

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE AMBIENTAL
EM BACIA HIDROGRÁFICA URBANA
Estudo de caso - A sub-bacia do Arroio Cadena
Santa Maria – RS**

Dissertação de Mestrado

Cézar Augusto Bastianello Vaz

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE AMBIENTAL
EM BACIA HIDROGRÁFICA URBANA**

Estudo de caso: A sub-bacia do Arroio Cadena – Santa Maria – RS

por

Cézar Augusto Bastianello Vaz

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Geraldo Silveira Lopes

Santa Maria, RS, Brasil

2009

V393d Vaz, César Augusto Bastianello
Diagnóstico da qualidade ambiental em bacia hidrográfica urbana
[manuscrito] : estudo de caso – a sub-bacia do Arroio Cadena – Santa Maria-RS
. / César Augusto Bastianello Vaz -- Santa Maria , 2009.
165 f. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em engenharia
Civil – Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
“Orientação: Prof. Dr. Geraldo Silveira Lopes”.
Inclui anexos e bibliografia.

1. Qualidade Ambiental. 2. Gestão de Recursos Naturais. 3.
Geomática. I. Lopes, Geraldo Silveira. II. Título.

CDU: 628.19

Ficha catalográfica elaborada por:
Lizandra Veleda Arabidian CRB10/1492
Biblioteca Central UFSM

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Cezar Augusto Bastianello Vaz.

A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua João Alves dos Santos, n. 15, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97330-080 Fone
(0xx)55 32239961; End. Eletr: cezaraugusto@santamaria.rs.gov.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE AMBIENTAL
EM BACIA HIDROGRÁFICA URBANA
Estudo de caso: A sub-bacia do Arroio Cadena – Santa Maria – RS**

elaborada por

Cézar Augusto Bastianello Vaz

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

Comissão Examinadora:

**Prof. Geraldo Lopes da Silveira, Dr.
(Presidente/Orientador)**

Prof. Daniel Gustavo Allasia Piccilli, Dr. (UFSM)

Prof. Galileo Adeli Buriol, Dr. (UNIFRA)

Santa Maria, 16 de novembro de 2009.

Dedico este trabalho a:

*Hábaly, minha cara-metade.
Pelo seu Amor, Carinho e Ajuda em todos os
momentos.*

*Meus Queridos Pais Elói e Ilma, Meu
exemplo.
Pela Dedicção, Paciência e Amor.*

*Meus Irmãos Angelina, Jader e Leonardo
Perseverantes na busca de seus ideais.*

Minha família, meus amigos.

Á Deus, por tudo.

Agradecimentos

Ao Professor Dr. Geraldo Lopes da Silveira meu orientador, por sua ajuda, disponibilidade e conselhos em momentos chaves da condução do trabalho, assim como pelas críticas, correções e sugestões relevantes durante a orientação;

À Habaly Vaz pelo incentivo, carinho e cativante maneira que sempre me estimula a crescer científica e pessoalmente;

Ao Contador Jader Bastianello Vaz e ao acadêmico e de Física Leonardo Bastianello Vaz, meus irmãos. Espero que o entusiasmo, seriedade e empenho que dedico ao trabalho lhes possa servir de estímulo para fazerem sempre “mais e melhor”.

A Professora Dra. Jussara Cabral Cruz e ao Professor Rafael Cabral Cruz pelos ensinamentos de gestão e geoprocessamento em recursos hídricos e meio ambiente, e pela disponibilidade dos relatórios do FRAG-RIO, de grande relevância ao estado da arte do trabalho;

Ao Professor Dr. José Américo de Mello Filho e ao Prof. Dr. José Antônio Kümmel Félix pelo incentivo na área de geoprocessamento e pela grande amizade;

Aos professores e colegas do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil em especial ao grupo GERHI pelo convívio, amizade e aprendizado no decorrer destes dois anos;

Ao professor Dr. José Silvério da Silva pelos ensinamentos em Geologia e Pedologia, pela disponibilidade manifestada e prestimoso apoio bibliográfico, o que em muito contribuiu para a dissertação.

