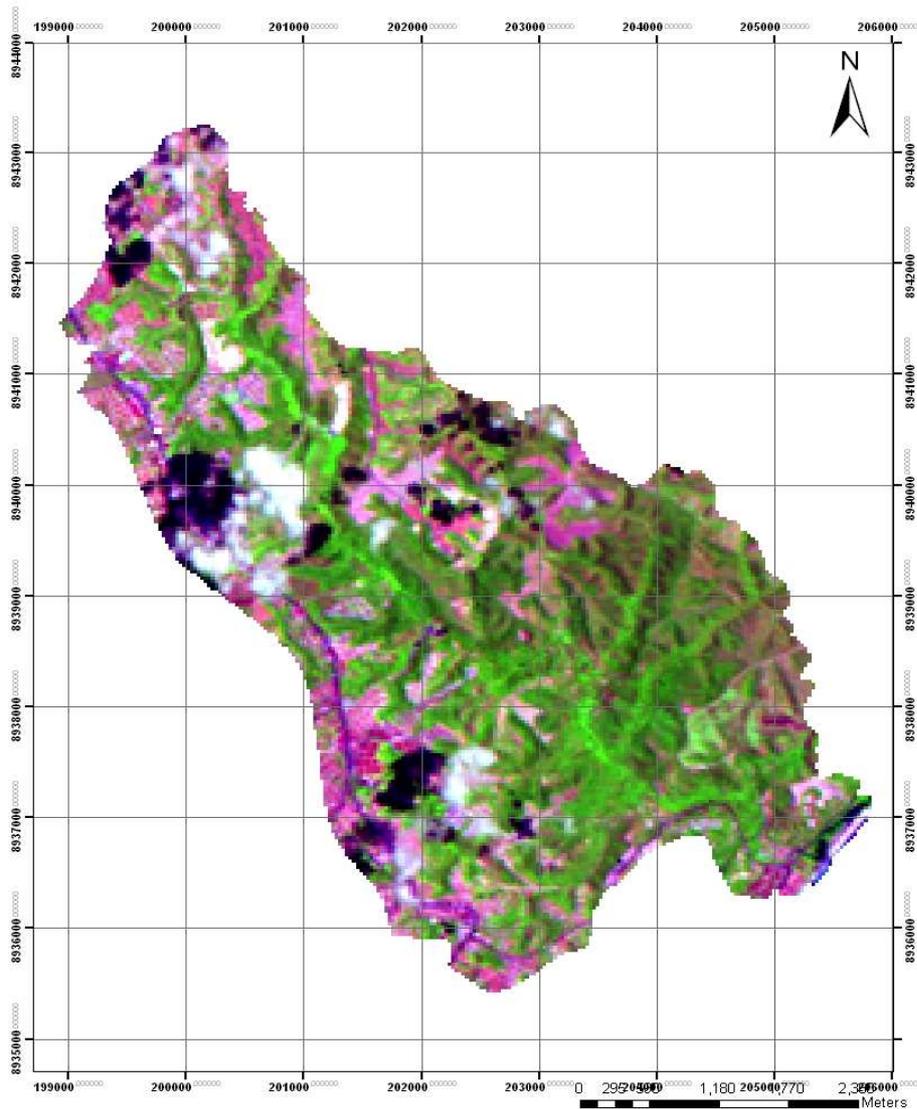
A Figura 4.9 apresenta a imagem do satélite LANDSAT 5 do sensor Thematic Mapper (TM) , em composição RGB (*Red, Green e Blue*) com data de passagem de 08 de janeiro de 2010, as 12:15 h (horário local) na órbita 214 e ponto 67, a qual foi utilizada neste trabalho para classificação da cobertura do solo. A escolha dessa imagem é justificada por ser a única disponível com pouca presença de nuvens, e resolução aceitável de 30 x 30 m, além da dificuldade de encontrar imagens recentes e que represente bem o atual estágio da bacia do rio Jacarecica.

A partir do software de Processamento Digital de Imagens utilizado, (ERDAS 9.1), foi realizada a classificação supervisionada. Foram identificadas três classes de cobertura de solo:

- (I) Vegetação;
- (II) Área Urbana;
- (III) Solo Exposto.

O classificador utilizado foi o da distância de Mahalanobis que é similar ao da distância mínima e usa estatísticas para cada classe, porém, ele supõe que a covariância das amostras são iguais, portanto, é um classificador ainda mais rápido que o método de mínima distância.

**Figura 4.9** – Imagem em composição RGB do satélite TM- LANDSAT 5, sobre a bacia do rio Jacarecica.



**Fonte:** (INPE, 2010)

#### 4.5.3 Tipos de Solos

Para essa etapa da modelagem, optou-se por utilizar os dados de tipos solo já disponíveis pelo AGWA2. Para os componentes do solo, a ferramenta oferece três opções de entrada: STATSGO (*State Soil Geographic*), SSURGO (*Soil Survey Geographic*) e FAO (*Food and Agriculture Organization*). O AGWA possui um vasto banco de dados de atributos relativos a mapas de solo obtidos em levantamentos da USGS e do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Para utilização em regiões fora do território dos EUA, a opção que o AGWA2 fornece

corresponde ao mapa de solo da FAO, dado esse utilizado na bacia do rio Jacarecica.

#### 4.5.4 Precipitação

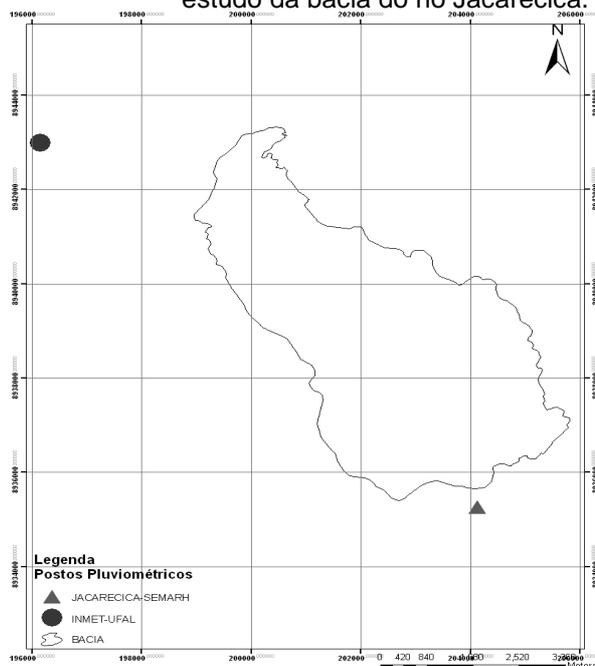
A Tabela 4.2 mostra os postos pluviométricos utilizados neste estudo. Os postos pluviométricos estão sobre uma área próxima da bacia do rio Jacarecica. O período de registro de dados foi de janeiro de 2010 a dezembro de 2010. A distribuição espacial dos postos pluviométricos está apresentada na Figura 4.10, onde podemos verificar que os postos estão inseridos em áreas de influência sobre a bacia do rio Jacarecica.

**Tabela 4.2** – Distribuição dos postos pluviométricos de interesse do estudo.

| POSTO                        | LATITUDE | LONGITUDE |
|------------------------------|----------|-----------|
| Maceió (Jacarecica - SEMARH) | -9.6215  | -35.6957  |
| Maceió (UFAL-INMET)          | -9.5511  | -35.7678  |

Fonte: (Do Autor, 2011).

**Figura 4.10** – Distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados no estudo da bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (Do Autor, 2011).

## 4.6 Monitoramento

### 4.6.1 Trabalho de Campo

Os dados de campo servirão para a calibração do modelo KINEROS 2 sendo assim, o trabalho de campo foi realizado visando aperfeiçoar o entendimento dos fatores e processos envolvidos nos modelos teóricos.

Durante o mês de fevereiro de 2010, foi feita uma visita detalhada na bacia do rio Jacarecica, no município de Maceió em Alagoas, para a escolha dos pontos de medições dos parâmetros de interesse do estudo. Para isso alguns equipamentos como: máquina fotográfica digital e GPS (GARMIN/ modelo: GPS map 60C) foram levados para uma melhor localização dos pontos de medições. Alguns critérios foram levados em consideração para a escolha das seções: fácil acesso, áreas que não inuntem com facilidade, seção do rio bem definida, características do uso e cobertura do solo, topografia, existência de sinais perceptíveis de degradação dos solos e impactos provenientes das mudanças da vegetação original.

A Tabela 4.3 fornece os dados da localização dos postos de medições dos parâmetros de vazão e sedimentos ao longo da bacia do rio Jacarecica.

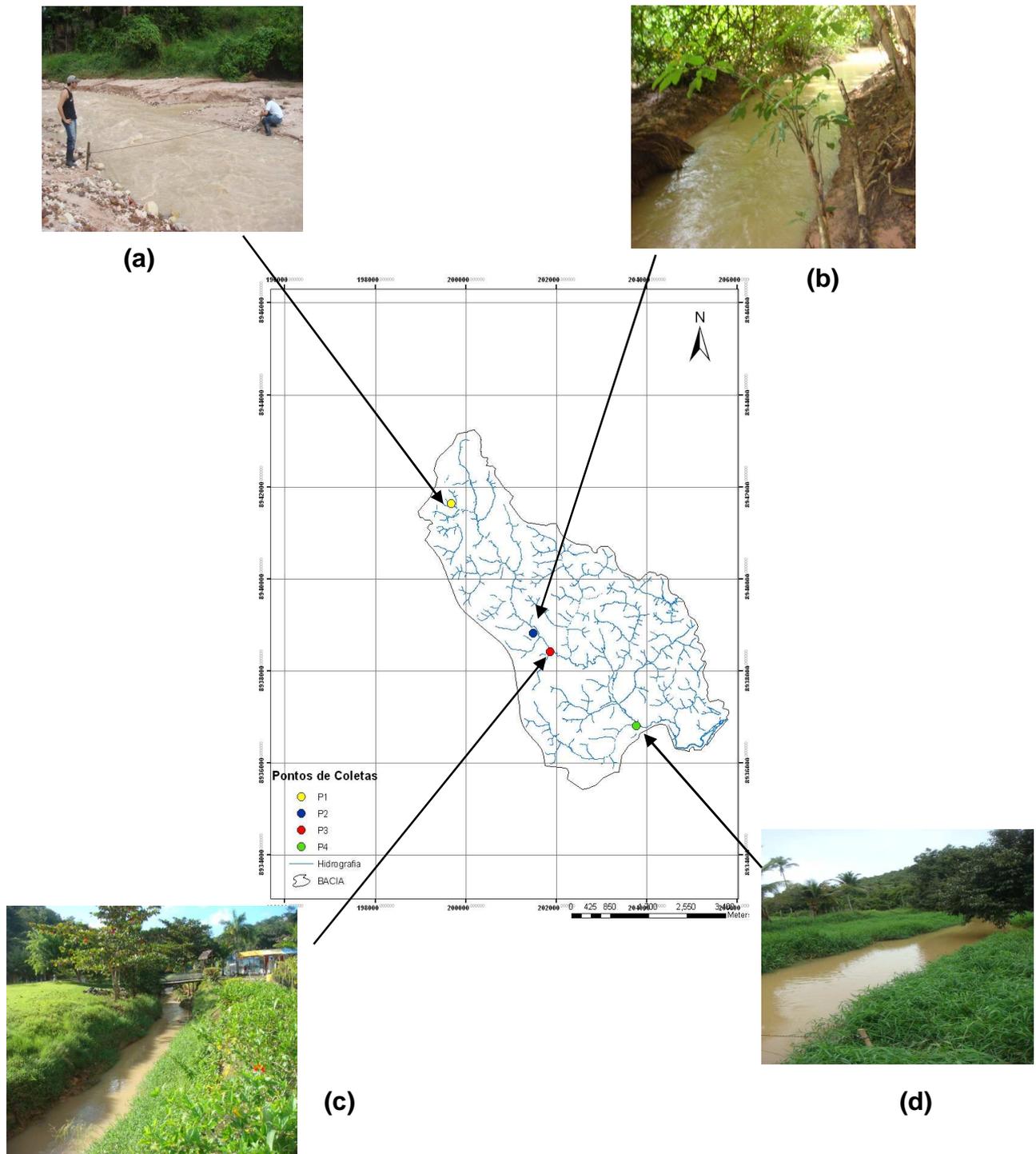
**Tabela 4.3** – Localização dos postos selecionados para o estudo.

| POSTO   | LOCALIZAÇÃO     | LATITUDE | LONGITUDE | ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (km <sup>2</sup> ) |
|---------|-----------------|----------|-----------|---|
| Posto 1 | BENEDITO BENTES | -9.3341  | -35.4408  | 0, 15                                   |
| Posto 2 | VIA EXPRESSA    | -9.3436  | -35.4326  | 6, 65                                   |
| Posto 3 | SERRARIA        | -9.3534  | -35.4258  | 7, 95                                   |
| Posto 4 | JACARECICA      | -9.3624  | -35.4158  | 18, 0                                   |

**Fonte:** (Do Autor, 2011).

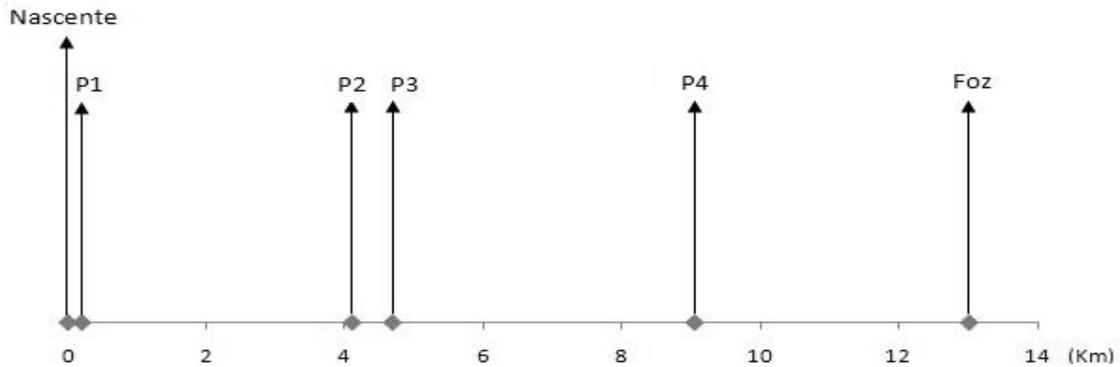
As Figuras 4.11 e 4.12 apresentam, respectivamente, a distribuição espacial dos postos de medições dos parâmetros hidrossedimentológico e o diagrama unifilar ao longo da bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL.

**Figura 4.11** – Distribuição dos pontos de medições ao longo da bacia do rio Jacarecica: (a) Posto 1, (b) Posto 2, (c) Posto 3 e (d) Posto 4.



Fonte: (Do Autor, 2011).

**Figura 4.12** – Diagrama Unifilar relativo aos postos de coletas na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

#### 4.6.2 Medições de Campo

##### 4.6.2.1 Vazão

As medições de vazão foram feitas quinzenalmente utilizando molinete fluviométrico, do Laboratório de Hidráulica do Centro de Tecnologia da UFAL. A Figura 4.13 mostra o molinete utilizado e uma campanha realizada para medição de vazão ao longo da bacia do rio Jacarecica no dia 08 de julho de 2010.

**Figura 4.13** – Medição de vazão na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL: (a) molinete Fluviométrico e (b) campanha de campo no dia 08 de julho de 2010.

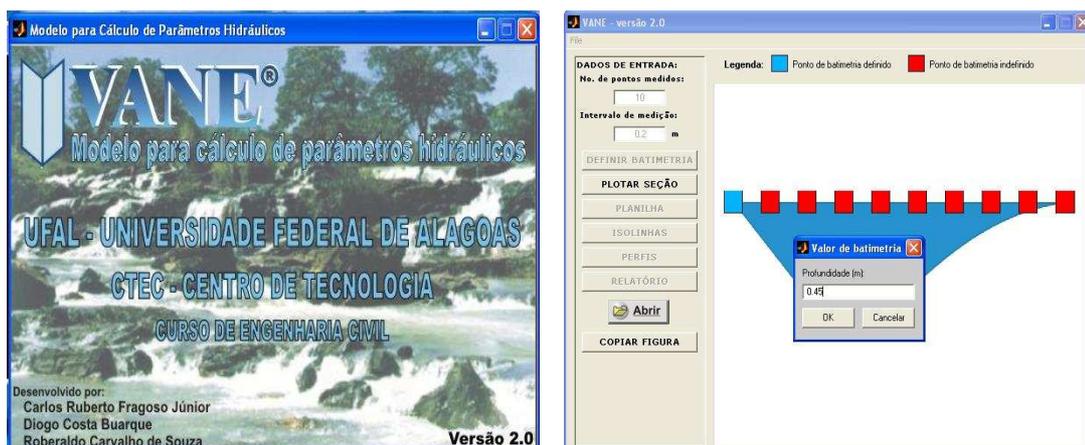


**Fonte:** (Do Autor, 2011).

O método de determinação da vazão utilizando o molinete consistiu em:

- Determinar a batimetria da seção – posicionaram-se os piquetes nas margens da seção escolhida; amarrou-se aos piquetes a corda graduada em 20 cm sendo, portanto, elaborada a batimetria em cada ponto da seção.
- Determinar a velocidade de rotação do molinete (velocidade do escoamento) – em cada vertical da seção, utilizou-se o equipamento molinete fluviométrico que determina o número de rotações de sua hélice em um intervalo de tempo escolhido, que no caso foram 30 segundos. Para cada vertical, mediram-se, quando possível, as rotações do molinete aos 20% e aos 60% da profundidade. Quando o nível da água encontrava-se muito raso, era realizada a medição apenas na própria superfície da água.
- Obtenção da vazão a partir dos dados de rotação – nesta fase, utilizou-se o *software* VANE versão 2.0/2004 (Figura 4.14), desenvolvido por Fragoso Júnior et al. (2003) que fornece, através de processos de integração numérica, os dados de vazão (a partir das coletas de campo) e os perfis de velocidade na seção do canal.

**Figura 4.14** – Interface gráfica do VANE 2.0/2004.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

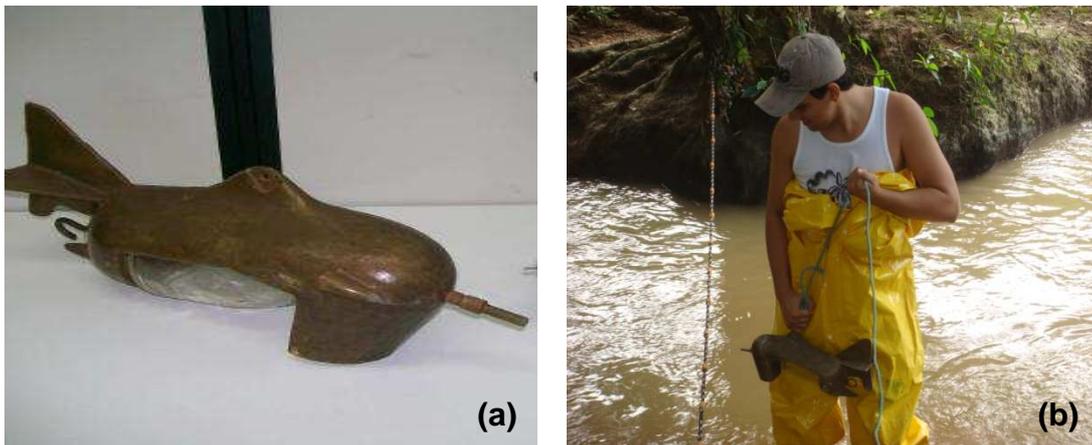
#### 4.6.2.2 Amostragem de Sedimentos em Suspensão

O método de amostragem utilizado nesse trabalho foi integração na vertical pelo Método Igual Incremento de Descarga (IIL) seguindo a metodologia da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2000).

Na amostragem por integração a amostra é coletada em certo tempo, normalmente superior a 10 segundos. A amostragem foi realizada em várias verticais para permitir a obtenção de valores médios em toda a seção, uma vez que a distribuição de sedimentos é variável em toda a largura do rio e em profundidade.

A amostragem por integração na vertical foi feita em dois sentidos, de descida e subida. O equipamento utilizado nesse estudo foi o modelo US DH-48, do Laboratório de Hidráulica do Centro de Tecnologia (CTEC) da UFAL. A Figura 4.15 mostra detalhe do Amostrador US DH-48 e de uma campanha de campo realizada na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL.

**Figura 4.15** – Amostrador US DH-48 (a) e campanha de campo na bacia do rio Jacarecica (b).



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

#### 4.6.2.3 Cálculo da Descarga Sólida em Suspensão

Em medida direta e indireta da descarga em suspensão é obtido o valor da concentração. O cálculo é feito pela multiplicação da descarga líquida pela concentração. Normalmente o valor da  $Q_{ss}$  em t/dia, sendo necessário um fator de transformação de unidades. Quando se tem a concentração média obtida através de amostragens pelos métodos de IIL e IID, tem-se:

$$Q_{ss} = 0,0864.Q.cs \quad (4.1)$$

sendo:  $Q_{ss}$  = descarga sólida em suspensão, em t/dia,  $Q$  = descarga líquida, em  $m^3/s$  e  $cs$  = concentração, em mg/L

#### 4.6.3 Análise de Laboratório

##### 4.6.3.1 Método de Filtração

As amostras das várias verticais de uma mesma seção são homogeneizadas no laboratório ou no campo, de forma a obter-se uma única amostra, denominada composta (CARVALHO, 1994). Numa etapa seguinte, a solução água/sedimento é separada passando-a através de um papel de filtro, pré-pesado ( $P(i)$ ), de malha conhecida. A recomendação internacional é a utilização de filtros com malha de no mínimo 0,45  $\mu m$  em material de fibra de vidro. Após a filtração de um volume conhecido de amostra, os filtros são secados em estufa, a 100 - 110°C por até uma hora, sendo em seguida pesados novamente ( $P(f)$ ). A diferença entre  $P(i)$  e  $P(f)$  é a concentração do Material Sólido em Suspensão (MSS), que para um volume conhecido de amostra é então obtida em mg/L.

As Figuras 4.16 e 4.17 mostram a análise de concentração de sólidos totais pelo método de Integração na Vertical, realizada no dia 14/10/2010 no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

**Figura 4.16** – Etapas da análise laboratorial: cadinhos calcinados no dessecador (a) e pesagem inicial da membrana filtrante na balança de precisão (b).



**(a)**

Fonte: (Do Autor, 2011).



**(b)**

**Figura 4.17** – Etapas da análise laboratorial: (a) chegada das amostras; (b) integração das amostragens das verticais; (c) filtragem dos sólidos; (d) secagem na estufa; (e) membranas filtrantes no dessecador e (f) pesagem final da membrana filtrante na balança de precisão.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fonte: (Do Autor, 2011).

#### 4.6.4 Modelagem Hidrossedimentológica

O modelo utilizado foi o KINEROS2, que é um modelo vazão-erosão, usado para estimar o escoamento superficial e a produção de sedimentos em bacias urbanas e rurais.

##### 4.6.4.1 Componente de Infiltração

O componente de infiltração utilizado no KINEROS2 permite uma redistribuição de água no solo, incluindo a recuperação da capacidade de infiltração durante os intervalos entre as chuvas, determinando as taxas de infiltração durante e após esse intervalo sem chuva. A taxa de infiltração  $f_c$  é uma função da lâmina acumulada de infiltração  $I$  e de alguns outros parâmetros que descrevem as propriedades de infiltração no solo como: condutividade hidráulica saturada efetiva  $K_s$  (m/s), valor efetivo do potencial de capilaridade  $G$  (m), porosidade do solo  $\phi$ , e índice de distribuição dos tamanhos dos poros  $\lambda$ . Há também um parâmetro opcional ( $C_v$ ), que descreve a variação aleatória espacial da condutividade hidráulica saturada do solo, assim como um parâmetro que representa a porcentagem de rochas,  $ROCK$ . O modelo utiliza também uma variável da saturação relativa inicial do solo  $S_i$  ( $m^3/m^3$ ), cujo valor é dado por  $\theta_i/\phi$ , onde  $\theta_i$  é o índice de umidade inicial do solo. O cálculo da taxa de infiltração  $f(c)$  (m/s) é feito pela seguinte equação (SMITH & PARLANGE, 1978):

$$f_c = K_s \left( 1 + \frac{\alpha}{e^{\alpha I / B} - 1} \right) \quad (4.2)$$

onde  $B = (G + h)(\theta_s - \theta_i)$ , combinando os efeitos do potencial efetivo de capilaridade,  $G$ , profundidade do fluxo,  $h$  (m), e da capacidade de armazenamento de água do solo,  $\Delta\theta = (\theta(s) - \theta(i))$ , onde  $\theta_s$  é a umidade de saturação do solo ( $m^3/m^3$ ). O parâmetro  $\alpha$  representa o tipo de solo; quando  $\alpha$  se aproxima de 0 para areia, a Eq.