Aos colegas da Prefeitura Municipal de Santa Maria pela profissionalidade, amizade e apoio em conhecimentos nas áreas de Engenharia Civil e Arquitetura;

Aos professores Dr. Daniel Gustavo Allasia Piccilli e Dr. Galileo Adeli Buriol, integrantes da banca examinadora de dissertação, pelas análises, críticas e bons conselhos fundamentais ao trabalho;

Aos funcionários do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria e aos professores e ex-colegas do Curso de Engenharia Elétrica, onde tudo começou;

A todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

Não é dourado, gromatã nem surubi
O rio é baixo, não precisa de canoa
Ele só quer um pequeno lambari
Que vê prateando sob os pingos da garoa

Cada galho para ti é um pesqueiro
Para mim, cada pesqueiro é um sofrimento
Com sol e chuva, e o vento frio do pampeiro
Noite e dia levantando acampamento

...Todos te chamam de Martim Pescador
Quando mergulhas afogando tuas mágoas
Porque tu pescas todo dia por aí
E o teu trabalho é só botar o peito n'água...

Bicho homem não pesca de peito aberto
E pega o peixe numa luta desigual
Mas não te assustas, companheiro, o longe é perto
Para quem vai buscar o pão ao natural

Ah, se eu tivesse outro ramo de negócio
E que não fosse o de explorar a Natureza
Não estaria te roubando, velho sócio,
Pra mim é isca o que é pão pra tua mesa

...Todos te chamam de Martim Pescador
Quando mergulhas afogando tuas mágoas
Porque tu pescas todo dia por aí
E o teu trabalho é só botar o peito n'água...

Martin Pescador – Wilson Paim

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE AMBIENTAL EM BACIA HIDROGRÁFICA URBANA

Estudo de caso – A sub-bacia do Arroio Cadena – Santa Maria – RS

Autor: Cézar Augusto Bastianello Vaz
Orientador: Geraldo Silveira Lopes, Dr.
Santa Maria, 16 de novembro de 2009.

Por meio deste trabalho, visamos a refletir sobre o diagnóstico ambiental de uma bacia hidrográfica urbana. A fundamentação teórica foi baseada na técnica de pressão-estado-impacto-resposta (PEIR) para obtenção de índices de qualidade por meio das características físicas, ambientais e socioeconômicas da sub-bacia do Arroio Cadena localizada na cidade de Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul. Esta estrutura tem como filosofia geral analisar problemas ambientais. O estado da arte foi pesquisado com base em 17 indicadores ambientais de temas variados por meio de geoprocessamento aliado a processos de obtenção de feições descritivas da região estudada. A qualificação e quantificação dos indicadores basearam-se na condição que as atividades humanas, produzem Pressões sobre meio ambiente que podem afetar seu estado, o qual, por sua vez, acarreta impactos á sociedade e aos ecossistemas, levando o poder público, as organizações e a população em geral a tomar medidas de respostas sobre o sistema, procurando assim a estabilidade do mesmo. A partir destes indicadores foram gerados escores para cada unidade de bacia hidrográfica, sendo estes indicadores especificados por meio do conhecimento prévio, técnico e especialista para contabilizar os pesos de cada feição de estudo. Na seqüencia foram verificadas as implicações de cada índice sobre a qualidade ambiental formulando-se a “carta de qualidade ambiental” que apresenta uma compilação das feições de estudo por meio da álgebra de mapas além do tratamento do resultado final por krigeagem ordinária que levou a examinar as incertezas incluídas no método proposto. O trabalho final é composto por um banco de dados espacial que pode ser ampliado e rediscutido em diversas esferas do conhecimento científico. Os resultados podem ajudar os tomadores de decisão a entender as conseqüências de suas decisões sobre o meio ambiente, bem como pode ajudar a organizar os processos de tomada de decisão de forma mais acertada e democrática.

Palavras-chave: qualidade ambiental; gestão de recursos naturais; geomática.

ABSTRACT

Master Degree Dissertation
Post-Graduation Program in Civil Engineering
Santa Maria Federal University

DIAGNOSIS OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN URBAN HIDROGRAPHIC BASIN Case study – Arroio Cadena sub-basin - Santa Maria - RS

Author: César Augusto Bastianello Vaz
Adviser: Geraldo Silveira Lopes
Santa Maria, November 16, 2009.