(4.2) aproxima-se à equação de Green-Ampt; e quando  $\alpha$  se aproxima de 1 para um solo franco bem uniforme a Eq. (4.2) representa a equação de infiltração de Smith-Parlange (Smith & Parlange, 1978). Sugere-se que a maioria dos tipos de solo é melhor representada por um valor de  $\alpha$  igual a 0,85.

O valor efetivo do potencial de capilaridade,  $G$ , é dado pela seguinte expressão:

$$G = \int_{-\infty}^0 \frac{K(\psi)}{K_s} d\psi \quad (4.3)$$

onde  $\Psi$  é o potencial mátrico do solo (m).

O modelo de infiltração também leva em consideração a recuperação da capacidade de infiltração do solo, a qual ocorre em períodos em que não há precipitação, ou em períodos em que a precipitação não produz escoamento, geralmente quando a intensidade de precipitação é inferior à permeabilidade do solo. A equação utilizada no modelo para o cálculo da variação da umidade do solo nestes períodos é:

$$\frac{d\theta_o}{dt} = \frac{\Delta\theta_{io}}{I} \left[ r - K_i - \left( K(\theta_o) + \frac{\beta \cdot p \cdot K_s \cdot \Delta\theta_{io} \cdot G(\theta_i, \theta_o)}{I} \right) \right] \quad (4.4)$$

onde:

$\Delta\theta_{io} = \theta_o - \theta_i$  é diferença de umidade do solo acima e abaixo da frente de molhamento;

$I$  é a lâmina de infiltração acumulada (m);

$r$  é a taxa de entrada de água na superfície do solo durante a redistribuição de água no solo, a qual pode ser menor do que a permeabilidade  $K_s$ , negativa (devido à evaporação) ou zero; O parâmetro  $\beta$  é um fator de forma dado por:

$$\beta = \frac{1}{Z(\theta_o - \theta_i)} \int_0^z (\theta - \theta_i) dz = 0,85 \quad (4.5)$$

$Z$  é a profundidade da frente de molhamento;

$p$  é um fator efetivo de profundidade ( $p = 2$  para  $r = 0$ ;  $p = 1,5$  para  $0 < r < K_s$ ;  $p = 3$  para  $r < 0$ ); e  $G(\theta_i, \theta_o)$  é o valor efetivo do potencial de capilaridade na frente de redistribuição de água (m).

Nos períodos, onde a umidade do solo está abaixo da umidade de saturação, a equação utilizada para calcular a condutividade hidráulica do solo é (BROOKS & COREY, 1964):

$$K(\theta) = K \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{3 + \frac{2}{\lambda}} \quad (4.6)$$

onde:

$\theta$  é a umidade do solo no período de redistribuição de água;

$K_s$  é a permeabilidade efetiva do solo (m/s);

$\theta_r$  é a umidade residual do solo;

$\theta_s$  é a umidade do solo na saturação; e

$\lambda$  é o parâmetro de distribuição do tamanho dos poros (parâmetro de Brooks e Corey).

Maiores detalhes sobre o modelo de redistribuição de água no solo, utilizado no modelo KINEROS2, podem ser obtidos em SMITH et al. (1993) e CORRADINI et al. (1994).

#### 4.6.4.2 Fluxo nos Planos

Visto em uma escala muito pequena, o fluxo nos planos é um processo tridimensional extremamente complexo. Numa escala maior, entretanto, pode ser visto como um processo unidimensional, governado pelas equações de Saint-Venant. As simplificações das equações de Saint-Venant, para o caso de uma onda cinemática, não preservam todas as suas propriedades, tais como as utilizadas em modelos difusos, os quais consideram os efeitos de jusante sobre o escoamento proveniente de montante, e como nos modelos hidrodinâmicos, onde se consideram as equações de Saint-Venant em sua forma geral, ou seja, incluindo os termos que representam a gravidade, o atrito, a pressão e a inércia do fluxo (TUCCI, 1998). O modelo utiliza o conceito da onda cinemática em que a equação da quantidade de movimento das equações de Saint-Venant se simplifica para a forma:

$$Q = ah^m \quad (4.7)$$

em que,  $Q$  é a descarga por unidade de largura ( $m^2/s$ ) e  $h$  é o volume de água armazenado por unidade da área (m). Os parâmetros  $a$  e  $m$  são dados por:  $a = S^{1/2}/n$  e  $m = 5/3$ , onde  $S$  é a declividade e  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning.

A Eq. (4.7) é utilizada juntamente com a equação da continuidade:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q'(x,t) \quad (4.8)$$

onde  $t$  é o tempo (s),  $x$  é a distância ao longo do sentido, e  $q(x,t)$  é o excesso de precipitação (m/s).

Substituindo, a Eq. (4.7) na Eq. (4.8), obtém-se:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + amh^{m-1} + \frac{\partial h}{\partial x} = q'(x,t) \quad (4.9)$$

As equações de onda cinemática são resolvidas no modelo KINEROS usando um esquema implícito de diferenças finitas definido em quatro pontos, em relação ao espaço e ao tempo.

#### 4.6.4.3 Condições de Fronteira

A profundidade de fluxo na fronteira a montante dos elementos deve ser especificada para solucionar a Eq. (4.9). Se essa fronteira fizer parte do divisor de águas da bacia, a condição de fronteira será:

$$h(0,t) = 0 \quad (4.10)$$

Se um plano estiver contribuindo a montante para outro plano, a condição de fronteira será:

$$h(0,t) = \left[ \frac{a_u h_u(L,t)^{m_u} W_u}{aW} \right]^{\frac{1}{m}} \quad (4.11)$$

onde  $h_u(L,t)$  é a profundidade na fronteira inferior do plano contribuinte no tempo  $t$ ,  $L$  é o comprimento e  $W_u$  é a largura do plano contribuinte,  $a_u$  é o parâmetro declividade/rugosidade do plano contribuinte,  $m_u$  é um expoente referente ao plano contribuinte, e  $a$ ,  $m$  e  $W$  são referentes ao plano a jusante.

#### 4.6.4.4 Recessão e Microtopografia

A microtopografia do relevo pode ter grande importância na forma do hidrograma (Woolhiser et al., 1996). O efeito é mais pronunciado durante a recessão, quando a parte do solo coberta pelo fluxo de água determina a oportunidade para a perda de água pela infiltração. O modelo trata este relevo supondo que na sua geometria existe uma elevação máxima, e que a área coberta por água varia linearmente com a diferença entre este valor e o nível de água. A geometria da microtopografia é determinada especificando dois parâmetros que representam o espaçamento médio (parâmetro *spacing*) entre os picos e o valor médio (parâmetro *relief*) desses picos nessa microtopografia.

#### 4.6.4.5 Fluxo nos Canais

A equação da continuidade para um canal com entrada lateral de fluxo é:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x,t) \quad (4.12)$$

onde  $A$  é a área da seção transversal ( $m^2$ ),  $Q$  é a vazão no canal ( $m^3/s$ ), e o  $q(x,t)$  é o fluxo lateral por unidade de comprimento do canal ( $m^2/s$ ). A relação entre a vazão no canal e a área de sua seção após a simplificação da onda cinemática é dada por:

$$Q = aR_h^{m-1} \cdot A \quad (4.13)$$

onde  $R$  é o raio hidráulico (m),  $a = S^{1/2}/n$  e  $m = 5/3$ , onde  $S$  é a declividade e  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning.

As equações de fluxo para os canais são resolvidas por uma técnica implícita definida em quatro pontos similar àquela para o fluxo nos planos, com a diferença

que a incógnita agora é a área  $A$  e não a profundidade do fluxo  $h$ , e que as mudanças geométricas devido à variação da profundidade devem ser consideradas.

#### 4.6.4.6 Modelagem da Erosão nos Planos e Canais

A equação geral que descreve a dinâmica dos sedimentos dentro do fluxo é a equação de balanço de massa, similar àquela para o fluxo de água (BENNETT, 1974):

$$\frac{\partial(AC_s)}{\partial t} + \frac{\partial(QC_s)}{\partial x} - e(x,t) = q_s(x,t) \quad (4.14)$$

onde  $C_s$  é a concentração de sedimento no fluxo ( $m^3/m^3$ ),  $Q$  é a vazão hidráulica ( $m^3/s$ ),  $A$  é área da seção transversal do plano ou canal ( $m^2$ ),  $e$  é a taxa de erosão do solo ( $m^2/s$ ) e  $q_s$  é taxa de entrada lateral de sedimento no fluxo nos canais ( $m^3/s/m$ ).

Nos planos, a erosão é modelada como sendo composta por dois componentes principais: a erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva no solo, e pela erosão (ou deposição) hidráulica, resultado da interação entre a força de cisalhamento do fluxo e a tendência das partículas de solo no fluxo se depositarem sob efeito da força da gravidade. A erosão resultante é o somatório da taxa da erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva  $e_s$  e da erosão hidráulica  $e_h$ :

$$e = e_s + e_h \quad (4.15)$$

A erosão por impacto das gotas de chuva é estimada pela seguinte expressão (MEYER & WISCHMEIER, 1969):

$$e_s = c_f e^{-c_h h} i^2 \quad (4.16)$$

na qual  $i$  é a intensidade da precipitação (m/s), o  $c_f$  é um coeficiente a ser determinado experimentalmente ou por calibração, que está relacionado às propriedades do solo e da superfície, e  $e^{-c_h h}$  é um fator que representa a redução na erosão por impacto das gotas de chuva devido ao aumento da lâmina d'água. O parâmetro  $c_h$  representa a efetividade do amortecimento da superfície da água, fixado no modelo como sendo igual a 656. A erosão hidráulica ( $e_h$ ) é estimada como sendo linearmente dependente da diferença entre a capacidade de transporte do fluxo (concentração de equilíbrio) e a concentração real de sedimento, e é dada pela equação:

$$e_h = c_g (c_m - c_s) A \quad (4.17)$$

onde  $c_m$  é a concentração de equilíbrio na capacidade de transporte,  $c_s = c_s(x,t)$  é a concentração real de sedimentos no fluxo, e  $c_g$  é um coeficiente da taxa de transferência de sedimentos ( $s^{-1}$ ), e é calculado por:

$$C_s = C_0 \frac{v_s}{h} se C_s \leq C_m \text{ (erosão) ou } C_s = \frac{v_s}{h} se C_s > C_m \text{ (deposição) } \quad (4.18)$$

onde  $c_0$  é um coeficiente que reflete à coesão do solo e  $v_s$  é a velocidade de queda da partícula (m/s).

O modelo KINEROS utiliza a fórmula de capacidade de transporte de Engelund e Hansen (1967), com a inclusão de um limite crítico do valor da potência unitária do fluxo  $\Omega = uS$  (*Unit Stream Power*) igual a 0,004 m/s, onde  $u$  é a velocidade do fluxo (m/s) e  $S$  é a declividade, para estender a sua aplicabilidade a fluxos rasos. A

equação para o cálculo da concentração de sedimentos na capacidade de transporte é a seguinte:

$$c_m = \frac{0,05}{d(S_s - 1)^2} \sqrt{\frac{S^* h}{g}} (\Omega - 0,004) \quad (4.19)$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ),  $S_s$  é a densidade relativa do sedimento, igual a 2,65,  $d$  é o diâmetro do sedimento (m),  $h$  é a profundidade do fluxo (m) e as outras variáveis já foram definidas anteriormente.

A velocidade de queda da partícula é calculada pela seguinte equação:

$$v_s^2 = \frac{4}{3} \frac{g(S_s - 1)d}{C_D} \quad (4.20)$$

onde  $C_D$  é o coeficiente de arrasto da partícula, que é uma função do número de Reynolds, e é calculado pela seguinte expressão:

$$C_D = \frac{24}{R_n} + \frac{3}{\sqrt{R_n}} + 0,34 \quad (4.21)$$

onde  $R_n$  é o número de Reynolds, calculado como  $R_n = v_s d / \nu$ , onde  $\nu$  é a viscosidade cinemática da água. A velocidade de queda da partícula é encontrada resolvendo simultaneamente as equações (4.20) e (4.21).

A simulação do transporte de sedimentos para os canais é realizada de maneira semelhante à simulação do transporte de sedimentos nos planos. A principal diferença nas equações é que a erosão por impacto das gotas de chuva é desprezada, e o termo  $q_s$  torna-se importante na representação da entrada de fluxo lateral.

#### 4.6.5 Etapas do modelo KINEROS2 / AGWA2

##### 4.6.5.1 Localização e Delimitação da Bacia

Nesta etapa o usuário deve, com base em um MNT, indicar o ponto de descarga da rede de drenagem, ou seja, o ponto para o qual toda a vazão na área de drenagem da bacia irá convergir. A seguir é realizado o cálculo dos limites da bacia com base em mapas de direção de escoamento e de mapas de fluxo acumulado.

Também nesta fase existe a opção de gerar automaticamente a rede de drenagem da bacia com base no MNT, ou fornecer ao modelo um mapa previamente confeccionado contendo a rede de drenagem.

##### 4.6.5.2 Subdivisão da bacia

Uma vez delimitados os limites da bacia, a área é dividida em sub-regiões. Esta divisão é realizada com base na porcentagem de área de contribuição de drenagem das sub-regiões (CSA), que é definida pelo usuário, para esse estudo adotamos o valor de 2.5%.

Cada sub-região é então tratada pelo modelo como uma área homogênea, ou seja, com características únicas de declividade, solo, vegetação etc.

Nesta etapa foi associado um ponto (lançamento das Águas da Macrodrenagem), uma tabela de vazão (Posto 1) para assim inserir a contribuição da Macrodrenagem.

#### 4.6.5.3 Parametrização dos tipos de solos e dos usos e coberturas da terra

Cada sub-região recebe atributos únicos relativos aos tipos de solos e uso e cobertura da terra. O valor de cada atributo é obtido pela média ponderada dos valores encontrados dentro da sub-região.

Na parametrização do solo é levada em consideração a cobertura do solo, no qual para execução do modelo no AGWA2 é requerido um mapa no formato *grid* associado com uma tabela, a qual contém os parâmetros relacionados com o tipo de cobertura da bacia.

Os valores associados com a cobertura do solo necessários como dados de entrada do modelo hidrológico foram estabelecidos com base na literatura, observando-se a aplicação a regiões com características semelhantes à bacia do rio Jacarecica, resultando na Tabela 4.4. Os valores de CN utilizados neste trabalho foram baseados em TUCCI (1993).

**Tabela 4.4** – Informações relacionadas com a cobertura do solo.

| IDENTIFICA | CLASS | NAME         | A  | B  | C  | D  | COVER | INT  | N     | IMPERV |
|------------|-------|--------------|----|----|----|----|-------|------|-------|--------|
| 001        | 1     | Vegetação    | 45 | 66 | 77 | 83 | 30    | 1.15 | 0.150 | 0.0    |
| 002        | 2     | Área Urbana  | 61 | 75 | 83 | 87 | 15    | 0.10 | 0.015 | 0.4    |
| 003        | 3     | Solo Exposto | 72 | 82 | 87 | 89 | 2     | 0.00 | 0.010 | 0.0    |

**Onde:** IDENTIFICA: Código de Identificação; CLASS: Classes da camada; NAME: Nome da classe; A, B, C e D: Valor da Curva Número (CN) associado com cada classe; COVER: Porcentagem de cobertura; INT: Porcentagem de Interceptação; N: Coeficiente de Manning e IMPERV: Porcentagem de impermeabilização.

**Fonte:** (Do Autor, 2011).

#### 4.6.5.4 Entrada dos dados de precipitação

O modelo KINEROS2 utiliza dados diários de precipitação. Para esse estudo será utilizado dados da estação pluviométrica do INMET-UFAL e da SEMARH.

Nessa etapa o modelo oferece a opção de escolher o índice de saturação da bacia, para esse estudo por se tratar de uma análise mensal, consideramos o fator igual a 0,14 para todo o período.

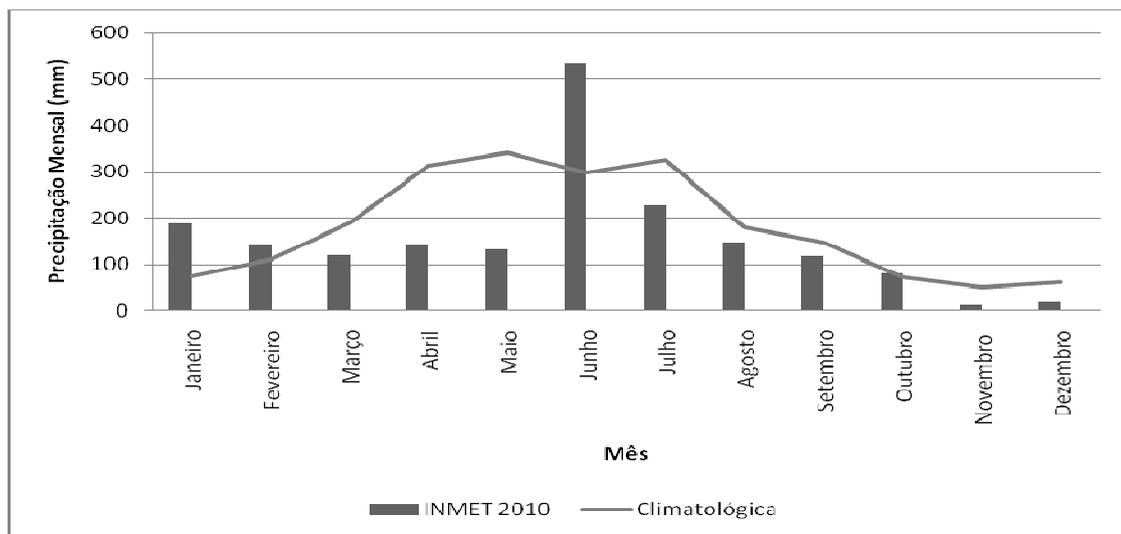
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Análise Pluviométrica

Os dados de precipitação utilizados no presente trabalho foram registrados sobre a bacia do rio Jacarecica. A Figura 5.1 apresenta a precipitação diária registrada pelo posto pluviométrico do INMET-UFAL, localizado na parte alta da bacia.

Podemos observar que ao longo do ano aconteceram chuvas acima da média climatológica (jan=74.8 mm, fev=111 mm e jun=298 mm), principalmente nos meses de janeiro a fevereiro e junho, com totais precipitados de até 500 mm/mês.

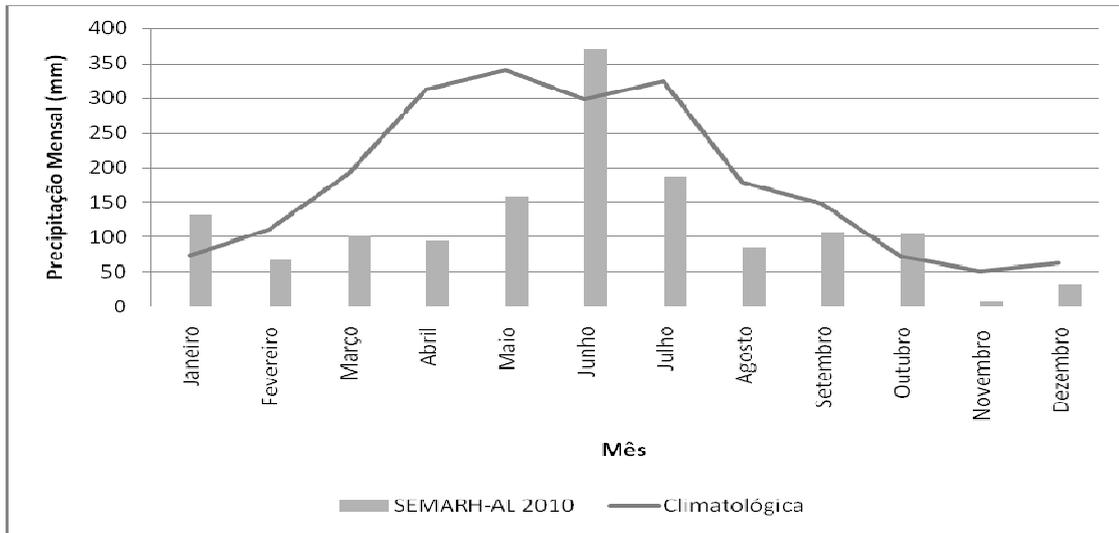
**Figura 5.1** – Precipitação média mensal registrada pelo pluviômetro do INMET-UFAL instalados na parte alta da bacia do rio Jacarecica para o ano de 2010.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

A precipitação diária ao longo do ano do posto da SEMARH-AL (Figura 5.2) tem o padrão da variabilidade anual. A precipitação anual foi de 1451.4 mm, sendo de março a maio, e agosto a setembro os meses mais secos na região. E os meses de maior precipitação foram janeiro, fevereiro, e de junho com precipitação acima da média climatológica.

**Figura 5.2** – Precipitação média mensal registrada pelo pluviômetro da SEMARH-AL instalados na parte baixa da bacia do rio Jacarecica para o ano de 2010.

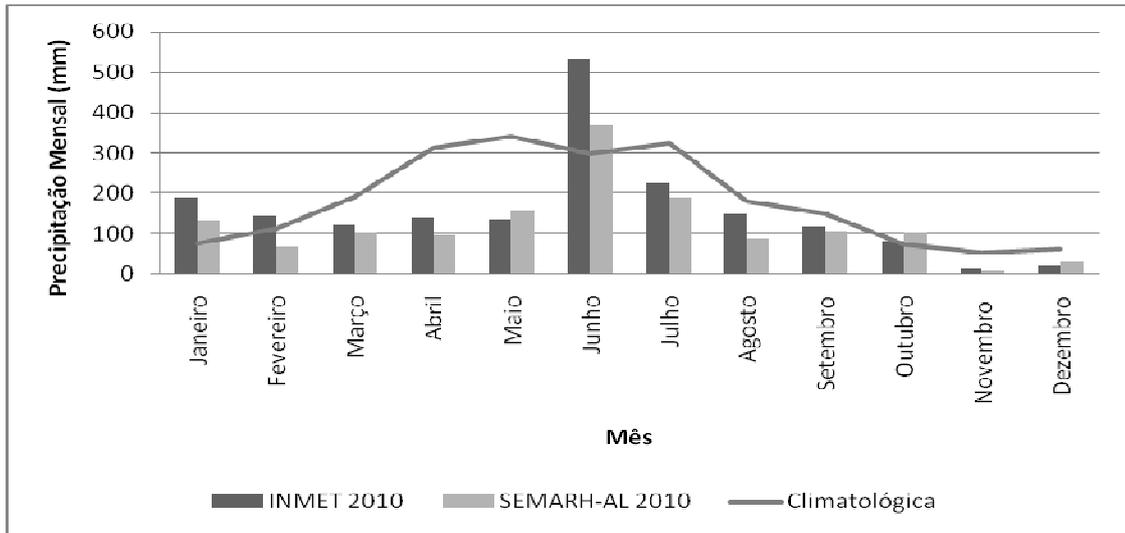


**Fonte:** (Do Autor, 2011).

Podemos observar claramente que comparando as precipitações na parte alta e baixa da bacia, conforme Figura 5.3, o índice pluviométrico ficou mais evidente no posto localizado na parte alta da bacia, ou seja, o posto do INMET-UFAL com precipitações mensais acima de 500 mm no mês de junho de 2010. Essa variação se dá principalmente pela topografia da cidade de Maceió, onde as ocorrências de chuvas orográficas são mais freqüentes na região onde está localizada a estação da INMET-UFAL.

Na Figura 5.3 podemos observar que houve precipitação acima da média climatológica durante os meses de janeiro, fevereiro e junho de 2010, e que a quadra chuvosa referente aos meses de abril a junho da região não foi bem representada, com índice pluviométrico abaixo da média climatológica durante os meses de abril, maio e julho.

**Figura 5.3** – Comparativo da precipitação média mensal com a climatológica para o ano de 2010.



Fonte: (Do Autor, 2011).

## 5.2 Monitoramento Fluviométrico

A Tabela 5.1 apresenta os valores da vazão instantânea medidos nas campanhas de campo na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL.

**Tabela 5.1** – Valores de vazão ( $m^3/s$ ) para o período do estudo no Rio Jacarecica.

| DATAS/POSTOS | P1       | P2      | P3                   | P4                   |
|--------------|----------|---------|----------------------|----------------------|
| 17/06/10     | 0, 6822  | -       | -                    | -                    |
| 30/06/10     | 0, 3095  | 0, 5578 | 0, 6425              | -                    |
| 06/07/10     | 0, 0987* | 0, 6889 | 0, 4370 <sup>#</sup> | -                    |
| 28/07/10     | -        | 0, 4581 | 0, 6168              | 0, 5380 <sup>^</sup> |
| 18/08/10     | 0, 2555  | 0, 4449 | 0, 6927              | 0, 6836 <sup>^</sup> |
| 02/09/10     | 0, 4735  | 0, 7349 | 0, 8666              | 0, 6784 <sup>^</sup> |
| 14/09/10     | 0, 4078  | 0, 5113 | 0, 6047              | 0, 9091 <sup>^</sup> |
| 21/09/10     | -        | 0, 6128 | 0, 5085              | 0, 4621 <sup>^</sup> |
| 14/10/10     | -        | -       | -                    | 0, 3588 <sup>^</sup> |
| 26/10/10     | 0, 1683  | 0, 3966 | 0, 4714              | 0, 4163 <sup>^</sup> |
| 10/11/10     | 0, 1497  | 0, 3298 | 0, 3334              | 0, 4137 <sup>^</sup> |
| 23/11/10     | -        | 0, 4987 | 0, 5543              | 0, 4987 <sup>^</sup> |
| 03/12/10     | 0, 0450  | 0, 3827 | 0, 2127              | 0, 3865 <sup>^</sup> |
| 16/12/10     | 0, 1311  | 0, 2894 | 0, 2446              | 0, 4103 <sup>^</sup> |

|              |                |                |                |                |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b> | <b>0, 2721</b> | <b>0, 4921</b> | <b>0, 5119</b> | <b>0, 5232</b> |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

Fonte: (Do Autor, 2011).

**Onde:** (-) não houve medição de vazão; (\*) Valor alto devido à intensa precipitação; (#) curso do rio obstruído; (^) Provável influência da maré.

A não realização das medições de vazões nos dias 17/06/2010 se deu pela impossibilidade de medir devido alta vazão, já nos dias 30/06 e 06/07 foi pela impossibilidade de entrar na propriedade que dar acesso ao posto 4, localizado na parte baixa da bacia, onde aguardávamos a autorização do proprietário. No dia 21/09/2010 a presença de pedras no posto 1 e a pequena profundidade impediu a medição da vazão, mesmo motivo para a não medição nos dias 14/10 e 23/11 para o posto 1. E por fim no dia 14/10 tivemos um problema com o molinete logo após a primeira medição, impedindo as medições nos demais pontos de controle.

A vazão média desse corpo hídrico apresentou um valor 0,4498 m<sup>3</sup>/s para o período analisado, variando de valores mínimos de 0,2627 m<sup>3</sup>/s em dezembro de 2010 a valores máximos de 0,6883 m<sup>3</sup>/s em setembro de 2010. Vale ressaltar que a vazão medida em campo é a vazão instantânea referente à uma hora do dia. A análise sazonal das vazões foram bem evidenciadas ao longo do período do estudo, onde pode-se observar que os meses com precipitações elevados teve-se vazões com valores maiores e as vazões mais baixas se deram em período com um precipitação baixa.

Alguns valores de vazão instantânea no posto 4, localizado na parte baixa da bacia, resultaram em valores inferiores ao do posto 3, localizado a montante do posto 4, nestas campanhas podem ter ocorrido influência da maré na medição de vazão no posto 4 conforme Tabela 5.2.

**Tabela 5.2** – Valores da tábua da maré, de Maceió-AL.

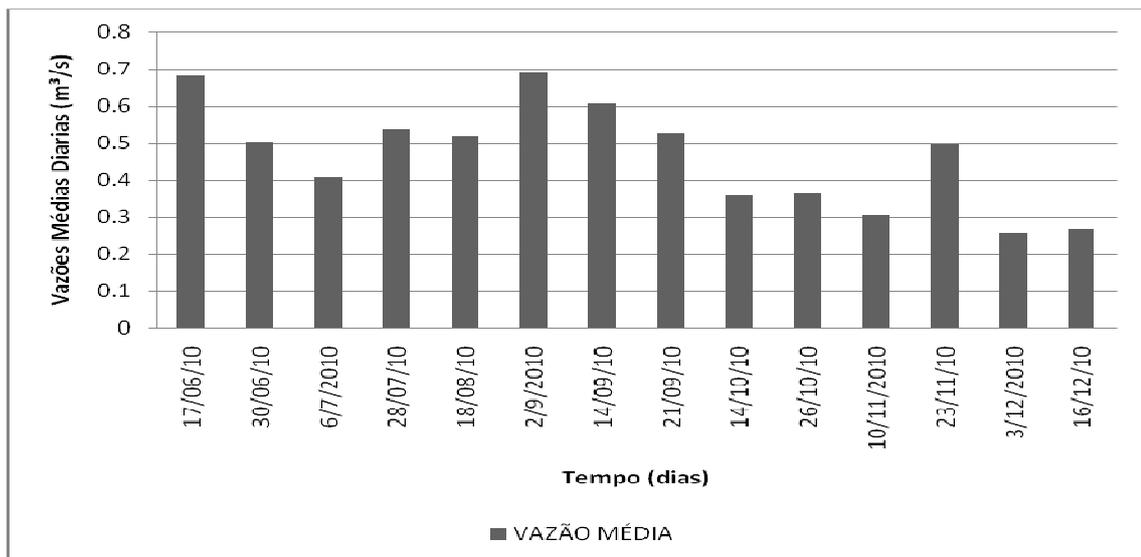
| <b>DATAS/POSTOS</b> | <b>Nível Médio</b> | <b>Nível do Posto 4</b> |
|---------------------|--------------------|-------------------------|
| <b>17/06/10</b>     | 1, 16              | 2, 10                   |
| <b>30/06/10</b>     | 1, 16              | 2, 10                   |
| <b>06/07/10</b>     | 1, 16              | 1, 70                   |
| <b>28/07/10</b>     | 1, 16              | 2, 10                   |
| <b>18/08/10</b>     | 1, 16              | 1, 50                   |
| <b>02/09/10</b>     | 1, 16              | 1, 50                   |

|                 |              |              |
|-----------------|--------------|--------------|
| <b>14/09/10</b> | 1, 16        | 1, 60        |
| <b>21/09/10</b> | 1, 16        | 2, 00        |
| <b>14/10/10</b> | 1, 16        | 1, 40        |
| <b>26/10/10</b> | 1, 16        | 1, 90        |
| <b>10/11/10</b> | 1, 16        | 1, 07        |
| <b>23/11/10</b> | 1, 16        | 1, 90        |
| <b>03/12/10</b> | 1, 16        | 1, 90        |
| <b>14/12/10</b> | 1, 16        | 1, 40        |
| <b>Média</b>    | <b>1, 16</b> | <b>1, 72</b> |

Fonte: (Marinha do Brasil, 2010).

A Figura 5.4, descreve o comportamento das vazões para período do estudado.

**Figura 5.4** – Distribuição das vazões médias diárias na bacia do rio Jacarecica, no período de junho de 2010 a dezembro de 2010.



Fonte: (Do Autor, 2011).

### 5.3 Monitoramento Sedimentológico

#### 5.3.1 Concentração de Sedimentos em Suspensão

Com o objetivo de quantificar a concentração de sedimento em suspensão nos postos (P1, P2, P3 e P4), na bacia do rio Jacarecica amostras de água+sedimentos foram coletadas quinzenalmente durante o período de junho a dezembro de 2010 durante o mesmo período da coleta de vazão.

Na Tabela 5.3, são apresentados os valores das concentrações de sedimentos em suspensão, encontrada nas amostragens realizadas.

**Tabela 5.3** – Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L) para o período do estudo no Rio Jacarecica.

| <b>DATAS/POSTOS</b> | <b>P1</b>      | <b>P2</b>      | <b>P3</b>      | <b>P4</b>      |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>17/06/10</b>     | 0, 1947        | 0, 5100        | 0, 2113        | 0, 1923        |
| <b>30/06/10</b>     | 0, 0700        | 0, 2889        | 0, 1153        | 0, 0833        |
| <b>06/07/10</b>     | 0, 1020        | 0, 1566        | 0, 1833        | 0, 0856        |
| <b>28/07/10</b>     | 0, 1167        | 0, 1285        | 0, 1200        | 0, 0733        |
| <b>18/08/10</b>     | 0, 1322        | 0, 1647        | 0, 1347        | 0, 1080        |
| <b>02/09/10</b>     | 0, 1247        | 0, 2647        | 0, 2586        | 0, 0989        |
| <b>14/09/10</b>     | 0, 0233        | 0, 0673        | 0, 0720        | 0, 0207        |
| <b>21/09/10</b>     | 0, 0040        | 0, 0313        | 0, 1027        | 0, 0300        |
| <b>14/10/10</b>     | 0, 0227        | 0, 0300        | 0, 0433        | 0, 0327        |
| <b>26/10/10</b>     | 0, 1747        | 0, 0640        | 0, 0547        | 0, 0700        |
| <b>10/11/10</b>     | 0, 0033        | 0, 0387        | 0, 0313        | 0, 0253        |
| <b>23/11/10</b>     | 0, 0067        | 0, 0180        | 0, 0153        | 0, 0313        |
| <b>03/12/10</b>     | 0, 0047        | 0, 0040        | 0, 0247        | 0, 0187        |
| <b>14/12/10</b>     | 0, 0029        | 0, 0104        | 0, 0211        | 0, 0122        |
| <b>Média</b>        | <b>0, 0630</b> | <b>0, 1269</b> | <b>0, 0992</b> | <b>0, 0630</b> |

Fonte: (Do Autor, 2011).

Os maiores valores de concentração de sedimentos em suspensão foram observados na parte média da bacia nos postos P2 e P3, com valores médios de 0, 1269 mg/L e 0, 0992 mg/L, respectivamente.

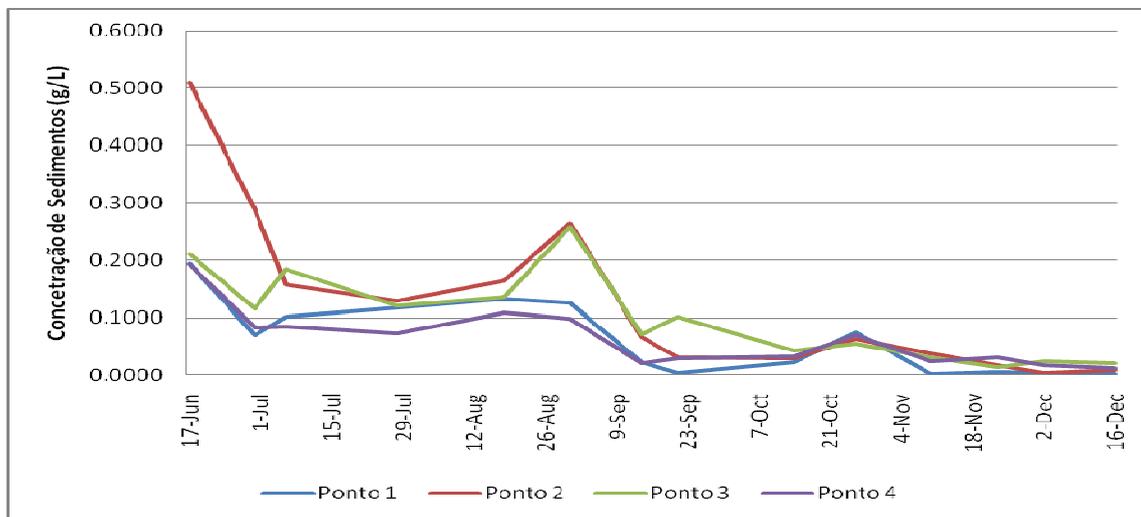
Em alguns planos temos exemplos desses impactos ambientais, ocorrido na parte média da bacia, localizados a montante dos postos P2 e P3, com extração de argila, saibro e urbanização sem planejamento.

A região com retirada de argila tem uma área de aproximadamente 1,87 Km<sup>2</sup>, contribuído diretamente na produção de sedimento no rio Jacarecica. Enquanto a região com retirada de saibro tem uma área de aproximadamente 1,70 Km<sup>2</sup> também contribuindo diretamente para o aumento da concentração de sedimento na parte

média da bacia. Sendo observados valores mais elevados de concentração de sedimentos em suspensão no período chuvoso, ou seja, nos meses de junho e julho.

A Figura 5.5, apresenta a distribuição da concentração de sólidos totais em suspensão na bacia do rio Jacarecica, no período de junho de 2010 a dezembro de 2010.

**Figura 5.5** – Distribuição da concentração de sólidos totais em suspensão na bacia do rio Jacarecica, no período de junho de 2010 a dezembro de 2010.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

Pode-se observar que houve uma variação sazonal bem significativa da concentração de sólidos totais em suspensão ao longo da campanha de campo. Os maiores valores foram observados na época chuvosa, entre junho e julho a partir de setembro houve uma diminuição nos valores de concentração de sedimentos, devido principalmente a diminuição das precipitações.

A diferença de concentrações obtidas nas análises observou que estas tinham uma relação direta com o uso do solo, áreas que sofrem impactos ambientais (extração de minério, ocupação desordenada, áreas agrícolas), produziam mais concentração de sedimentos em suspensão ao longo do rio.

Belinasso (2002), no período de 18 de julho de 2001 a 30 de setembro de 2001, na estação fluviométrica Sítio do Tio Pedro em Santa Maria-RS, utilizando o amostrador US-DH-48, encontrou valores variando de 163 mg/L até 3510 mg/L, entretanto esses valores foram medidos em eventos de precipitação.

Segundo Nearing (2007), diferenças entre valores de produção de sedimento para bacias hidrográficas são atribuíveis à instrumentação, morfologia de bacia, grau de incisão do canal (declividade dos cursos de água) e cobertura vegetal.

### 5.3.2 Descarga Sólida em Suspensão

Na Tabela 5.4, são apresentados os valores da descarga sólida em suspensão observados calculados pela razão entre a concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) *versus* a vazão (m<sup>3</sup>/s).

**Tabela 5.4** – Descarga sólida em suspensão (t/dia) para o período do estudo no rio Jacarecica.

| DATAS/PONTOS | P1            | P2            | P3            | P4            |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 17/06/10     | 0,0114        | -             | -             | -             |
| 30/06/10     | 0,0018        | 0,0139        | 0,0064        | -             |
| 06/07/10     | 0,0008        | 0,0093        | 0,0069        | -             |
| 28/07/10     | -             | 0,0050        | 0,0063        | 0,0034        |
| 18/08/10     | 0,0029        | 0,0063        | 0,0080        | 0,0063        |
| 02/09/10     | 0,0051        | 0,0168        | 0,0193        | 0,0057        |
| 14/09/10     | 0,0008        | 0,0029        | 0,0037        | 0,0016        |
| 21/09/10     | -             | 0,0016        | 0,0045        | 0,0011        |
| 14/10/10     | -             | -             | -             | 0,0010        |
| 26/10/10     | 0,0025        | 0,0021        | 0,0022        | 0,0025        |
| 10/11/10     | 0,0004        | 0,0011        | 0,0009        | 0,0009        |
| 23/11/10     | -             | 0,0007        | 0,0007        | 0,0013        |
| 03/12/10     | 0,0001        | 0,0001        | 0,0004        | 0,0006        |
| 14/12/10     | 0,0000        | 0,0002        | 0,0004        | 0,0004        |
| <b>Média</b> | <b>0,0018</b> | <b>0,0042</b> | <b>0,0042</b> | <b>0,0017</b> |

Fonte: (Do Autor, 2011).

Os maiores valores de descarga sólida em suspensão foram observados na parte média da bacia nos postos P2 e P3, com valores médios de 0,0042 t/dia. O

posto 4 apresentou valor médio inferior comparado ao demais postos, entretanto esta variação se dá pelo número inferior de dados coletados ao longo da campanha de campo na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL.

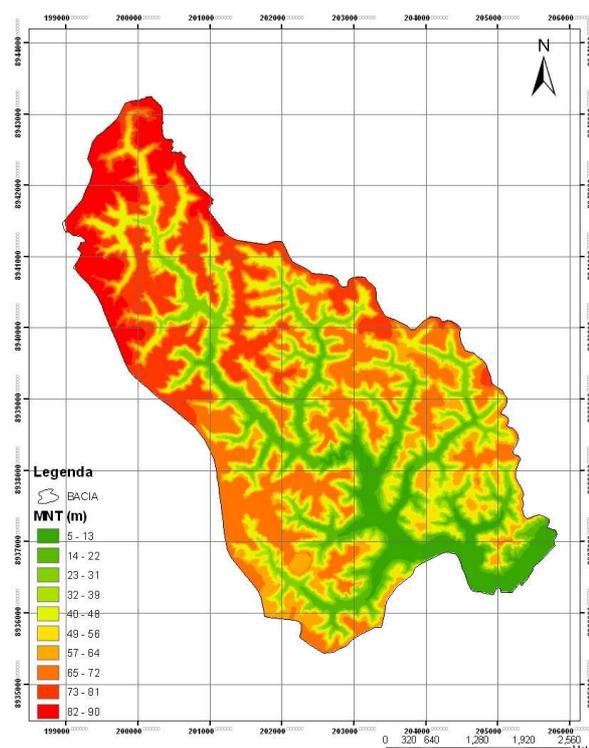
Pode-se observar que os maiores valores de descarga se deram nos meses com precipitações elevadas, principalmente o mês de junho de 2010 com uma descarga sólida de 0,0114 no dia 17/06/2010 onde para este dia teve-se um total precipitado diário na ordem de 54,8 mm na estação do INMET-UFAL.

## 5.4 Pré-Processamento das Informações a Modelagem Hidrossedimentológica

### 5.4.1 Modelo Numérico de Terreno (MNT)

Para caracterização física da bacia no AGWA2, o principal dado de entrada corresponde ao MNT referente à bacia em estudo. A Figura 5.6 mostra o Modelo Numérico de Terreno (MNT) da bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL, onde pode-se observar a variação de altitudes de até 90 m na parte alta da bacia e de 5 m na parte baixa da bacia.

**Figura 5.6 – Modelo Numérico do Terreno (MNT) da bacia do rio Jacarecica.**



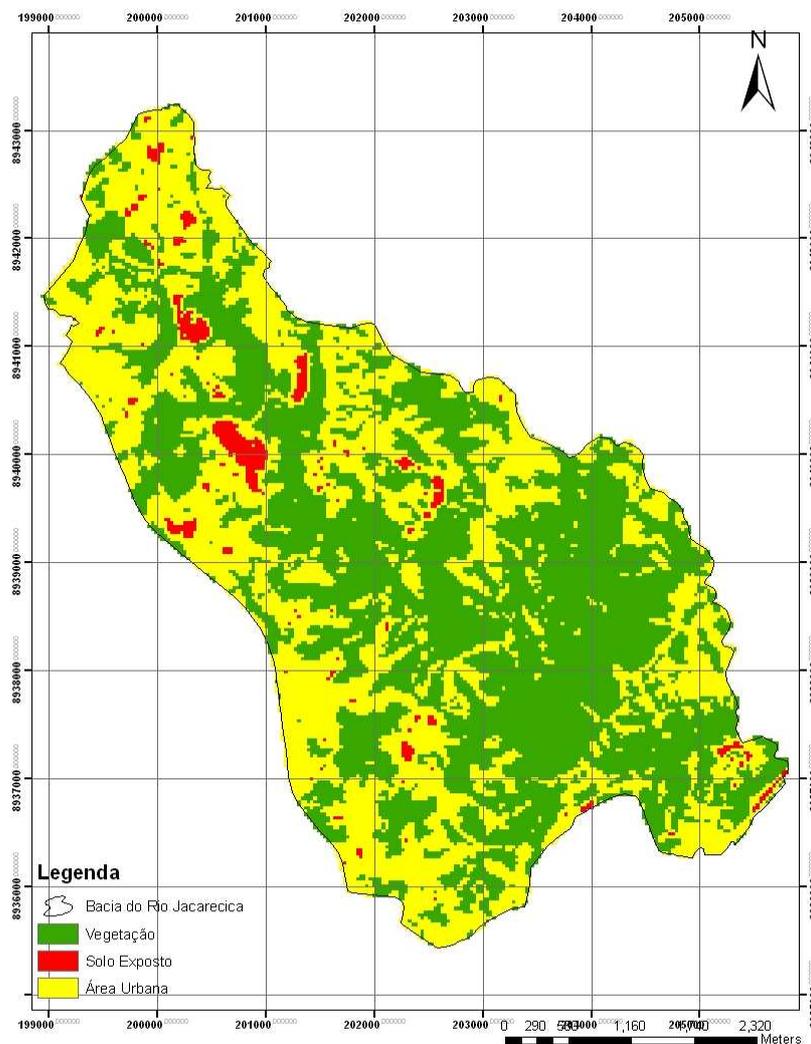
Fonte: (Do Autor, 2011).

#### 5.4.2 Uso e Cobertura da Terra

Segundo Peplau (2005), o antropismo está presente em praticamente toda a área da bacia do rio Jacarecica, considerada como sendo do tipo periurbana, que quer dizer na periferia da cidade.

A Figura 5.7 apresenta o mapa de uso e cobertura do solo da bacia do rio Jacarecica, em Maceió-AL, após a classificação utilizando geoprocessamento, podemos observar uma grande área de ocupação urbana (45,78%, Tabela 5.5), (condomínios, residências, etc), e uma grande área de solos expostos, o que contribui diretamente para o aumento tanto do escoamento superficial quanto da produção de sedimentos ao longo da bacia.

**Figura 5.7 – Mapa de Uso e Cobertura da terra da bacia do rio Jacarecica.**



Fonte: (Do Autor, 2011).

Áreas com ocupação urbana foram bem representadas na classificação da imagem. Estas áreas estão localizadas principalmente na parte alta e média da bacia, contribuindo para o aumento do escoamento superficial da bacia.

A parte alta e média da bacia apresenta maiores percentuais de área de solo exposto com um percentual de 0,56% do total da bacia. A vegetação ainda é predominante na bacia, entretanto verificou-se um percentual maior na parte baixa da bacia (51.93%). Nesta região é expressiva a presença de coqueiros e região de manguezal nas proximidades da sua desembocadura.

Entretanto, vale ressaltar que a resolução da imagem do satélite LANDSAT 5, de 30 x 30m, utilizado neste trabalho, dificultou o detalhamento das áreas de interesse sobre a bacia. As quantificações percentuais de cada uma das categorias consideradas estão apresentadas na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5** – Uso e Cobertura da terra na bacia do rio Jacarecica.

| <b>Usos</b>  | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
|--------------|------------------------------|------------------------|
| Vegetação    | 12,75                        | 51,93                  |
| Solo Exposto | 0,56                         | 2,28                   |
| Área Urbana  | 11,24                        | 45,78                  |
| <b>Total</b> | <b>24.5</b>                  | <b>100</b>             |

Fonte: (Do Autor, 2011).