Through this study, we aimed at reflecting upon the environmental diagnosis of an urban hydrographic basin. The theoretical approach has been based on the technique of pressure-state-impact-response (PEIR) in order to obtain quality rates through physical, environmental and socioeconomic characteristics of the Arroio Cadena sub-basin located in Santa Maria, central region of Rio Grande do Sul. This structure has as its general philosophy to analyze environmental problems. The art state was researched based on 17 environmental indicators of varied themes through geoprocessing linked to processes of acquisition of descriptive features from the studied region. The indicators qualification and quantification were based on the condition that the human activities produce pressure upon the environment that can affect its state, which, in turn, brings impact to society and to ecosystem, making the government, organizations and population in general do something towards the system, searching for the stability of it. From these indicators on, scores for each hydrographic basin unit were generated and they were specified through a previous, technical and specialized knowledge in order to write up the weight of each study feature. On the following, the implications of each index on the environmental quality were checked, making out a "letter of environmental quality", which presents a compilation of study features through the algebra of maps, besides the treatment of the final result by inferior "kriking" that led to examine the uncertainties included in the proposed method. The final study is composed by a special database that can be extended and over questioned in several areas of the scientific knowledge. The results can help the decision makers understand the consequences of their decisions upon the environment, as well as they can help organize the processes of decision making in a more correct and democratic way.

Key- words: environmental quality; natural resources management; geomantic

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 2.1 - Relação entre os dados primários de indicadores GOUZEE et al. (1995).....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2.2 - Interconexões do sistema FPEIR.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.3 - Sistema de Apoio à Decisão</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.4 - Equilíbrio entre os indicadores FPEIR</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.1 - Altitude Média Máxima e Mínima em relação ao nível do mar da cidade.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.2 - Localização do município de Santa Maria - Rio Grande do Sul – Brasil.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.3 - Região Hidrográfica Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim (G60). 34</i>	
<i>Figura 3.4 - Recorte da área da bacia onde concentram-se a maioria das vertentes</i>	<i>35</i>
<i>Figura 9 - Serra Geral ao longo do estado e demais elevações serras planaltos e planícies. . 35</i>	
<i>Figura 3.6 - Localização da sub-bacia do Arroio Cadena no município de Santa Maria – RS ..</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3.7 - Representação da sub-bacia do Arroio Cadena em perspectiva (oeste)</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3.8 - Representação da sub-bacia do Arroio Cadena em perspectiva (sul).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3.9 - Recorte e localização da micro bacia da Sanga da Aldeia na sub-bacia</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3.10 - Proteção das margens com pedras soltas e pneus</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3.11 - Recorte e localização da micro bacia do Arroio Cancela na sub-bacia.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.12 - Canalização fechada</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.13 - Recorte e localização da micro bacia da Caturrita na sub-bacia.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.14 - Vista de região do bairro Caturrita.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.15 - Recorte e localização da micro bacia Escola Urbana na sub-bacia.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.16 - Acúmulo de lixo nas margens do Arroio Esperança</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.17 - Recorte e localização da micro bacia dos Quartéis na sub-bacia</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3.18 - Ocupação irregular ao longo do curso de água</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3.19 - Recorte e localização da micro bacia do Bairro Lorenzi na sub-bacia</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.20 - Esgoto encaminhado para os arroios.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.21 - Demonstra o recorte e localização da micro bacia na sub-bacia.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3.22 - Avenida Nossa Senhora das Dores</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3.23 - Recorte e localização da micro bacia do Rosário na sub-bacia</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3.24 - Trecho do rio principal</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3.25 - Recorte e localização da micro bacia na sub-bacia</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.26 - Início das obras de saneamento ao longo da avenida principal do bairro.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4.1 - Índice parcial de pressão.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 4.2 - Índice parcial de estado.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 4.3 - Índice Parcial de Impacto</i>	<i>119</i>
<i>Figura 4.4 - Índice Parcial de Resposta.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 4.5 - Significância dos Indicadores Ambientais da sub-bacia</i>	<i>120</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2.1 - Características essenciais dos indicadores.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 2.2 - Modelos de estrutura de relacionamento de indicadores ambientais.</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 3.1 - Iqa – Índices e indicadores de qualidade Ambiental do Arroio Cadena.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 3.2 - Uso do solo de acordo com dados do cadastro imobiliário municipal.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 3.3 - Dados da cidade de Santa Maria segundo FEE</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 3.4 - População estimada nas micro-bacias.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 3.5 - Pesos para cobertura do solo compilados por ROSS, 1994.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 3.6 - Distribuição de áreas de formações nas micro-bacias.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 3.7 - Classificação das formações da Sub-bacia do Arroio Cadena</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 3.8 - Condutividade Hidráulica K (cm/h)</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 3.9 - Valores típicos do coeficiente de permeabilidade K(cm/h)</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 3.10 - Pesos para as formações - Permeabilidade das formações.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 3.11 - Resistência à erosão, compilada de MACIEL FILHO (1990).</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 3.12 - Classificação das formações da Sub-bacia do Arroio Cadena</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 3.13 - Peso normalizado para Resistência à erosão.</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 3.14 - Classificação das formações da Sub-bacia do Arroio Cadena</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 3.15 - Classificação das formações da Sub-bacia do Arroio Cadena.</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 3.16 - Vulnerabilidade/Estabilidade – Tipos de Solos.</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 3.17 - Tipos, nomenclaturas e tipo de relevo e textura dos solos da sub-bacia</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 3.18 - Áreas por percentual de declividade das micro bacias na área de estudo.</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 3.19 - Valores normalizados para classes de declividade.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 3.20 - Percentual de extensão dos rios de acordo com a ordem de STRAHLER.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabela 3.21 – Rede de Água da sub-bacia de acordo com a bitola as bitolas</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 3.22 - Rede de esgoto da sub-bacia de acordo com a bitola e extensão</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 3.23 - Critérios de Parcelamento do Solo Urbano – LUOS.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 3.24 - Critérios de Parcelamento do Solo Urbano com pesos normalizados.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 4.1 - Índices de qualidade ambiental parciais para o uso do solo.....</i>	<i>97</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAE - Agência do Ambiente Européia
ANPA - Ato Nacional de Política Ambiental
APAT - Agência Italiana de Proteção Ambiental
CNAE - Comissão Nacional de Classificação
CSD - Comissão de Desenvolvimento Sustentável
CUG - Carta das Unidades Geotécnicas
DIS4ME - Sistema Indicador da Desertificação Para o Mediterrâneo e Europa
DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte
DPCSD - Departamento de Coordenação Política e Desenvolvimento Sustentável
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAD - Ferramentas de Apoio à Decisão
FEE - Fundação Estadual de Estatística
FEMA - Fundo Especial do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
FPEIR - Força Pressão Estado Impacto Resposta
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPE - índice parcial de estado
IPI - Índices Parciais de Impacto
IPP - Índice Parcial de Pressão
IPR - Índice Parcial de Resposta
LUOS - Lei de Uso e Ocupação do Solo
MNT - Modelo Numérico do Terreno (MNT)
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODBC – (Open Data Base Connectivity) - Fonte de Dados de Conectividade Aberta
ONU - Organização das Nações Unidas
ONU - Organização das Nações Unidas
PER - Pressão-Estado-Resposta
PNUMA - Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RQMA - Relatório de Qualidade do Meio Ambiente do Município
RSA - Relatório de Situação Ambiental
SEMA - Secretaria do Estado do Meio Ambiente
SGBD - Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIDEM - Sistema de Indicadores de Desertificação para a Europa Mediterrânea
SOVEUR - Seminário sobre Vulnerabilidade na Europa
SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
US-EPA - Agência Proteção Ambiental nos Estados Unidos