#### 5.4.3 Identificação e Delimitação da Bacia

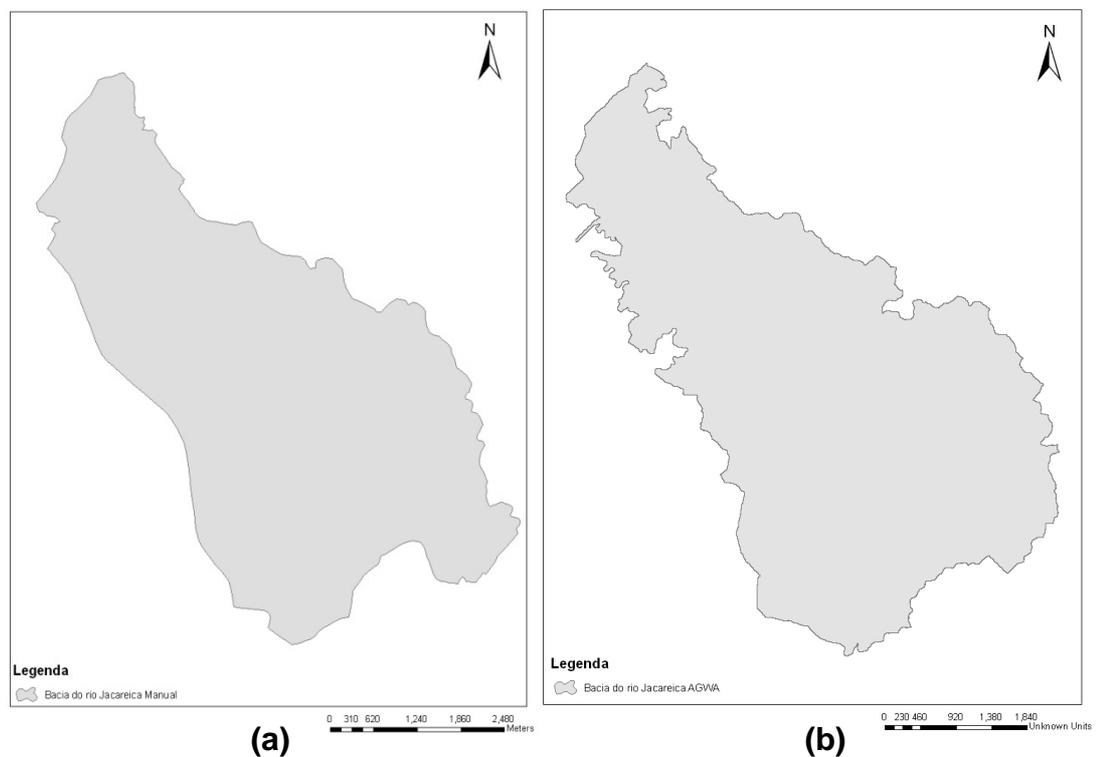
Com base no MNT, foi indicado o ponto de descarga da rede de drenagem, ou seja, o exutório. De forma automática os limites da bacia foram estabelecidos com base em mapas de direção de escoamento (Figura 5.9 a), mapa de fluxo acumulado (Figura 5.9 b).

A direção do escoamento superficial das águas na bacia foi calculada através do método determinístico de oito células vizinhas, que considera apenas uma das oito possíveis direções de escoamento para cada uma das células, sendo que o

escoamento tenderá a fluir para a maior declividade encontrada na superfície do terreno.

Para a bacia do rio Jacarecica o resultado da delimitação automática foi satisfatório, como mostra a Figura 5.8, que apresenta o comparativo entre a delimitação manual e a delimitação automática, utilizando o AGWA2. Sendo assim será aplicada para todas as etapas da modelagem a delimitação automática feita pelo AGWA2.

**Figura 5.8** – Delimitação manual (a) e automática (b) para a bacia do rio Jacarecica.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

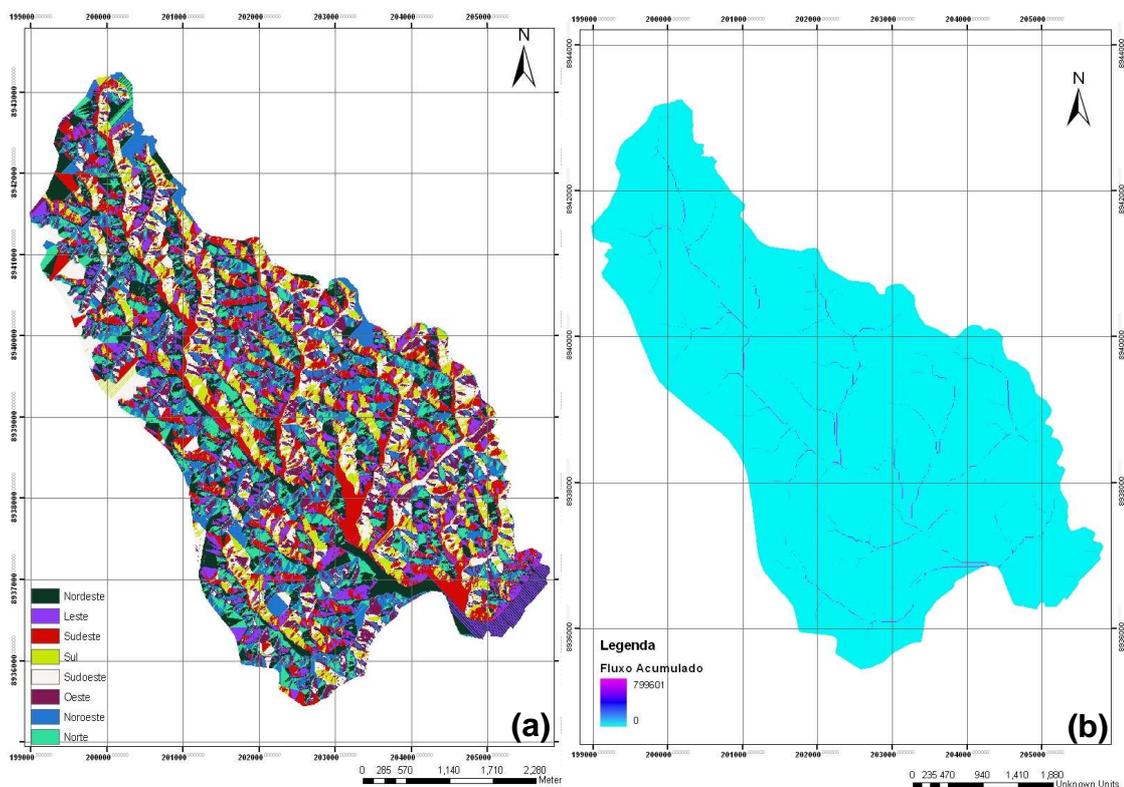
A Tabela 5.6 mostra as diferenças entre as áreas pelo método da delimitação manual e da automática na bacia do rio Jacarecica, assim como o perímetro, coeficiente de capacidade e o fator de forma da bacia. A delimitação manual apresentou uma área de aproximadamente 25,2 km<sup>2</sup> já à delimitação automática pelo AGWA2 uma área de aproximadamente 23,8 km<sup>2</sup>.

**Tabela 5.6** – Comparativo das áreas, perímetros, coef. de capacidade e fator de forma, pelo método manual e automático.

| Delimitação       | Área (Km <sup>2</sup> ) | Perímetro (Km) | Coef. de Capacidade (K <sub>c</sub> ) | Fator de Forma (K <sub>f</sub> ) |
|-------------------|-------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| <i>Manual</i>     | 25,22                   | 26,74          | 1,49                                  | 0,15                             |
| <i>Automática</i> | 23,80                   | 25,12          | 1,32                                  | 0,14                             |

Fonte: (Do Autor, 2011).

**Figura 5.9** – Direção do escoamento (a) e fluxo acumulado (b) da bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (Do Autor, 2011).

A resolução do MNT utilizado na bacia do Jacarecica possibilitou uma delimitação mais precisa da bacia, diferente do encontrado por Melo (2010), que, utilizando o AGWA2 obteve a delimitação da Bacia Experimental do São João do Cariri, na Paraíba, entretanto ele encontrou disparidade na forma da bacia devido à precisão dos dados do MNT.

#### 5.4.4 Subdivisão da Bacia

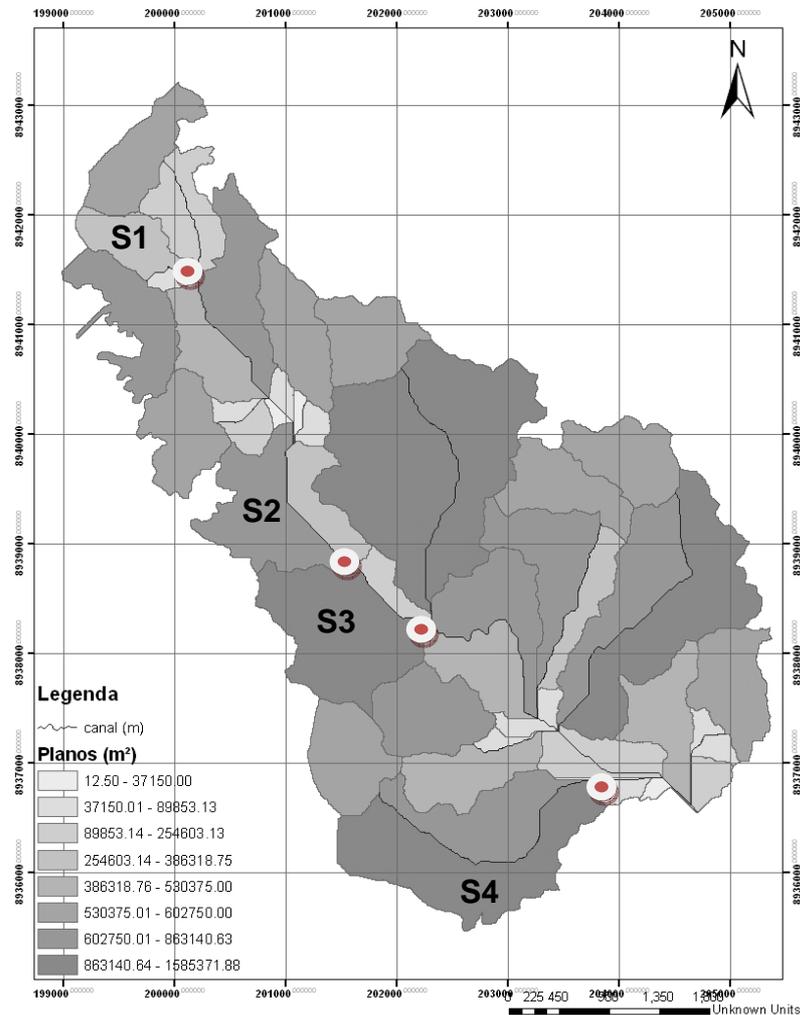
Na divisão da área de drenagem da bacia em sub-regiões foram testados diferentes valores de *Contributing Source Area* (CSA) (coeficiente utilizado para discretização no AGWA) que representa o nível da complexidade geométrica na discretização da bacia. Desta forma, procurou-se escolher o valor mais apropriado para representar a complexidade da rede de drenagem da área de estudo. Valores maiores de CSA proporcionaram uma pequena quantidade de elementos e não foram suficientes para que houvesse a intercessão com os dados do solo.

Conforme Santos (2008), a discretização também influencia nos resultados da simulação. Nesse caso, para essa aplicação utilizar um valor elevado no CSA irá gerar um número menor de elementos e poderá esconder pequenas características da região.

Nesta etapa, o AGWA2 oferece a opção de inserir pontos de controle, onde o modelo irá subdividir a bacia em função da localização desses pontos, criando novos planos. Para este estudo inserimos os pontos de controle (S1, S2, S3 e S4) como opção para essa subdivisão.

O resultado da discretização automática da bacia do rio Jacarecica, utilizando-se valores de CSA de 2,5% resultaram na divisão da bacia em 85 elementos sendo, 52 planos e 21 canais (Figura 5.10) com destaque para os planos de controle.

**Figura 5.10** – Discretização da área de drenagem da bacia utilizando-se o valor De CSA de 2,5%.



Fonte: (Do Autor, 2011).

Cada plano compreende uma área de escoamento e foi definido levando-se em consideração a homogeneidade das características do solo, a declividade média, e as linhas de fluxo, segundo a identificação de áreas homogêneas a partir da superposição de mapas físicos da bacia, como o de topografia, vegetação e linhas de fluxo.

A Tabela 5.7 apresenta as áreas dos planos de controle (S) e suas respectivas altitudes.

**Tabela 5.7**– Informações dos Planos de Controle.

| Planos | Área (m <sup>2</sup> ) | Altitude (m) |
|--------|------------------------|--------------|
| S1     | 3906                   | 43           |
| S2     | 6867                   | 40           |
| S3     | 6622                   | 40           |
| S4     | 8895                   | 11           |

**Fonte:** (Do Autor, 2011).

#### 5.4.5 Parametrização dos Tipos de Solos e dos Usos e Coberturas da Terra

Souza (2010) realizou um levantamento dos tipos de solos na bacia do rio Jacarecica, constatando que a variação dos tipos de solos é pequena. Esse resultado corrobora com o que foi obtido na região através do mapa da FAO, o tipo de solo correspondente à bacia em estudo é o Luvisolo Crômico e, devido à escala global do mapa da FAO, foi considerado apenas um tipo de solo para toda a área da bacia.

Segundo Maeda (2008), a parametrização das sub-regiões com relação aos tipos de solos é um dos maiores desafios encontrados na implementação do AGWA2. Este modelo não foi desenvolvida para receber os dados disponíveis nesta região. Maeda (2008) aponta que a escala de 1:5.000.000 dos mapas pedológicos da FAO diferem significativamente de levantamentos mais refinados que comumente são encontrados em bacias hidrográficas.

Vale ressaltar que o AGWA2 tem opções de parametrização dos solos para bacias nos EUA, entretanto para a bacia do rio Jacarecica parâmetros como comprimento e profundidade dos canais foram obtidos através do MNT da bacia, utilizando-se as ferramentas de geoprocessamento.

Os parâmetros associados com a cobertura do solo necessários foram estabelecidos com base na literatura e foi sujeito a mudança na fase de calibração junto com o índice de saturação do solo.

#### 5.4.6 Entrada dos Dados de Precipitação

Os dados de precipitação das estações do INMET-UFAL e SEMARH foram escolhidos para caracterizar o regime de precipitação da área de estudo.

#### 5.4.7 Execução do Modelo e Visualização dos Resultados

A seguir serão apresentados os resultados do modelo KINEROS 2, para a produção de sedimentos mensais para o ano de 2010, em escala espaço-temporal na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL.

### 5.5 Calibração do Escoamento

Alguns dos parâmetros do modelo exercem maior influência sobre os processos de escoamento e erosão, como os valores da condutividade hidráulica ( $K_s$ ), da capilaridade ( $G$ ) e porosidade ( $\Phi$ ).

No presente trabalho, os valores dos parâmetros foram estabelecidos por meio do AGWA através das tabelas da FAO relacionadas com o tipo de solo a determinação dos valores de parâmetros ficou a cargo do modelo AGWA, resultando nos dados listados na Tabela 5.8.

**Tabela 5.8** – Valores dos parâmetros usados no estudo.

| Parâmetros                        | Símbolo | Planos | Canais |
|-----------------------------------|---------|--------|--------|
| <i>Capilaridade média do solo</i> | G       | 272,73 | 101    |
| <i>Condutividade hidráulica</i>   | $K_s$   | 4,76   | 210    |
| <i>Porosidade</i>                 | $\Phi$  | 0,44   | 0,44   |

**Fonte:** (Do Autor, 2011).

Os parâmetros considerados principais do modelo como o  $G$ ,  $K_s$  e  $\Phi$  após a utilização do AGWA se mostraram semelhantes para os planos. Os modelos em geral são concebidos e calibrados em regiões com clima, vegetação, entre outras características semelhantes, porém no processo de calibração é necessário levar em consideração as características físicas da bacia como um todo. As diferenças mais expressivas ocorreram da estimativa da coesão e do potencial de capilaridade, que vão influenciar na determinação do escoamento superficial e da erosão.

Conforme mostrado por Santos (2008) a discretização também influencia nos resultados da simulação. Nesse caso, para essa aplicação utilizar um valor elevado no CSA irá gerar um número menor de elementos e poderá esconder pequenas características da região como pequenos riachos e conseqüentemente afetar os resultados.

Neste estudo os valores de  $G$ ,  $K_s$ , e  $\Phi$  foram modificados, tendo em vista que os parâmetros de coeficiente de Manning ( $n$ ) e a saturação inicial ( $S_i$ ) só influenciariam em análises de eventos, modificando as vazões de pico, e não o total escoado na escala mensal. A calibração foi ajustada até que o volume escoado calculado se aproximasse ao volume escoado observado utilizando método da tentativa e erro. Silva & Santos (2008) calibraram o modelo KINEROS 2, acoplado a um SIG na bacia do rio Pirapama, localizada na zona litorânea do Estado de Pernambuco, utilizando dados de estações pluviométricas. O modelo foi calibrado para que os resultados de vazão obtidos se aproximassem das vazões observadas de quatro postos fluviométricos (Ponte PE-35, Destilaria Inexport, Pirapama e Destilaria Bom Jesus).

A Tabela 5.9 e a Figura 5.11 são apresentados os escoamentos acumulado mensais observados e calculados no período chuvosos na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL, referente aos meses de junho e julho. Vale ressaltar que a quantidade de dados não foram suficientes para validar a calibração. Entretanto o ajuste nos mostra a tendência de que o modelo respondeu razoavelmente ao escoamento em períodos de chuva, onde ocorre a maior taxa de produção.

A escolha dos períodos chuvosos na análise e comparação dos resultados das simulações se deu pelo fato de que o modelo só responder ao escoamento em

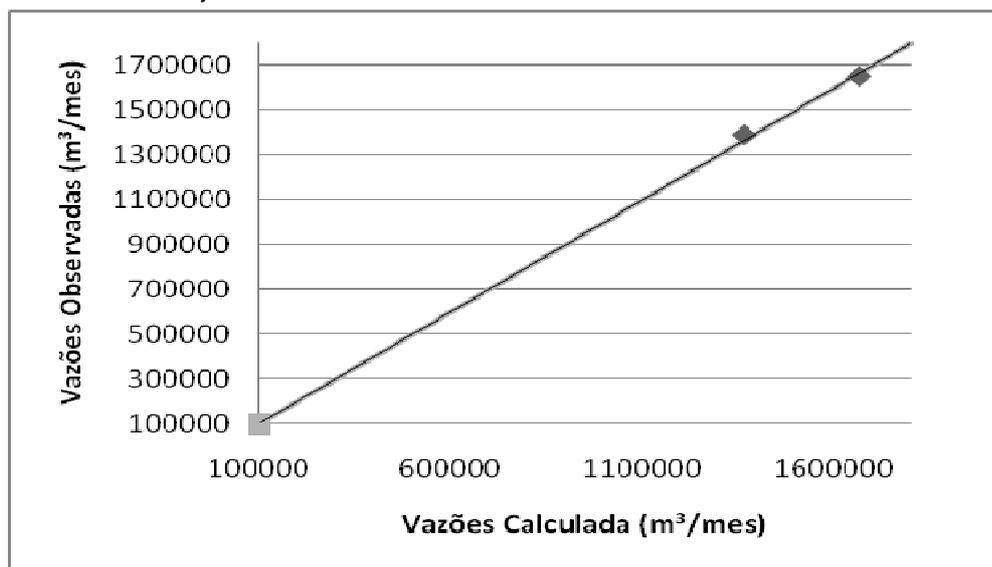
períodos de chuva. Nos períodos secos, só há contribuição do escoamento de base pelo aquífero, tendo em vista que não foi adicionado ao modelo o escoamento de base.

**Tabela 5.9** – Comparativo dos valores das vazões acumuladas observadas e calculadas nos canais dos meses de junho e julho de 2010 (Posto 3).

| Dados/Data                            | Junho     | Julho     |
|---------------------------------------|-----------|-----------|
| Vazão Observada (m <sup>3</sup> /mês) | 1665360.0 | 1365724.8 |
| Vazão Calculada (m <sup>3</sup> /mês) | 1648514.0 | 1389795.9 |

Fonte: (Do Autor, 2011).

**Figura 5.11** – Comparativo das vazões observadas e calculadas nos meses de junho e julho de 2010.



Fonte: (Do Autor, 2011).

## 5.6 Modelagem da Produção de Sedimentos

Após a calibração do modelo foram estimados a produção de sedimentos da bacia do rio Jacarecica para o ano de 2010, (Tabela 5.10). Observa-se que a maior produção de sedimentos gerada na bacia está associada aos meses com precipitação acima da média climatológica da região, (meses de janeiro, fevereiro e, principalmente, em junho). Nos meses em que a precipitação média mensal foi baixa

(outubro, novembro e dezembro), a produção média mensal de sedimentos também foi bem inferior à dos demais meses.

**Tabela 5.10** - Produção total de sedimentos calculada no exutório da bacia do rio Jacarecica, em Maceió-AL para o ano de 2010.

| <b>MÊS</b>   | <b>PRECIPITAÇÃO<br/>(mm/mês)</b> | <b>SEDIMENTOS<br/>(t.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>)</b> |
|--------------|----------------------------------|--|
| JANEIRO      | 189,3                            | 6,57   |
| FEVEREIRO    | 144,2                            | 1,34   |
| MARÇO        | 119,8                            | 0,05   |
| ABRIL        | 140,6                            | 0,9  |
| MAIO         | 133,8                            | 0,5  |
| JUNHO        | 532,8                            | 120  |
| JULHO        | 226,2                            | 0,01   |
| AGOSTO       | 148,8                            | 1,5  |
| SETEMBRO     | 118                              | 0,02   |
| OUTUBRO      | 105                              | 0  |
| NOVEMBRO     | 12,6                             | 0  |
| DEZEMBRO     | 20,1                             | 0  |
| <b>Total</b> | <b>1891,2</b>                    | <b>130</b>   |

**Fonte:** (Do Autor, 2011).

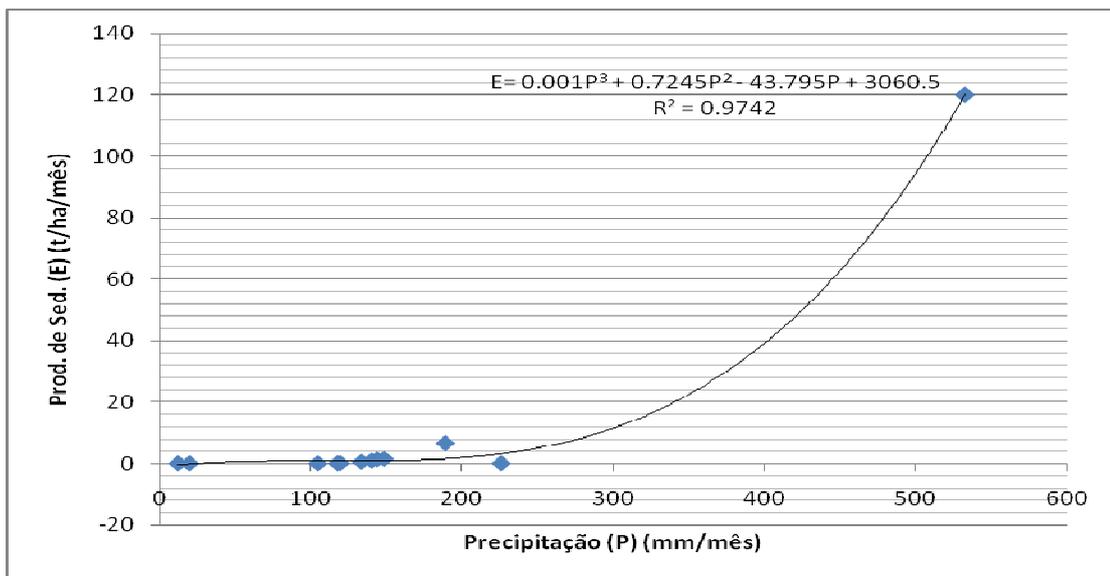
A relação entre a precipitação média mensal e a produção de sedimentos mensal calculada está apresentada na Figura 5.12. O coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,97$ ) foi satisfatório, quando comparado com outros trabalhos da literatura.

Por exemplo, Kalin et al (2003) em duas bacias experimentais em Cincinnati, num total de 40 eventos, obteve para o coeficiente de determinação de Nash-Sutcliffe valores variando 0,38 a 0,54, considerados por eles como satisfatórios.

Percebe-se que a produção de sedimentos no exutório da bacia variou entre aproximadamente 0.0 e 120 t ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> para uma variação de chuva da ordem de 13 a 533 mm mês<sup>-1</sup>, e o mês de junho apresentou disparidade em relação aos demais meses, com valor mensal médio de sedimentos elevado, devido principalmente a alta precipitação ocorrida no referido mês.

A Figura 5.12 apresenta a correlação entre a precipitação média mensal e a produção de sedimentos calculados pelo modelo KINEROS2 no exutório da bacia do rio Jacarecica em Maceió-Al para o ano de 2010.

**Figura 5.12** – Relação entre a precipitação média mensal e a produção de sedimentos mensal calculada.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

### 5.6.1 Análise da Descarga Sólida Observada e Calculada

Os resultados apresentados na Tabela 5.11 mostram o comparativo da descarga sólida observada e calculada nos postos de controle (S1, S2, S3, e S4). Neste estudo comparou-se a descarga média mensal observada, dada em t/dia e foi transformada para t/mês, já a descarga calculada pelo modelo KINEROS2 foi transformado de kg/s para t/mês.

Pode-se observar que a relação, descarga solida observada *versus* calculada (Tabela 5.11), teve uma correlação razoável. A ausência dos resultados observados nos meses de janeiro a maio se dá pelo fato das campanhas de campos terem sido inicializadas no mês de junho de 2010.

**Tabela 5.11-** Relação da descarga sólida observada *versus* calculada.

| PONTOS | S1                       |                           | S2                       |                           | S3                       |                           | S4                       |                        |
|--------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|
|        | Q <sub>SS</sub><br>(obs) | Q <sub>SS</sub><br>(Calc) | Q <sub>SS</sub><br>(obs) | Q <sub>SS</sub><br>(Calc) | Q <sub>SS</sub><br>(obs) | Q <sub>SS</sub><br>(Calc) | Q <sub>SS</sub><br>(obs) | Q <sub>SS</sub> (Calc) |
| JAN    | -                        | 0,0210                    | -                        | 0,0960                    | -                        | 0,1290                    | -                        | 0,0330                 |
| FEV    | -                        | 0,0086                    | -                        | 0,0360                    | -                        | 0,0478                    | -                        | 0,0124                 |
| MAR    | -                        | 0,0031                    | -                        | 0,0112                    | -                        | 0,0145                    | -                        | 0,0040                 |
| ABR    | -                        | 0,0071                    | -                        | 0,0296                    | -                        | 0,0392                    | -                        | 0,0101                 |
| MAI    | -                        | 0,0057                    | -                        | 0,0231                    | -                        | 0,0303                    | -                        | 0,0079                 |
| JUN    | 0,<br>3420               | 0,3639                    | 0,4170                   | 0,7820                    | 0,1920                   | 1,0880                    | -                        | 0,2960                 |
| JUL    | 0,<br>0240               | 0,0364                    | 0,2790                   | 0,2644                    | 0,2070                   | 0,2220                    | -                        | 0,0572                 |
| AGO    | 0,<br>1530               | 0,1491                    | 0,5040                   | 0,4385                    | 0,5790                   | 0,5511                    | 0,1020                   | 0,1132                 |
| SET    | 0,<br>0240               | 0,0228                    | 0,0870                   | 0,0898                    | 0,1350                   | 0,1127                    | 0,1890                   | 0,2036                 |
| OUT    | 0,<br>0750               | 0,0712                    | 0,0630                   | 0,0576                    | 0,0660                   | 0,0613                    | 0,0750                   | 0,0613                 |
| NOV    | 0,<br>0120               | 0,0000                    | 0,0330                   | 0,0000                    | 0,0270                   | 0,0000                    | 0,0390                   | 0,0000                 |
| DEZ    | 0,<br>0030               | 0,0000                    | 0,0060                   | 0,0000                    | 0,0120                   | 0,0000                    | 0,0180                   | 0,0000                 |

Fonte: (Do Autor, 2011).

Os meses com maior discrepância foram: junho e julho, já os meses de outubro, novembro e dezembro também apresentaram variação no comparativo devido principalmente a ausência do escoamento de base no modelo nos meses com baixa precipitação. Evidenciou-se que os pontos de controle (S2 e S3) apresentaram maiores taxas de descarga de sedimentos, pelos dois métodos, o observado e o calculado.

## 5.7 Análise do Regime Hidrossedimentológico

Os mapas a seguir apresentam a espacialização da produção de sedimentos e o escoamento para cada plano e canal discretizados da bacia, com destaque para os postos de controle (S), a partir da precipitação mensal observada para o período compreendido entre Janeiro-Dezembro de 2010 e implantados no SIG, para a representação espacial da estimativa da produção de sedimentos e do escoamento.

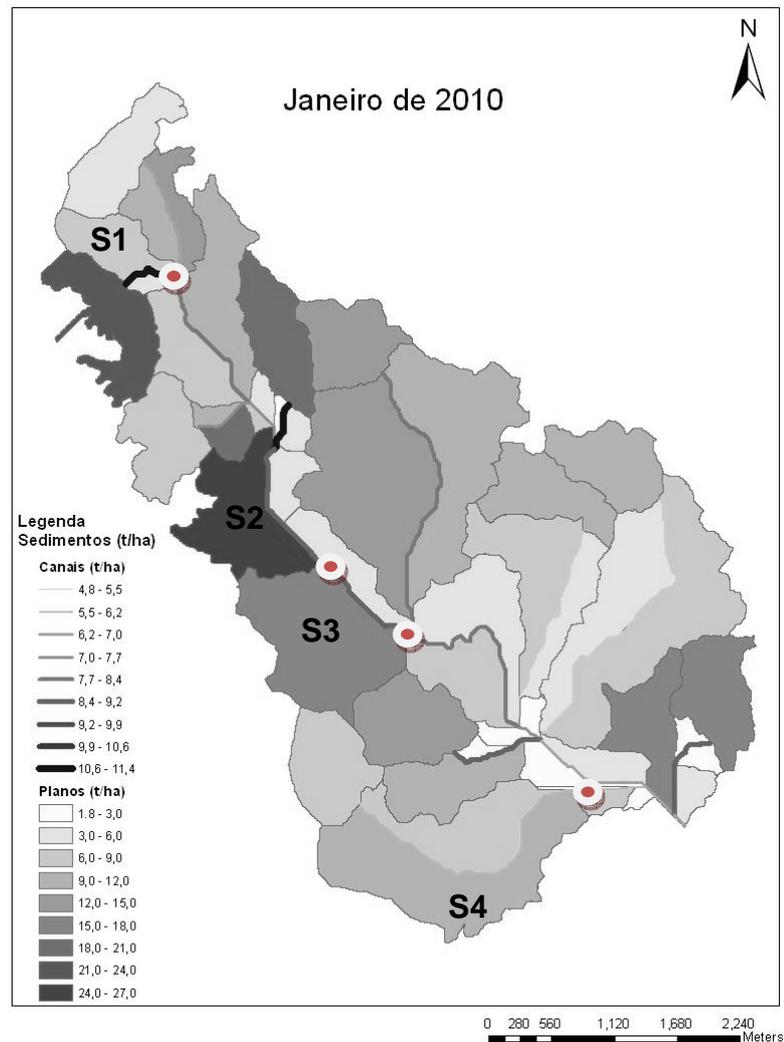
Para efeito comparativo em relação à quantidade de sedimentos produzido, e levando em consideração o uso e tipos de solos, alguns planos (**S**) dentro da bacia foram selecionados para um estudo mais específico.

### 5.7.1 Janeiro de 2010

No mês de janeiro de 2010, a precipitação média mensal, acima da média climatológica. O total precipitado no mês de janeiro foi de 189.3 mm, enquanto a média climatológica é de 74,8 mm.

A Figura 5.13 apresenta o total de sedimentos produzidos durante o mês de janeiro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.

**Figura 5.13** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de janeiro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.

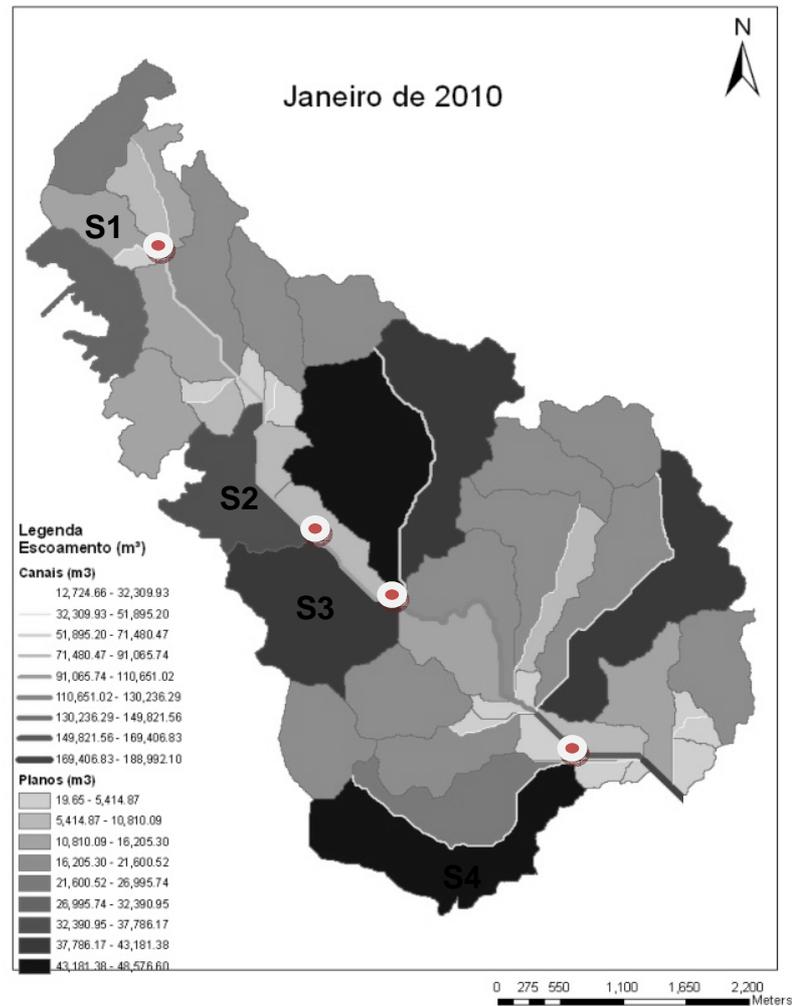


**Fonte:** (Do Autor, 2011).

Esse total precipitado (189,3 mm) produziu um montante no exutório na ordem de  $6,57 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ . Onde podemos destacar que os planos com mais produção de sedimentos se encontram na parte alta da bacia (S1), logo após o lançamento das águas da Macrodrenagem do Tabuleiro, e na parte média da bacia, onde já foram identificadas áreas com grande potencial de produção de sedimento. A Figura 5.14 apresenta o escoamento mensal calculado pelo modelo para o mês de janeiro de 2010. Os planos localizados na parte média da bacia (S2 e S3) obtiveram valores de escoamento mas elevados, ocasionados principalmente pela declividade do terreno onde nessa região temos áreas íngremes. Já no sudoeste da parte baixa da bacia, região com urbanização bem acentuada também encontramos maiores

valores de escoamento superficial, mostrando a relação entre áreas urbanizadas e escoamento.

**Figura 5.14** – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de janeiro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

### 5.7.2 Fevereiro de 2010

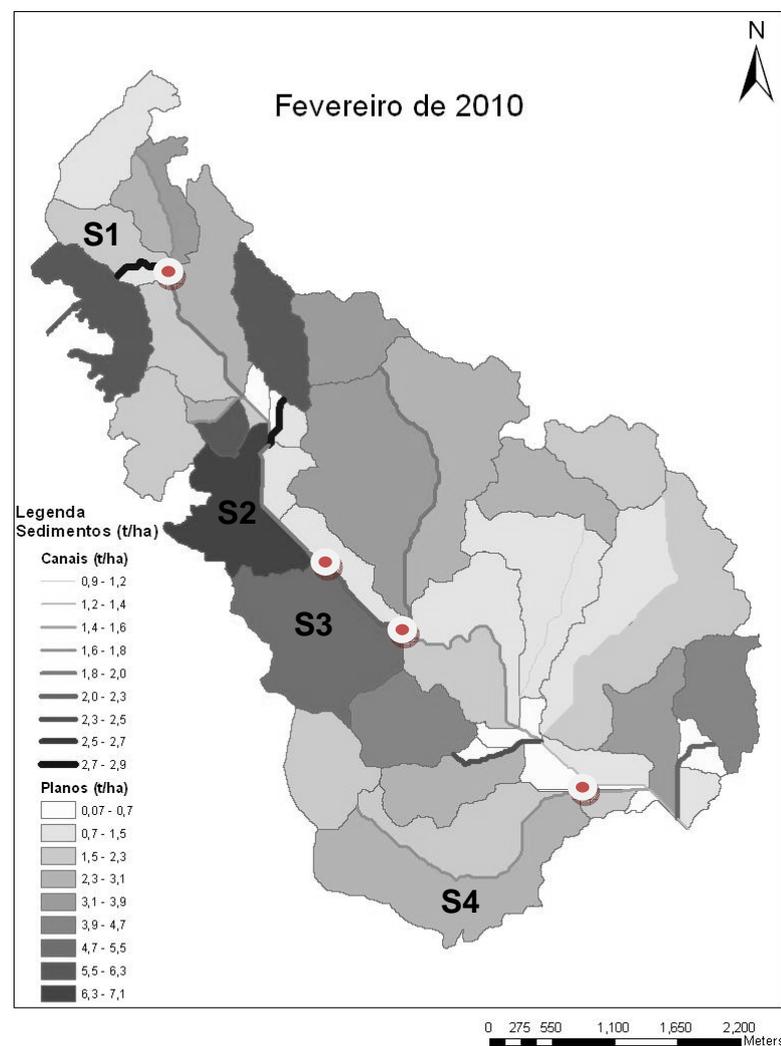
Assim como janeiro de 2010, fevereiro também apresentou um índice pluviométrico acima da média climatológica, na ordem de 144,2 mm onde se tem em média índices climatológicos de 111 mm.

Como esperado o modelo representou bem a distribuição espacial da produção de sedimentos na bacia.

Áreas dos planos a montante dos postos de controle (S2 e S3), localizadas na parte média da bacia, tiveram maior produção de sedimento, já os canais com maior transporte de sedimento se encontram logo após o lançamento da Macro drenagem do Tabuleiro.

A Figura 5.15 apresenta a distribuição espacial da produção de sedimentos e o escoamento da bacia do rio Jacarecica.

**Figura 5.15** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de fevereiro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (Do Autor, 2011).

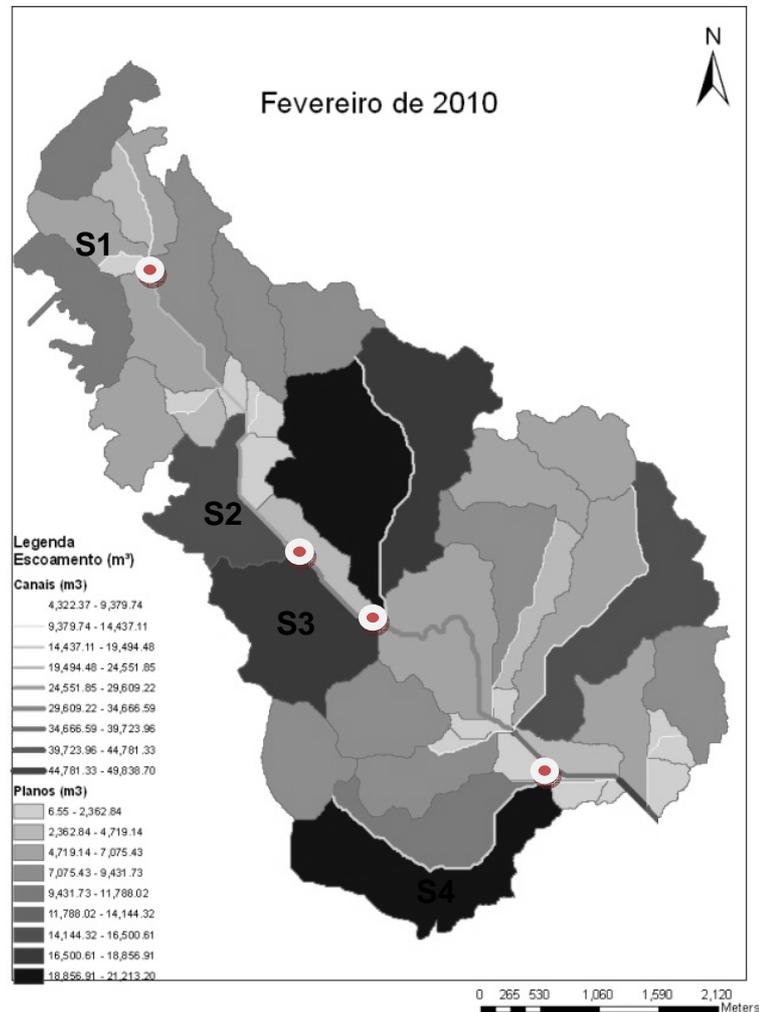
Pode-se observar que as áreas que apresentam menos produção de sedimentos na bacia são as áreas com vegetação predominante, localizadas principalmente na parte nordeste da parte baixa da bacia.

Sendo assim, o mês de fevereiro teve uma produção de sedimentos na ordem de  $1,34 \text{ t.ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$  para uma precipitação na ordem de 144,2 mm.

A Figura 5.16 mostra o escoamento nos planos e canais, onde podemos observar o maior índice na região oeste da parte média e baixa da bacia, regiões com maiores áreas urbanas, revelando a boa sensibilidade do modelo quanto à impermeabilização do solo na bacia.

O modelo representou bem a distribuição espacial do escoamento para o mês de fevereiro, onde os planos localizados na parte média da bacia, onde o relevo é mais acidentado, encontramos maiores valores de escoamento superficial ao longo do mês de fevereiro de 2010.

**Figura 5.16** – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de fevereiro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



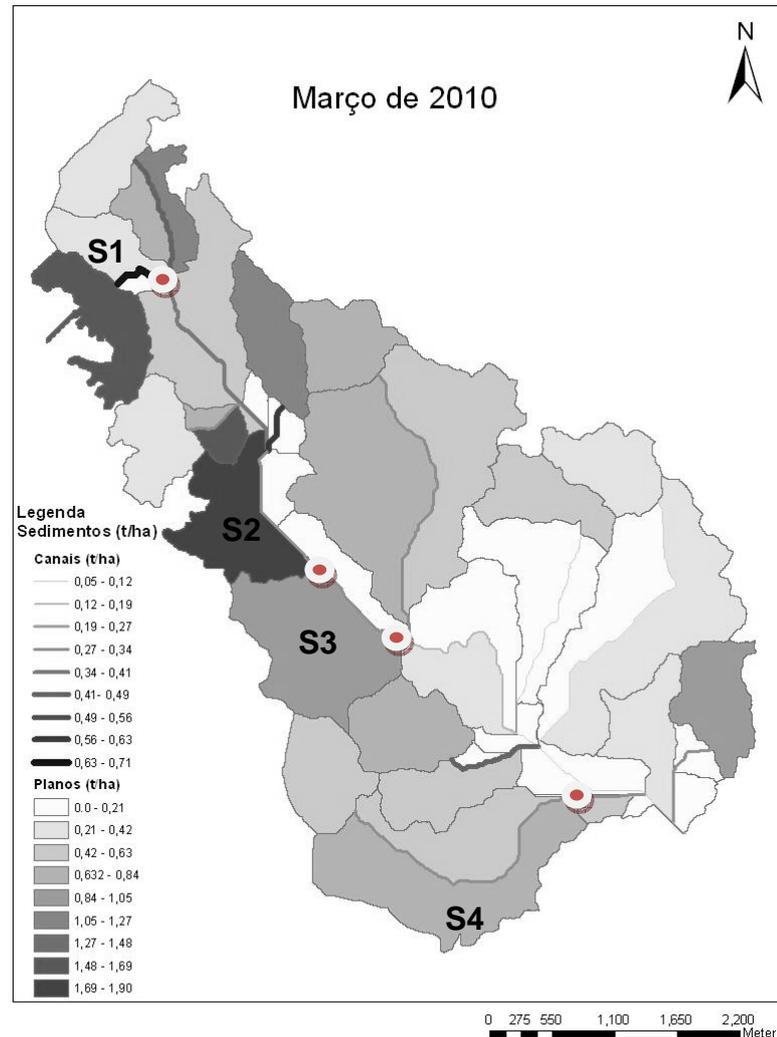
Fonte: (Do Autor, 2011).

### 5.7.3 Março de 2010

O mês de março é no estado de Alagoas o mês que precede o início da quadra chuvosa que vai até o mês de julho, entretanto o índice pluviométrico nesse mês foi abaixo da pluviometria climatológica que é de 191 mm, no entanto o total precipitado ao longo do mês de março foi de 119,8 mm.

A Figura 5.17 mostra a distribuição espacial da produção de sedimentos ao longo da bacia do rio Jacarecica, onde tivemos planos contribuindo com a produção de sedimento na ordem de até  $1,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$ , perfazendo um total de 0,05 t no exutório da bacia para o referido mês.

**Figura 5.17** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de março de 2010, na bacia do rio Jacarecica.

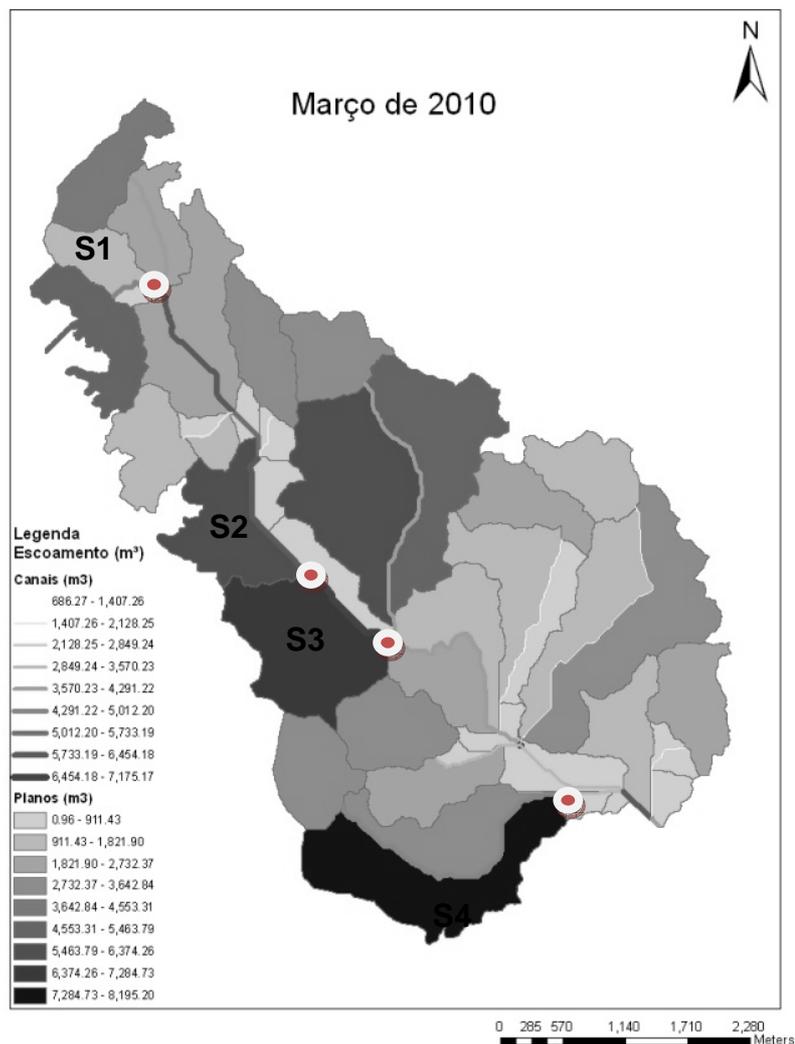


**Fonte:** (Do Autor, 2011).

Os canais que mais transportaram sedimentos ao longo do rio foram os localizados na parte alta e média da bacia. Isso se justifica por vários fatores entre os quais: a morfologia da bacia, onde regiões mais altas tendem a transportar mais sedimentos para regiões mais baixas, a retirada da cobertura vegetal ao longo principalmente da parte alta e média da bacia, para o avanço da urbanização e pelos vários impactos verificados ao longo da bacia.

A Figura 5.18 mostra a distribuição espacial do escoamento superficial nos planos e canais para o mês de março de 2010, mostrando o alto escoamento nos canais localizados principalmente na parte alta e média da bacia do rio Jacarecica, chegando a valores de até 8,195.20 m<sup>3</sup>/mês.

**Figura 5.18** – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de março de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



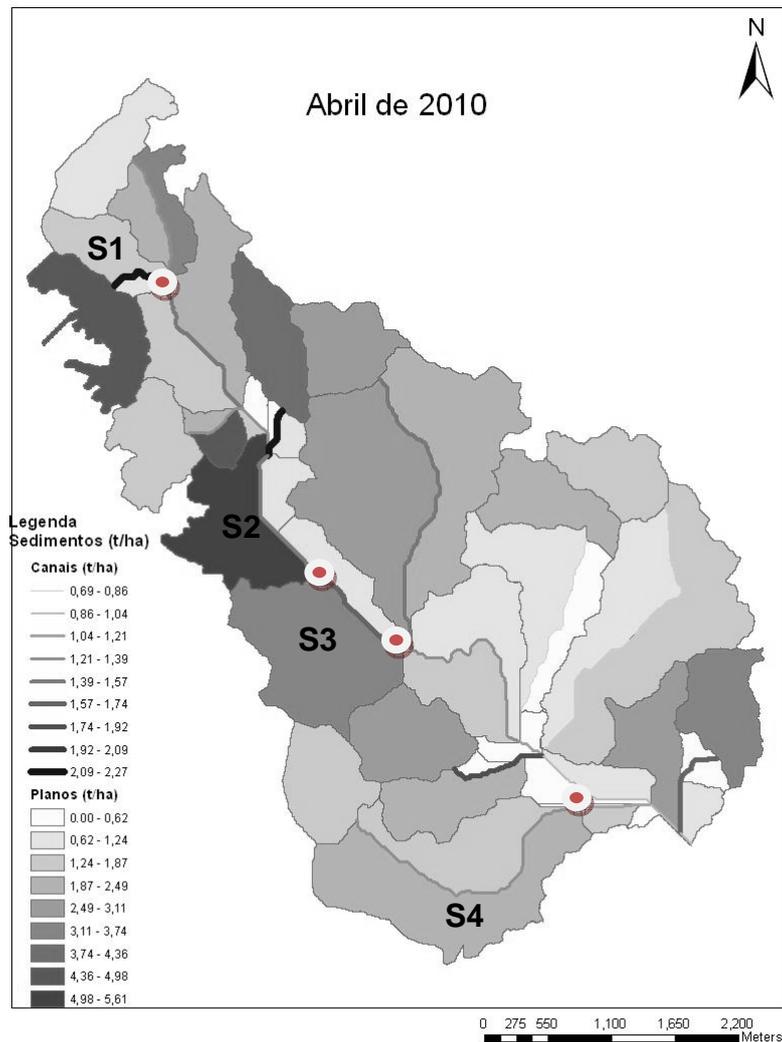
**Fonte:** (Do Autor, 2011).

#### 5.7.4 Abril de 2010

Os meses de abril a julho são os meses com maior índices pluviométricos no município de Maceió, chegando até 350 mm/mês. Entretanto o mês de abril de 2010 teve uma precipitação de 140,6 mm onde a média climatológica nos apresenta um valor na ordem de 312,6 mm.

A produção de sedimentos e o escoamento para o mês de abril de 2010 ao longo da bacia do rio Jacarecica são apresentados nas Figuras 5.19 e 5.20.

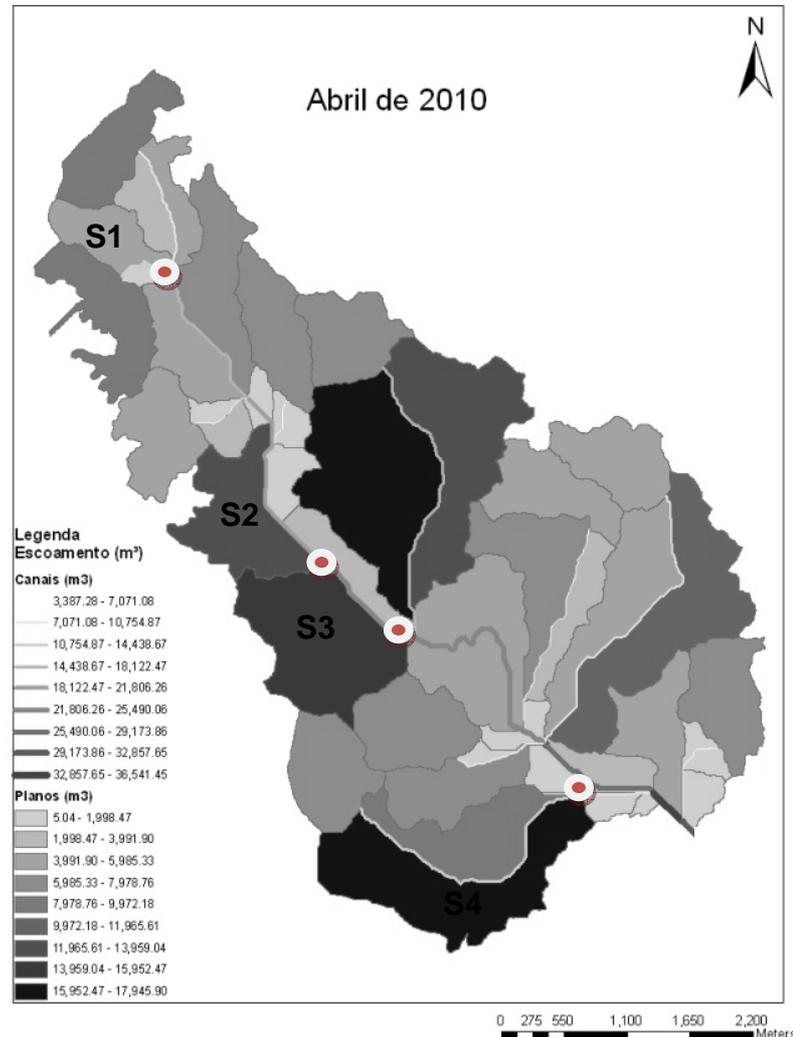
**Figura 5.19** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de abril de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (Do Autor, 2011).

A Figura 5.20 mostra o escoamento superficial nos planos e canais durante o mês de abril de 2010, com precipitação abaixo da média climatológica. Sendo assim o mês de abril foi considerado um mês atípico, em relação à pluviometria, mesmo assim esse índice pluviométrico produziu um total de produção de sedimentos de até  $5,6 \text{ t.ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ . O valor total de sedimentos no exutório foi da ordem de  $0,9 \text{ t.ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ .

**Figura 5.20** – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de abril de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

Vale ressaltar que ainda há vegetação predominante na parte média e principalmente baixa da bacia, no lado leste. Essa vegetação tem um papel importante no transporte de sedimentos, pois age como uma barreira impedindo que o sedimento se deposite no curso do rio.

Do mesmo modo Maeda (2008) verificou que os resultados obtidos pelo modelo SWAT/AGWA permitiram comprovar a grande importância da cobertura vegetal na conservação do solo e na prevenção dos problemas relacionados, como o assoreamento dos rios. O modelo também possibilitou a localização das áreas aonde o processo de degradação do solo vem ocorrendo de forma mais intensa e,

conseqüentemente, onde os cuidados visando manejos mais sustentáveis deverão ser priorizados.

#### 5.7.5 Maio de 2010

A Figura 5.21 apresenta a produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica.

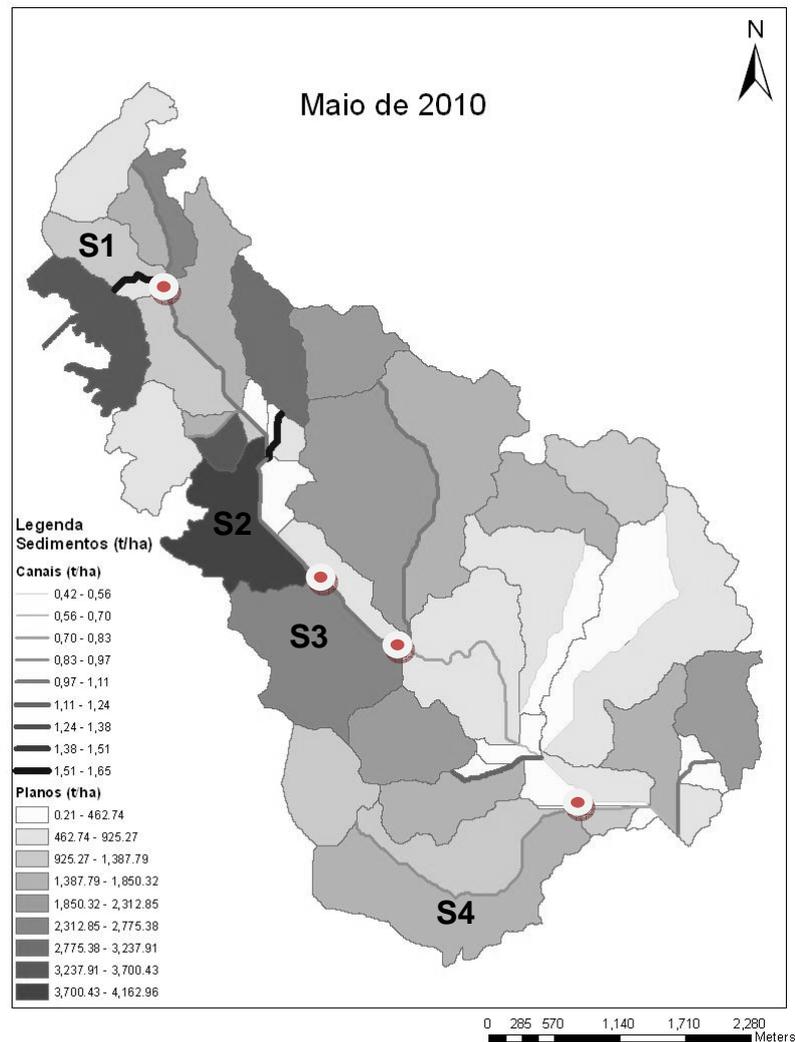
O total precipitado durante o mês de maio foi de 133,8 mm, bem abaixo dos 340,7 mm, que é a pluviometria climatológica para o mês de maio em Maceió.

Entretanto esse valor produziu um montante de 0,5 toneladas de sedimentos, com variação de  $0,4 \text{ t.ha}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ , nos planos com maior contribuição e com valores mínimos de  $0,00021 \text{ t.ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ . Os canais também contribuíram com um transporte de sedimentos variando de 0,42 a  $1,16 \text{ t.ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ .

Mais uma vez os planos que mais contribuíram com as produções de sedimentos localizam-se na parte alta e média da bacia do rio Jacarecica.

Neste estudo o modelo representou bem a bacia, diferente do observado por Lopes (2003), que após um extenso estudo utilizando o modelo KINEROS2 em uma pequena bacia na região semi-árida da Paraíba e afirmou que apesar da robustez, o modelo em questão não consegue representar bem a produção de sedimentos na bacia estudada, já que, o intervalo do parâmetro que representa a erosão causada pelo impacto da gota de chuva deveria ter um intervalo de variação menor, para uma melhor discretização em cada tipo de cobertura vegetal. Com relação aos dados de vazão, o modelo também não conseguiu representar bem a realidade, na maior parte das simulações.

**Figura 5.21** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de maio de 2010, na bacia do rio Jacarecica.

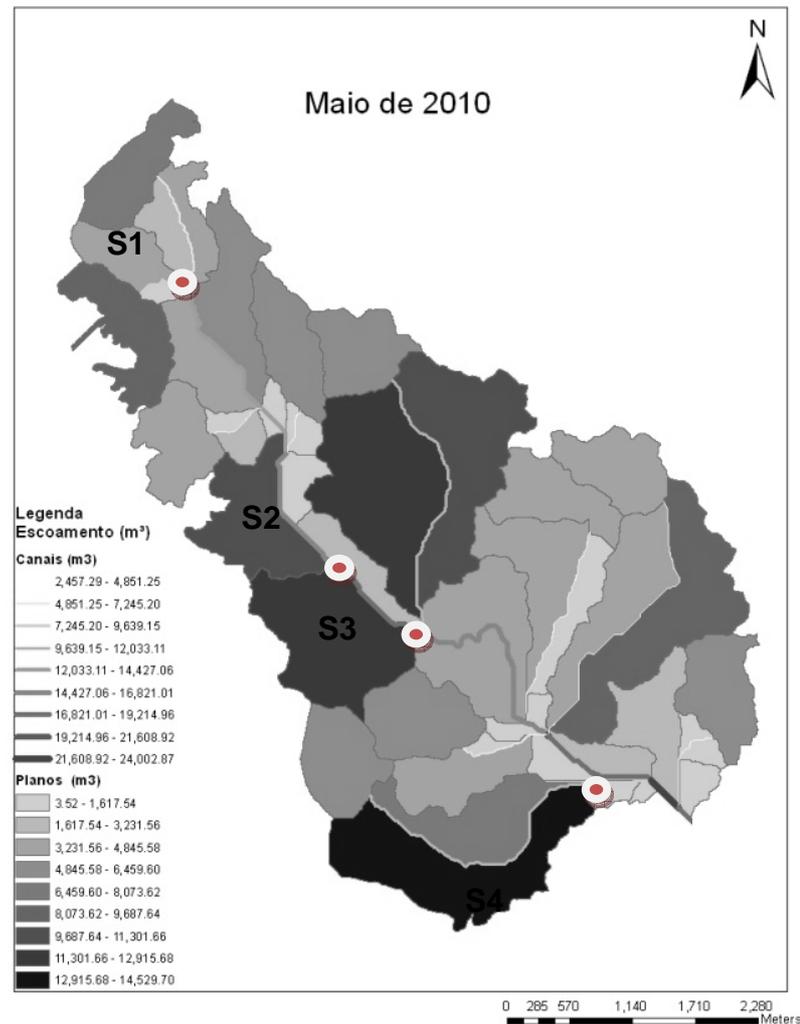


**Fonte:** (Do Autor, 2011).

No mês de maio podemos verificar que o escoamento em áreas com presença de cobertura vegetal, localizadas principalmente no nordeste da parte baixa da bacia e nordeste da parte alta, são bem abaixo das áreas com maior percentual de urbanização, constatando a influência da vegetação nos processos de interceptação e infiltração, inibindo o escoamento nesses planos.

A Figura 5.22 apresenta a distribuição espacial do escoamento superficial ao longo dos planos e canais, na bacia do rio Jacarecica, em Maceió-AL, para o mês de maio de 2010.

**Figura 5.22** – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de maio de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



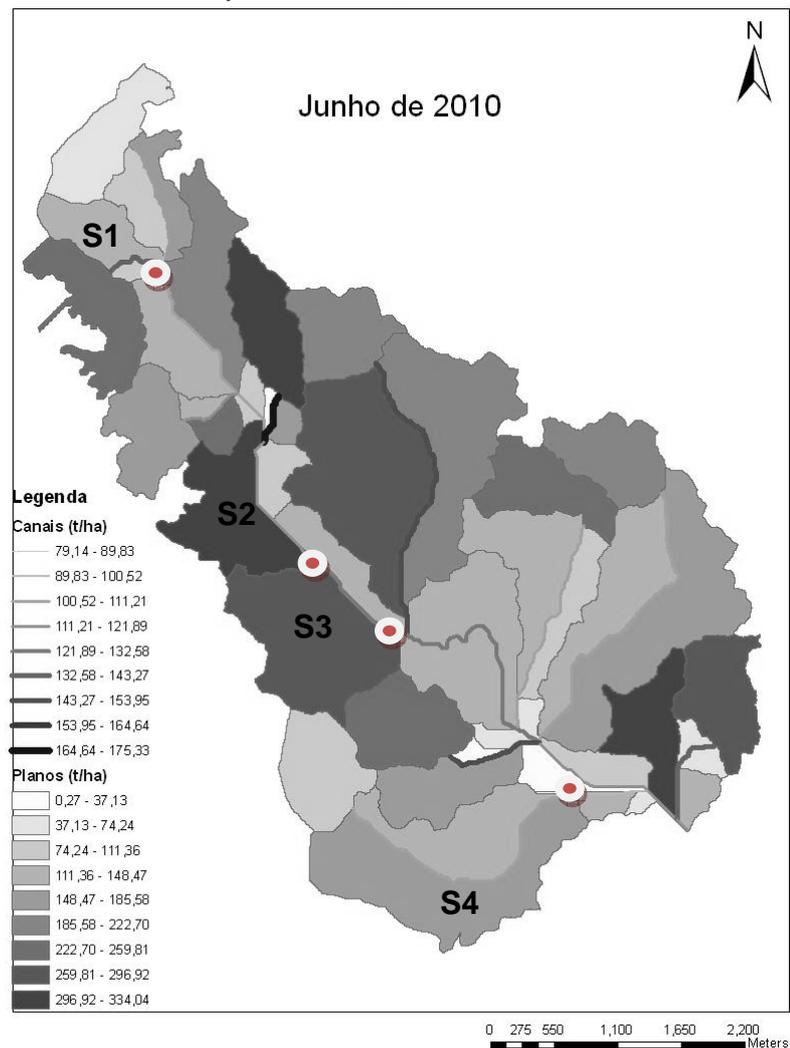
**Fonte:** (Do Autor, 2011).

No que tange à identificação das áreas susceptíveis ao processo de erosão, os resultados mostram que as áreas localizadas na parte alta da bacia foram as que mais contribuíram para o processo de erosão se comparadas com os planos inseridos na parte sul da bacia, o que pode ser explicado pelo fato das maiores declividades se localizarem na parte alta da bacia.

### 5.7.6 Junho de 2010

Para o mês de junho, o modelo KINEROS2 simulou a produção de sedimentos ao longo da bacia do rio Jacarecica como mostra a Figura 5.23.

**Figura 5.23** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de junho de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (Do Autor, 2011).

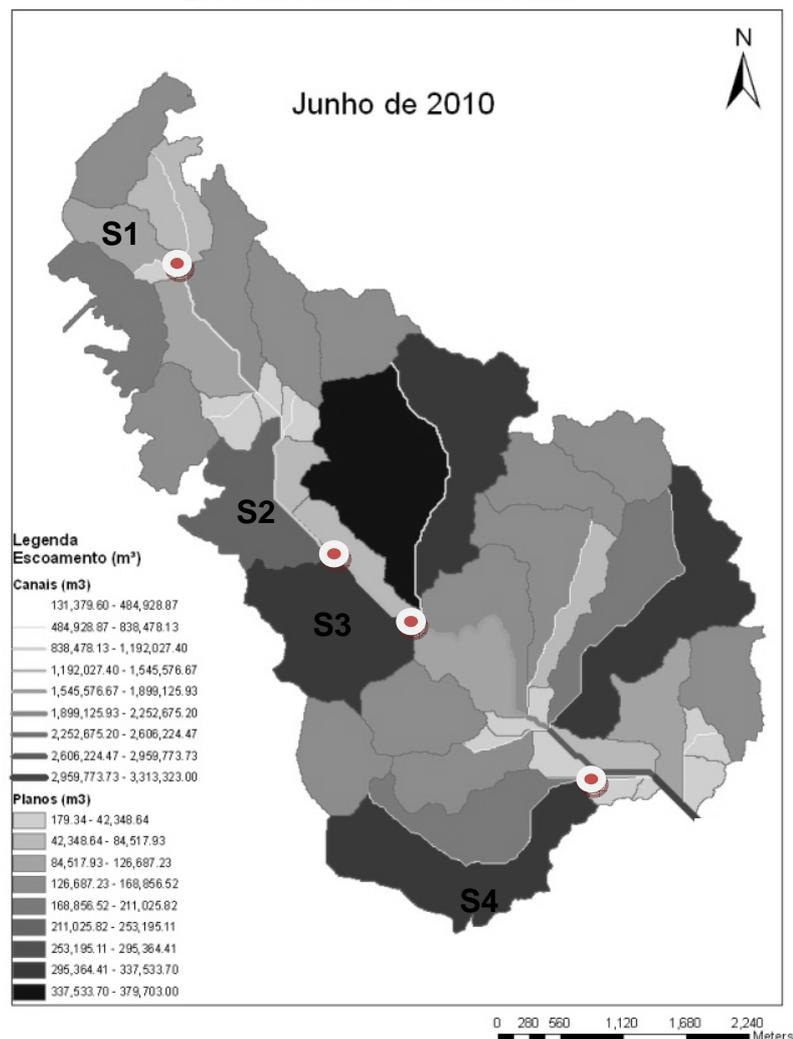
O total precipitado ao longo do mês de junho de 2010, na ordem de 532,8 mm superou a média climatológica para o referente mês, um valor bem elevado se comparado com os 298,3 mm referente à climatológica na região. A produção total de sedimentos ao longo dos planos chegou a  $334 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ .

Vale ressaltar que os transportes de sedimentos ao longo dos canais se deu em áreas principalmente na parte média e baixa da bacia, e o maior percentual de escoamento se deu no nordeste da parte média da bacia e no nordeste e sudoeste na parte baixa da bacia.

O sedimento calculado no exutório da bacia do rio Jacarecica no mês de junho de 2010, produziu um montante na ordem de 120 toneladas, sendo este o mês com a maior taxa de sedimento ao longo do ano do estudo.

Áreas com erosão (Figuras 5.25 a 5.28) também são bem representadas pelo aumento de produção de sedimentos (Figura 5.23) e escoamento (Figura 5.24) ao longo do mês de junho de 2010, na bacia.

**Figura 5.24** – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de junho de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (Do Autor, 2011).

**Figura 5.25** – Áreas em processos de erosão ao longo da parte alta da bacia.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

**Figura 5.26** – Processos erosivos ao longo da bacia do rio Jacarecica.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

**Figura 5.27** – Desbarrancamento em áreas dos planos na parte média da bacia.

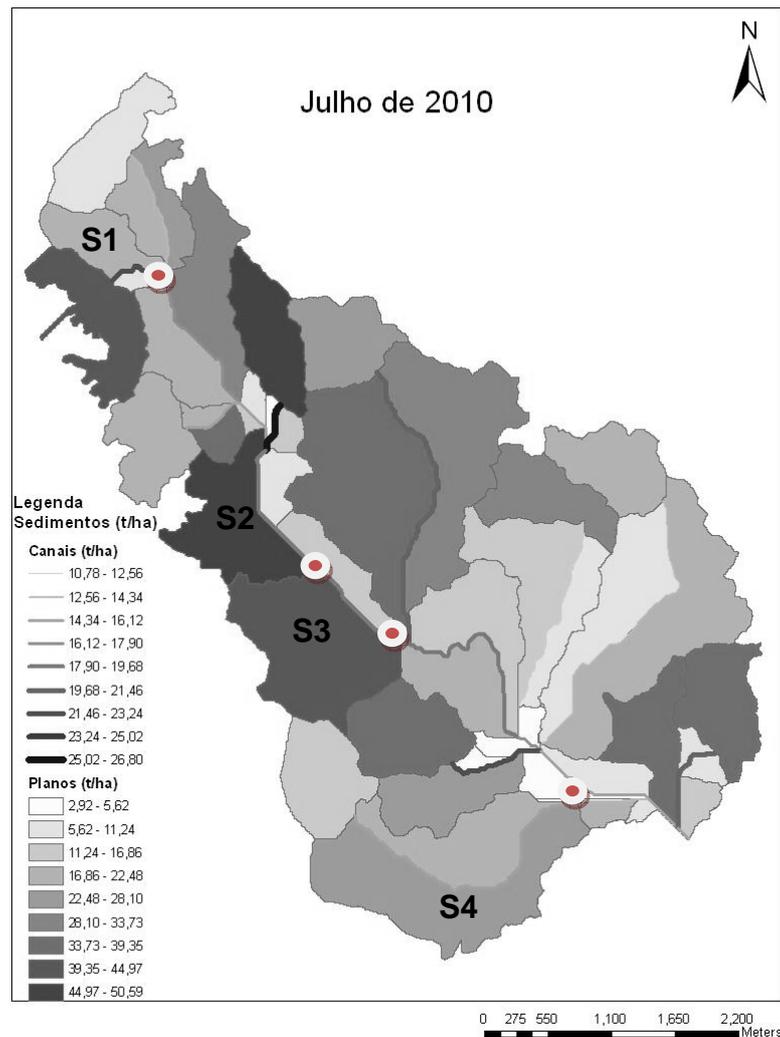


**Fonte:** (Do Autor, 2011).

### 5.7.7 Julho de 2010

O mês de julho teve um total precipitado de até 226,2 mm chegando a produzir um montante nos planos de 2,92 (em áreas com vegetação) até 50 t.ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> (em áreas como solo exposto e urbanizado), perfazendo um total de 0,01 toneladas.

**Figura 5.28** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de julho de 2010, na bacia do rio Jacarecica.

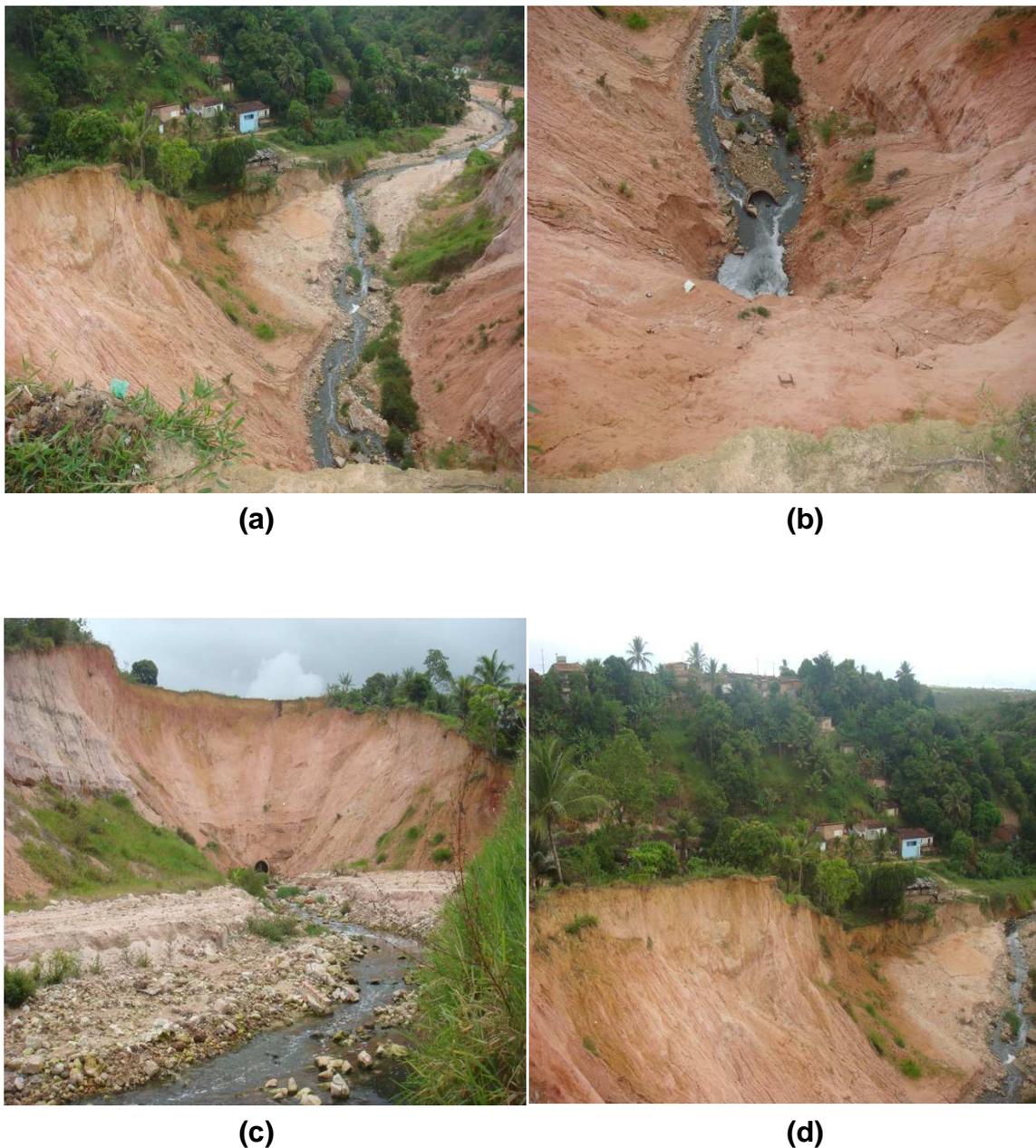


Fonte: (Do Autor, 2011).

Podemos observar que em período de chuva o modelo representa bem tanto distribuição da produção de sedimentos (Figura 5.28) quanto o escoamento (Figura 5.30) na bacia.

Os planos e canais que mais transportam sedimentos pelo leito do rio (S1) estão localizados logo após alguns impactos presentes na bacia do rio Jacarecica, tais como, o lançamento das águas do Tabuleiro e a ocupação desordenada da bacia, como podemos observar nas fotos da Figura 5.29.

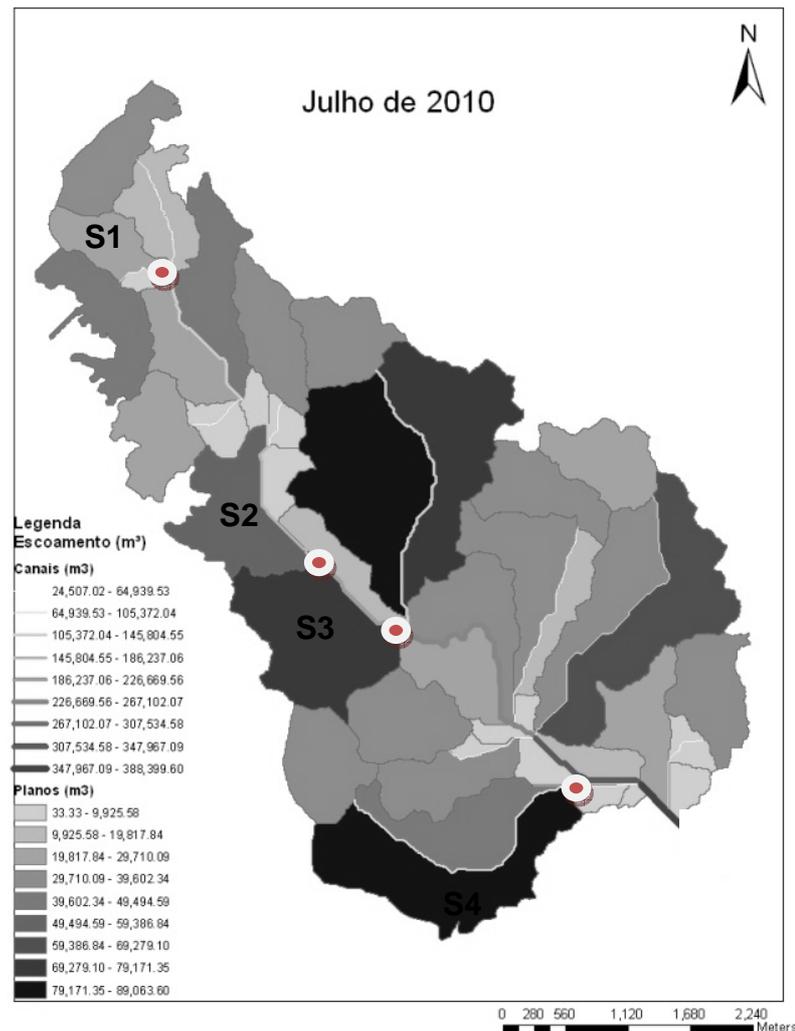
**Figura 5.29** – Impactos presentes no plano com maior produção de sedimentos: (a) e (b) vista do alto do lançamento das águas da Macro Drenagem, (c) lançamento das águas da Macro Drenagem e (d) ocupação desordenada de encostas.



Fonte: (Do Autor, 2011).

O escoamento no mês de julho, calculado pelo modelo KINEROS2 é apresentado na Figura 5.30. Podemos observar que em alguns meses houve divergência em relação aos planos com maior escoamento e produção de sedimentos.

**Figura 5.30** – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de julho de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

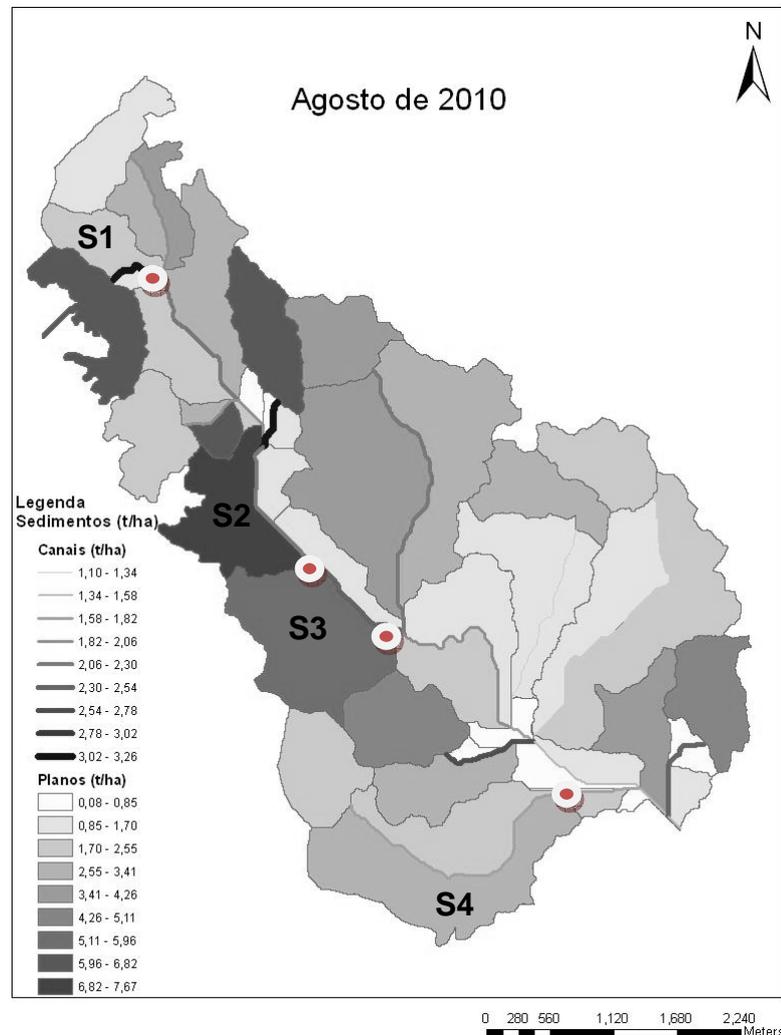
### 5.7.8 Agosto de 2010

O mês de agosto teve um total precipitado de aproximadamente 150 mm/mês, produzindo uma variação de produção de sedimento nos planos de  $0,0081 \text{ t.ha}^{-1} \text{ .mês}^{-1}$  em alguns planos localizados na parte baixa da bacia até  $7,6 \text{ t.ha}^{-1} \text{ .mês}^{-1}$ , em planos na parte alta e média da bacia.

Áreas urbanizadas, que corresponde a um percentual de aproximadamente 45,8% do total da bacia, foram bem representadas pelo modelo, apresentando áreas com maior incidência de produção de sedimentos, devido principalmente pela impermeabilização do solo.

A Figura 5.31 apresenta os resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de Agosto de 2010, na bacia do rio Jacarecica.

**Figura 5.31** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de agosto de 2010, na bacia do rio Jacarecica.

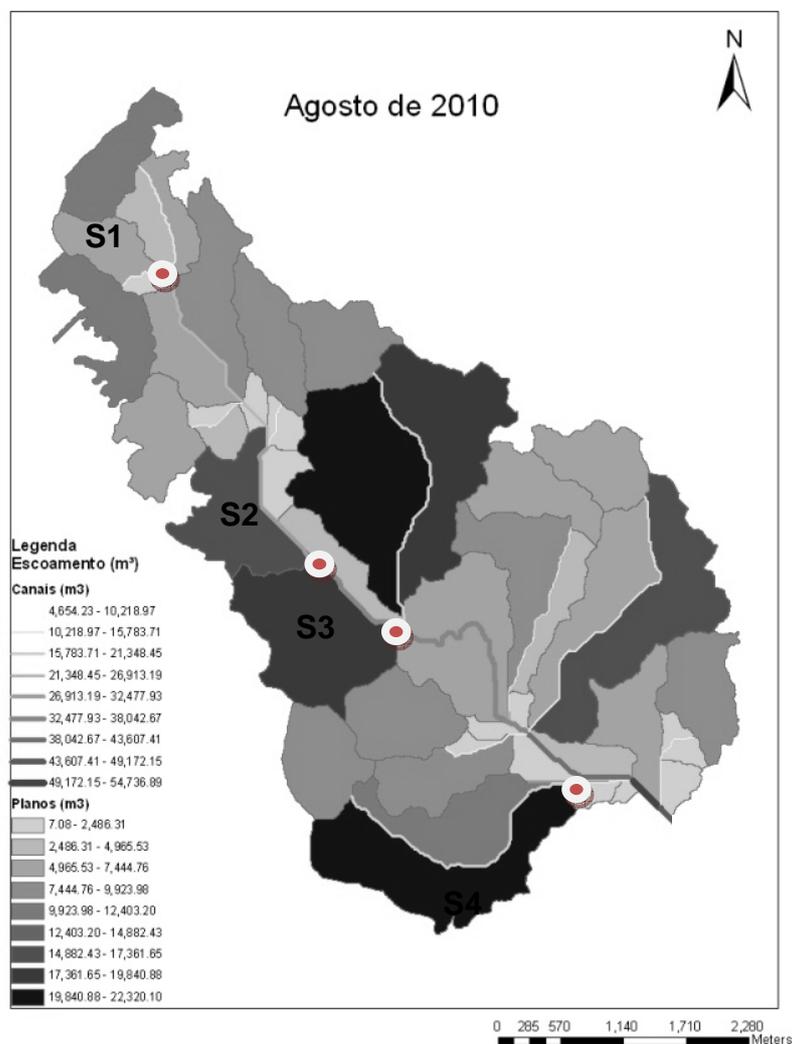


Fonte: (Do Autor, 2011).

Os canais que contribuíram para o transporte de sedimentos ao longo da bacia foram observados nas partes, alta e baixa da bacia, variando de 1,1 a 3,2 t.ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>. O montante calculado pelo KINEROS2 no exutório da bacia foi de cerca de 1,5 toneladas para o mês de agosto de 2010.

A Figura 5.32 mostra o escoamento da bacia no mês de agosto de 2010, onde podemos observar que os planos localizados na parte, média e baixa da bacia, foram os que mais contribuíram para o escoamento da bacia no referido mês.

**Figura 5.32** – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de agosto de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

### 5.7.9 Setembro de 2010

A produção de sedimentos nos planos localizados na parte média da bacia do rio Jacarecica, pode diminuir a lamina d'água ao longo do rio, afetando as espécies aquáticas existentes na região, ou afetando a população. Com o início da época seca as consequências das produções de sedimentos ocasionados no período chuvoso ao longo da bacia ainda são visíveis, como constatados nas Figuras 5.33 (a) do dia 17/06/2010 e na Figura 5.33 (b) do dia 10/09/2010.

**Figura 5.33** – Comparativo do nível da lamina d'água na bacia do rio Jacarecica no dia (a) 17/06/2010 e (b) 10/09/2010.



(a)



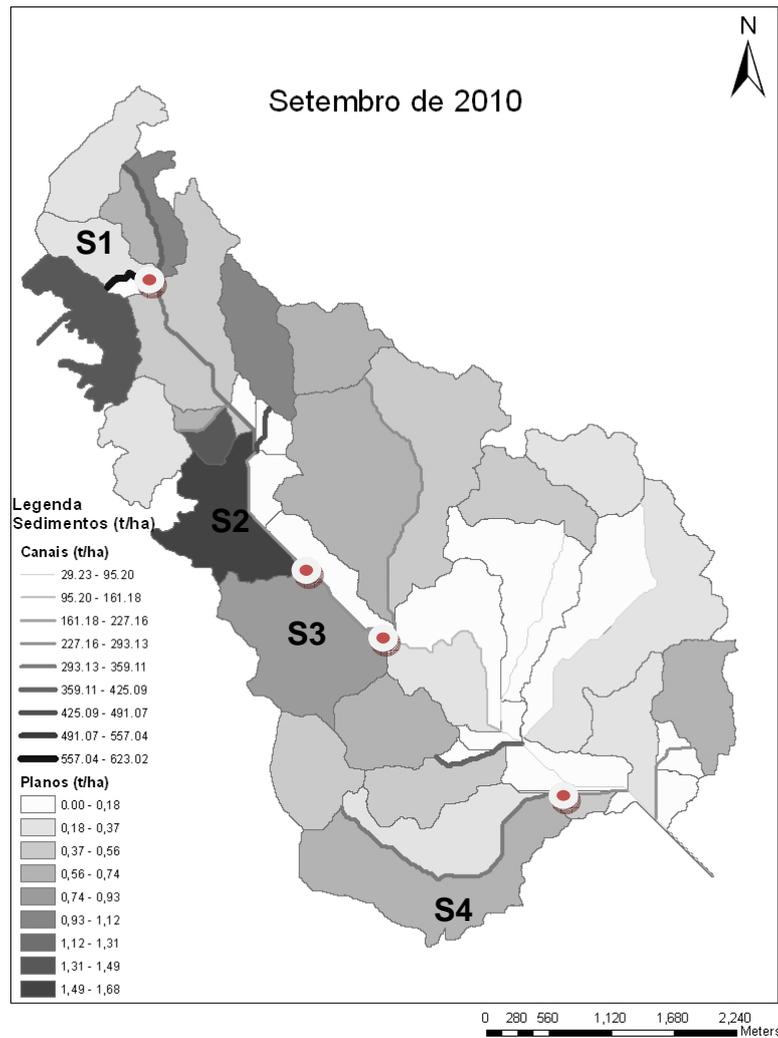
(b)

**Fonte:** (Do Autor, 2011).

O índice pluviométrico de setembro foi de 118 mm ao longo do mês, produzindo um montante nos palnos de até  $1,6 \text{ t. ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ .

A Figura 5.34 mostra a distribuição espacial da produção de sedimentos nos planos e canais ao longo do mês de setembro de 2010.

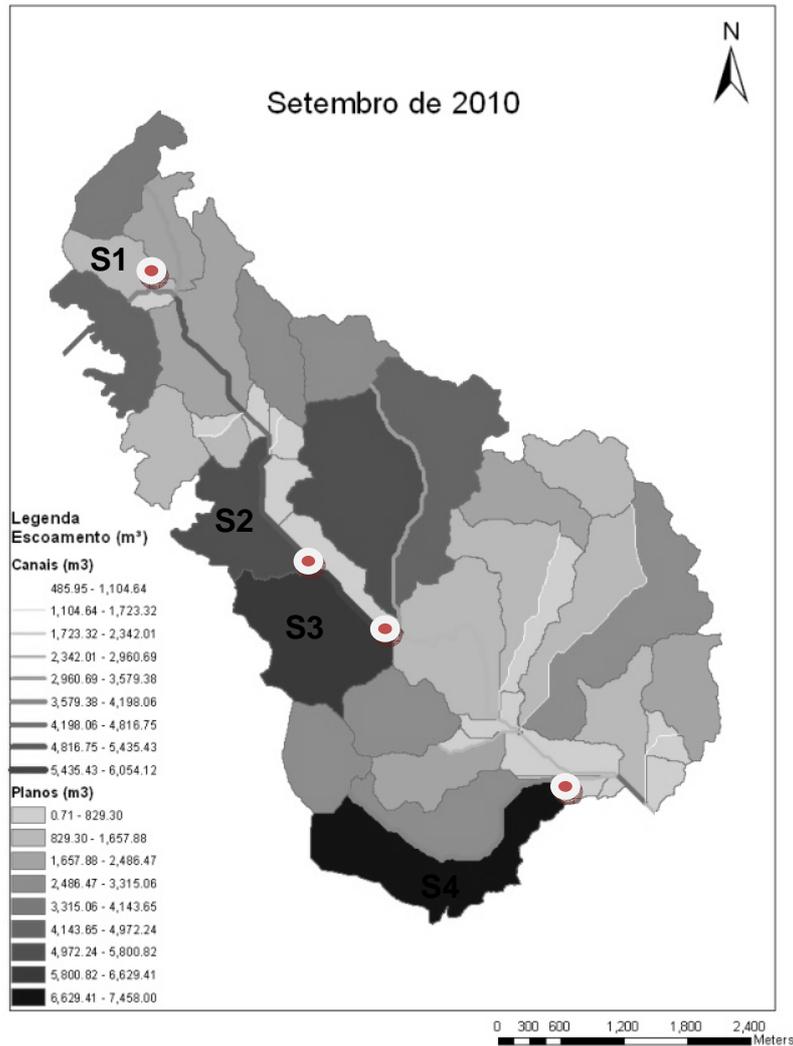
**Figura 5.34** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de setembro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (Do Autor, 2011).

Já a Figura 5.35 apresenta os resultados da modelagem do escoamento para o mês de setembro de 2010, onde podemos observar maior escoamento nos planos localizados na região sudoeste da parte baixa da bacia, região essa em uma área totalmente impermeável, por se tratar de uma área urbana da bacia.

**Figura 5.35** – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de setembro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (Do Autor, 2011).

### 5.7.10 Outubro de 2010

Com um total precipitado de 105 mm ao longo do mês, podemos observar a diminuição da produção de sedimentos ao longo da bacia do rio Jacarecica.

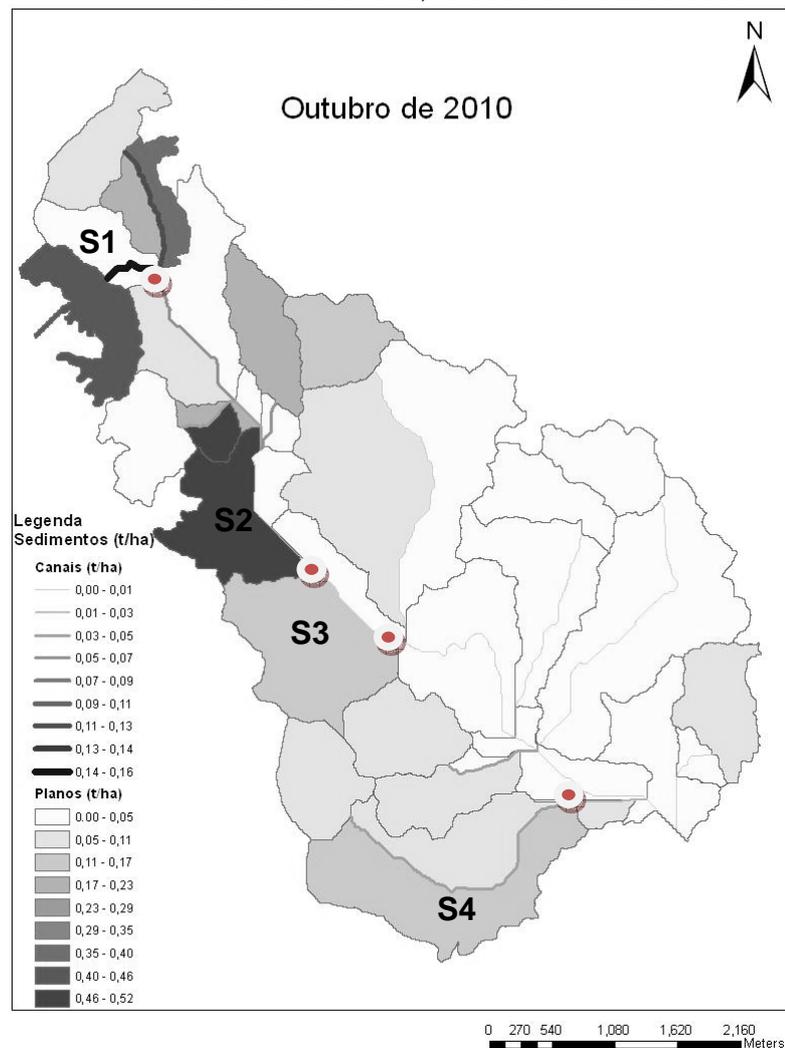
Com valores de sedimentos variando de 0,0 até 0,5 t.ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>, nos planos com maior contribuição de sedimentos.

Pode-se observar que o modelo representa bem tanto a produção de sedimentos com índices pluviométricos baixos, levando em consideração os uso e coberturas da terra.

Por exemplo, áreas com maior percentual de vegetação têm menor produção de sedimentos, enquanto áreas com ocupação urbana e solo exposto têm seus planos contribuindo mais com a produção de sedimentos ao longo da bacia.

Hartwig (2009) simulou diferentes condições de uso e cobertura do solo e nos cenários elaborados foi possível a visualização dos locais onde ocorreram as diferenças no aporte de sedimentos, concluindo que os locais de maiores perdas são aqueles que apresentam maiores declividades e localizados próximos aos canais de drenagem, onde ocorre a formação de barrancos. Também apresentam maiores perdas os locais ocupados por cana-de-açúcar e pastagens, onde a ação antrópica é maior, mesmo com menores declividades.

**Figura 5.36** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de outubro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.

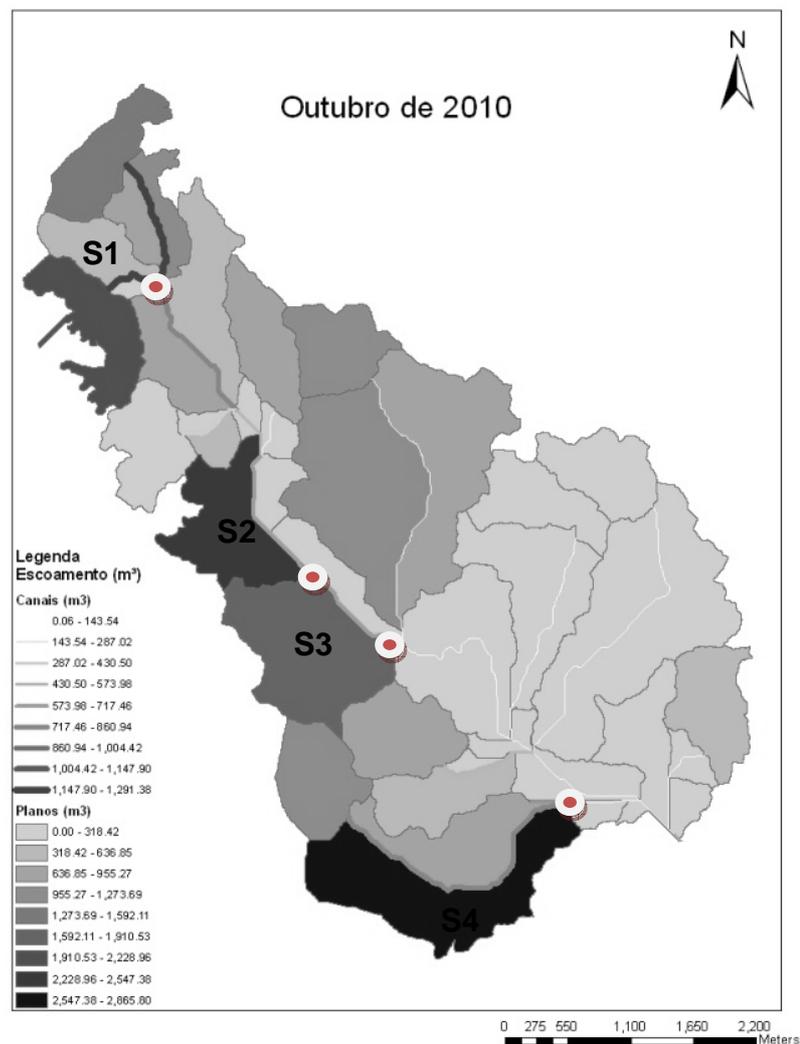


Fonte: (Do Autor, 2011).

A Figura 5.37 apresenta o resultado do modelo KINEROS2 para o escoamento na bacia do rio Jacarecica, para o mês de outubro de 2010.

Canais localizados próximo à nascente do rio Jacarecica, apresentaram maiores valores de escoamento ao longo do mês, sendo essa influenciada pelo lançamento das águas do Tabuleiro, quanto pela morfológica da bacia.

**Figura 5.37** – Resultados da modelagem do escoamento para o mês de outubro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

### 5.7.11 Novembro e Dezembro de 2010

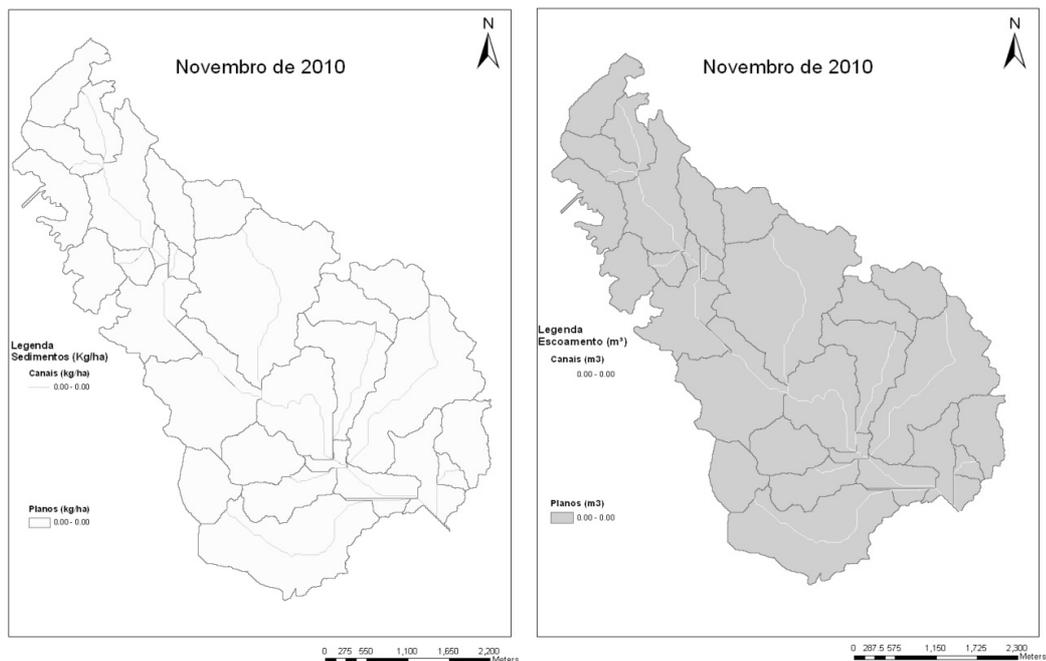
Optou-se analisar os meses de novembro e dezembro de 2010, juntos, por apresentarem tanto produção de sedimentos e escoamento com valores de 0,0 ao longo dos meses.

Os índices pluviométricos dos meses de novembro e dezembro foram de 12,6 e 20,1 mm respectivamente. Sendo assim, o modelo representou bem os parâmetros estudados, já que toda precipitação foi infiltrada, não acarretando em produção de sedimento na bacia.

O escoamento também teve valores 0,0, pois não foi inserido no modelo KINEROS2 o escoamento de base. Sendo assim os resultados das simulações dos parâmetros avaliados nos meses de novembro e dezembro de 2010 foram satisfatórios.

As Figuras 5.38 e 5.39 apresentam os resultados da produção de sedimentos da bacia do rio Jacarecica assim como o escoamento da bacia para os meses de novembro e dezembro, respectivamente.

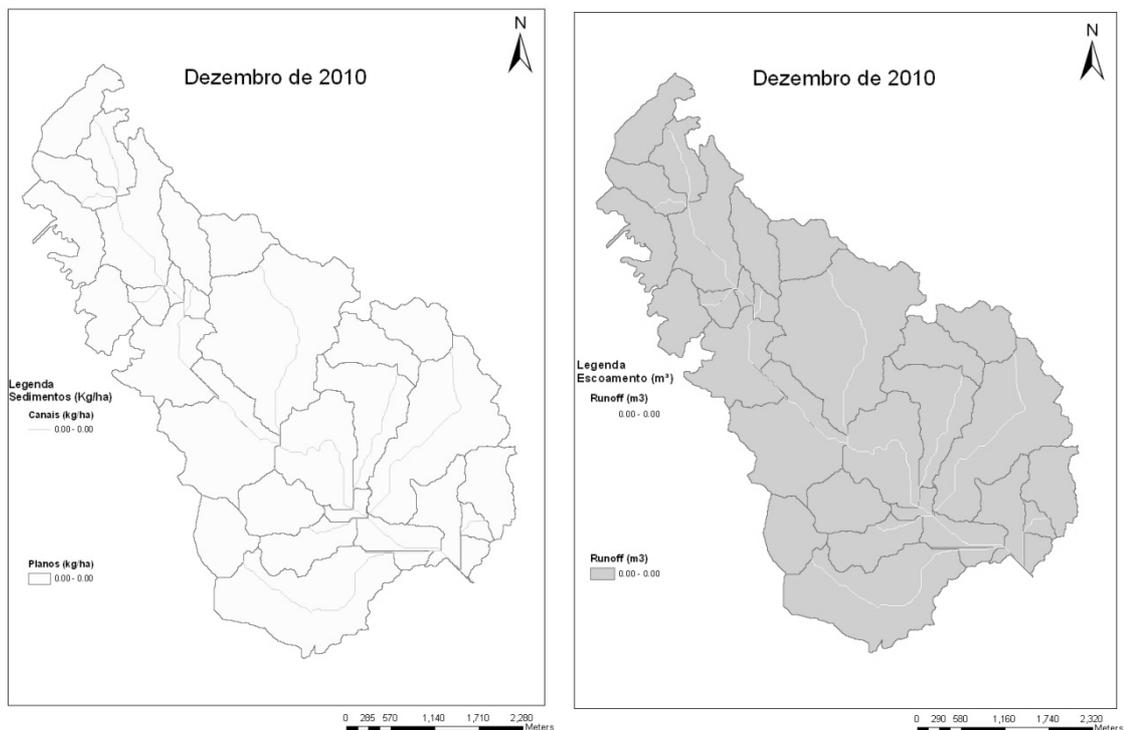
**Figura 5.38** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos e escoamento para o mês de novembro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



Fonte: (Do Autor, 2011).

Melo (2010) concluiu que a utilização do modelo KINEROS2 utilizado através da interface AGWA2, sem calibração dos parâmetros, se mostrou uma alternativa interessante para ser implementada, já que, trata-se de um modelo robusto em uma interface mais simples e com uma entrada de dados prática já que, através dessa interface é possível utilizar informações contidas em dados vetoriais geoespaciais obtidas em base de dados internacionais, porém, as escalas não são muito boas.

**Figura 5.39** – Resultados da modelagem da produção de sedimentos para o mês de dezembro de 2010, na bacia do rio Jacarecica.



**Fonte:** (Do Autor, 2011).

Na bacia do Córrego do Capão Comprido, no DF, Lopes (2010) concluiu que em relação aos resultados obtidos, apesar de não ter havido a calibração do modelo, para alguns eventos os resultados mostraram-se coerentes com os resultados obtidos anteriormente para bacia. Sendo necessária uma adaptação de alguns dados de entrada que represente a realidade da região, além da calibração do modelo para que os resultados do KINEROS2 possam ser utilizados para avaliação quantitativa da região.

Silva & Santos (2008) aplicando o modelo KINEROS aclopado a um SIG, para a bacia do rio Pirapama que tem cerca de 600 km<sup>2</sup>, localizada na zona litorânea do Estado de Pernambuco, estimou que a produção de sedimentos alcançou valores maiores que 200 toneladas por ano.

Sendo assim, podemos estimar que ao longo do ano de 2010 na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL, bacia essa inserida em área urbana, a produção de sedimentos alcançou um total de 130 toneladas, para um total precipitado de 1891,2 mm. Vale salientar que esse total precipitado foi bem acima da média climatológica para o município de Maceió, tendo os meses de janeiro, fevereiro e junho, com a maior produção ao mês.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A influência dos tipos de usos como a urbanização e os solos expostos nos processos de produção de sedimentos ao longo da bacia foi bem evidenciada na escala espaço-temporal para o ano analisado, verificando que os planos com esses tipos de cobertura da terra produzem mais sedimentos ao longo do ano. Já a vegetação, predominante, principalmente na parte baixa da bacia, intercepta tanto o escoamento quanto a produção de sedimentos.

A utilização da ferramenta AGWA2 com a integração do modelo hidrológico KINEROS2 com o ArcGIS mostrou-se de grande auxílio pela automatização dos processos de entrada de dados que permite a modificação de cenários para previsões futuras.

O modelo KINEROS 2, acoplado ao AGWA2, representou razoavelmente a distribuição espacial da produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica, bacia essa de pequena escala espacial, que pode ser útil na identificação de áreas suscetíveis e em processo de erosão.

Um dos planos que mais contribuíram na produção de sedimento foi aquele que recebe o lançamento das águas da bacia do Tabuleiro, através do projeto de Macro Drenagem; entretanto, vale ressaltar que as águas alocadas da bacia do Tabuleiro contém baixa concentração de sedimentos em suspensão. Essa alta taxa de sedimento no plano se dá pelo grande processo erosivo causado principalmente no local de lançamento dessas águas na bacia do rio Jacarecica e pelas ocupações irregulares ao longo das encostas.

A calibração do modelo foi razoavelmente satisfatória tendo em vista que os parâmetros adotados foram observados em bacias de características semelhantes a da bacia do rio Jacarecica.

Como sugestões de ações e trabalhos futuros na bacia do rio Jacarecica, visando não só modelagem do processo chuva-vazão-erosão, tem-se o seguinte:

- Fiscalização pelos órgãos responsáveis para o controle das Áreas de Proteção Permanente (APP), fazendo validar as leis, com a recuperação de áreas degradadas e a implantação de programas de educação ambiental para a sociedade.
- Aquisição de imagens de alta resolução, para uma melhor análise das mudanças dos usos e coberturas do solo ao longo dos anos na bacia do rio Jacarecica, assim como monitoramento da ocupação desordenada ao longo das encostas da bacia.
- Realizar simulações com cenários diferentes de uso e ocupação do solo para verificar a influência dos usos na produção de sedimentos ao longo da bacia.
- Construir uma rede de monitoramento hidrológica e sedimentológica ao longo da bacia do rio Jacarecica, tendo em vista o acompanhamento Quali-Quantitativo dos parâmetros e consequências de eventos de precipitação na bacia.
- Desenvolvimento de novos projetos hidrossedimentológicos ao longo não só da Bacia do rio Jacarecica, como em outras bacias urbanas na cidade de Maceió, visando a otimização da gestão de bacias urbanas.

## REFERÊNCIAS

ALAGOAS. Secretaria de Infra-estrutura de Alagoas. **Adequação do projeto básico de macro drenagem do grande tabuleiro – Maceió/AL**: estudo da calha do riacho Jacarecica: estudos hidrológicos. Maceió, 1998. p.126.

AGRA, S. G.; SILVA JÚNIOR, O. B. **Estudo de impacto ambiental do projeto de macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins**: estudos hidrológicos. 1999. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 1999.

AGRA, S. G.; SILVA JÚNIOR., O. B.; CARVALHO, G. S. Avaliação Hidrológica do projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins – Maceió/AL. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6., 2002, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2002. 1 CD-ROM

ARAÚJO, A. M. Evolução do processo de assoreamento em reservatório urbano. In: \_\_\_\_\_. **Caracterização qualiquantitativa da produção de sedimentos**. Santa Maria: ABRH: UFSM, 2000. p. 365. (Tema 3)

BELLINASSO, T. B. **Monitoramento hidrosedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica urbana de encosta**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

BELLÓ, S. L. **Avaliação do impacto da ocupação urbana sobre as características hidrosedimentométricas de uma pequena bacia hidrográfica de encosta**. 2004. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

BENNETT, J. P. Concepts of mathematical modeling of sediment yield. **Water Resources Research**, v.10, n.3, p. 485-492, 1974.

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. **Hydraulic properties of porous média**. Colorado: State Univ.: Fort Collins. 1964. (Hydrol. paper, n. 3)

BURROUGH, P. A. et al. **Dynamic modelling and geocomputation**. [S.l.]: Geocomputation: John Wiley & Sons, 1998. cap. 9, p. 165-191.

CALIJURI, M. L.; MEIRA, A. D.; PRUSK, F. F. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Cartografia, sensoriamento e geoprocessamento**. Lavras: UFLA: SBEA, 1998. p. 200-225.

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

CANALI, G. E. **Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais**. 1980. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Porto Alegre, 1980. cap.21, p.6-16.

CANIL, K. **Processos erosivos e planejamento urbano**: carta de risco de erosão das áreas urbanas e periurbana do município de Franca. 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia Física e Geografia Humana) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2000.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA, N. P.; SANTOS, P. M. C. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000.

CORRADINI, C.; MELONE, F.; SMITH, R. E. Modeling infiltration during complex rainfall sequences. **Water Resources Research**, v. 30, n. 10, p. 2777-2784, 1994.

DOTTO, C. B. S.; et al. Caracterização dos sedimentos propagados na rede de drenagem em área urbana de Santa Maria-RS. In: I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE. 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2006. v. 1, p. 1-16.

ENGELUND, F.; HANSEN, E. **A monograph on sediment transport in alluvial streams**. Teknisk Vorlag: Copenhagen, 1967. p. 62.

FARIAS, T. R. L. **Produção de sedimentos em bacias hidrográficas sob diferentes contextos geoambientais**: medida e modelagem. 2008. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil : Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

FRAGOSO JÚNIOR, C. R.; BUARQUE, D. C.; SOUZA, R. C. Desenvolvimento de um modelo computacional para cálculo de parâmetros hidráulicos de um curso d'água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba **Anais...** Curitiba, 2003.

GOMES, M; RODRIGUES, R. Modelação hidrológica distribuída: aplicação à bacia do Guadiana. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 4., Lisboa, 1998. **Anais...** Lisboa, 1998.

GREEN R.M. et al. Utilization of the kinematic runoff and erosion model in predicting the effects of vegetation on heavy metal containment in southeast Kansas. In: CONFERENCE ON HAZARDOUS WASTE RESEARCH, St. Louis, 1999. **Proceedings...** 1999.

HARTWIG, M. P. **Modelagem da geração de sedimentos, por meio da MEUPS, na microbacia do Ribeirão dos Marins, em Piracicaba, SP**. 2009. 127 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.

IBGE. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 de set. 2010

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 de jan. 2011

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.

KALIN, L.; GOVINDARAJU, R. S.; HANTUSH, M. M. Effect of geomorphologic resolution on modeling of runoff hydrograph and sedimentograph over small watersheds. **Journal of Hydrology**, v. 276, p. 89-111, 2003.

KEPNER, W. G. et al. Scenario analysis for the San Pedro river, analyzing hydrological consequences of a future environment. **Environmental Monitoring and Assessment**, n. 94, p. 115–127, 2004.

LOPES, W. T. A. **Efeitos de Escala na Modelagem Hidrossedimentológica na Região Semi-Árida da Paraíba**. 2003. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 2003.

LOPES, G. R. **Estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos na bacia do córrego do Capão Comprido, DF**. 2010. p. 123. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília-DF. 2010.( Publicação PTARH.DM–131/2010)

MACEIÓ. Prefeitura Municipal de Maceió. Secretaria Municipal de Controle do Convívio Urbano. Coordenadoria de Geoprocessamento. **Base cartográfica numérica**. Macaió, 1999.

MACHADO R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. Tese (Doutorado em Agronomia: Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

MAEDA, E. E. **Influência das mudanças do uso e cobertura da terra no escoamento superficial e produção de sedimentos na região da Bacia do Alto Rio Xingu**. 2008. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

MELO, A. H. **Integração entre modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: uma avaliação metodológica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

MENDES FILHO, W. M.; VENDRAME I. F.; CARVALHO, R. G. Utilização de sistema de informações geográficas para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos – SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2007. p. 3453-3460.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

MEYER L. D.; WISCHMEYER. **Mathematical simulation of the process of soil erosion by water**, 1969.

MILLER, S. N. et al. The automatéd geospatial: watershed assessment tool. **Environmental Modelling & Software**, v.22, n.3, p. 365-377, 2007.

MORAES, J. M. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 61-70, 2003.

NASCIMENTO, N.O. **Prospecção tecnológica. recurso hídricos**: Anexo II – c - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Belo Horizonte: UFMG, 2003. p. 42.

NEARING, M. A. et al. Sediment yields from unit-source semiarid watersheds at walnut gulch. *Water Resources Research*, v. 43, W06426, 2007.

PAIVA, E. M. C.; PAIVA, J. B. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D.; PARANHOS, R. M. Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais: I n: \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. **Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos**. Santa Maria: ABRH: UFSM, 2001. v.1, p. 35-51.

PAIVA, F. M. L. **Estudo comparativo enter três modelos de base física na modelagem hidrossedimentológica em microbacias na região semi-árida Paraibana**. 2008.175 f. Dissertação de (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008.

PEPLAU, G. R.; CARVALHO, G. S.; CABRAL, J. J. S. P. Ocorrência de cheias urbanas. estudo de caso: a bacia do rio Jacarecica em Maceió/AL. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., São Luís, 2004. **Anais...** São Luis: ABRH, 2004.

PEPLAU, G. R. **Influência da variação da urbanização nas vazões de drenagem da bacia do rio Jacarecica em Maceió/AL**. 2005.144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil ) – Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

PONTES, A. B. **Controle de erosão em áreas urbanas**. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO, 1980, Curitiba. **Anais...** São Paulo: ABGE. Tema 3, p. 37-83. 1980.

RAMOS, C. L. Erosão urbana e produção de sedimentos. In: TUCCI,C.E. M.; PORTO,R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH: Ed. da UFRGS, 1995. cap. 2, p. 241-275.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Conceitos básicos de modelagem hidrológica**. Belo Horizonte, 2003. p. 33.

ROCHA, S. R. A. G. **Simulação do escoamento superficial na bacia de Santana do Ipanema**. 2008. 146 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SADEGHI, S. H.; MIZUYAMA, T.; VANGAH, B. G. Conformity of MUSLE estimatés and erosion plot data for storm-wise sediment yield estimation. **Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences**, v. 18, n. 1, p. 117-128, mar. 2007.

SANTOS, C. A. G. et al. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 92-96, 2000.

SANTOS, L. L. **Modelagem hidrossedimentológica e avaliação comparativa de três modelos em pequenas sub-bacias na região semi-árida paraibana**. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

SANTOS, S. et al. Os sistemas de informação geográfica na modelagem hidrológica. In: CONGRESSO NACIONAL DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, 12., 2006, Granada. **El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas**. Granada, 2006. p. 465-479.

SANTOS, T. T. **Delimitação espacial e simulação hidrossedimentológica na bacia do rio Japarutuba Mirim em Sergipe**. 2010, 83 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe, 2010.

SCAPIN, J. **Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria – RS**. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SILVA, C. R. **Calibração e validação da equação universal de perda de solos modificada (MUSLE) utilizando dados hidrossedimentológicos na bacia do Ribeirão Pípiripau (DF)**. 2010. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.

SILVA, R. M. **Previsão hidrossedimentológica numa bacia periurbana através do acoplamento de modelos climáticos e hidrológicos**, 2005. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de João Pessoa, João Pessoa, 2005.

SILVA, L. P. **Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do rio Cuia**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de João Pessoa, João Pessoa, 2007.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 520–526, 2008.

SMITH, R. E.; PARLANGE, J. Y. A parameter-efficient hydrologic infiltration model. **Water Resources Research**, v. 14, n. 3, p. 533-538, 1978.

SMITH, R. E.; CORRADINI, C.; MELONE, F. Modeling infiltration for multistorm runoff events. **Water Resources Research**, v. 29, n. 1, p. 133-144, 1993.

SOUZA, M. C. B.; FERREIRA, I. V. L.; FREIRE, C. C. As áreas de preservação permanente da bacia do rio Jacarecica sob a ótica da legislação brasileira. SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10., Fortaleza, 2010. **Anais...** Fortaleza, 2010.

SOUZA, J. C. S. **Avaliação da integração rio-aquífero e seus reflexos na qualidade das águas do rio Jacarecica.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: \_\_\_\_\_. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre. Ed. da UFRGS: ABRH: EDUSP, 1993. p.943.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos.** Porto Alegre. Ed. da UFRGS: ABRH, 1998. p.669.

TUCCI, C. E. M. SANCHEZ, J.; SIMÕES LOPES, M. **Modelo matemático precipitação-vazão IPH-II: recursos hídricos.** Porto Alegre: UFRGS, 1983. (Publicação 3. Publicação aperiódica do Instituto de Pesquisas Hidráulicas)

USDA. **Kinematic runoff and erosion model (KINEROS2).** United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service, Southwest Watershed Research Center, 2007. Disponível em: < <http://www.tucson.ars.ag.gov/KINEROS/>>. Acesso em: 21 de jul. 2010

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Seamless distribution data.** 2007. Disponível em: <<http://www.usgs.gov.br>>. Acesso em: 16 de jun. 2010.

WOOLHISER, D. A.; SMITH, R. E.; GIRALDEZ, J. Effects of spatial variability of saturated hydraulic conductivity on hortonian overland flow. **Water Resources Research**, v. 32, n.3, p. 671-678, 1996.

WOOLHISER, D. A.; SMITH, R. E.; GOODRICH, D. C. **KINEROS: a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual.** [S.l.]: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 1990. p. 1-130.