LISTA DE MAPAS

<i>MAPA 3.1 - Distribuição das micro-bacias na sub-bacia do Arroio Cadena.</i>	<i>40</i>
<i>MAPA 3.2 - Uso do solo em dots de lotes de Santa Maria no cadastro imobiliário.</i>	<i>54</i>
<i>MAPA 3.3 - Sub-bacia do Arroio Cadena com a malha viária abrangida.....</i>	<i>58</i>
<i>MAPA 3.4 - Cobertura do solo por classificação textural</i>	<i>62</i>
<i>MAPA 3.5 - Geologia – Tipos de Solos</i>	<i>64</i>
<i>MAPA 3.6 - Pedologia com distribuição das unidades pedológicas.....</i>	<i>75</i>
<i>MAPA 3.7 - Modelo Numérico do Terreno (MNT) acrescido dos arroios</i>	<i>77</i>
<i>MAPA 3.8 - Mapa da declividade em modelo contínuo.....</i>	<i>78</i>
<i>MAPA 3.9 - Declividade em percentual relacionada à vegetação e dissecação do relevo.....</i>	<i>82</i>
<i>MAPA 3.10 - Regiões de APPs no entorno de rios e nascentes.....</i>	<i>86</i>
<i>MAPA 3.11 - Áreas de Conservação Natural e Preservação Permanentes</i>	<i>87</i>
<i>MAPA 3.12 - Redes de Água.....</i>	<i>90</i>
<i>MAPA 3.13 - Rede de Esgoto.....</i>	<i>91</i>
<i>MAPA 3.14 - Distribuição das áreas de zoneamento urbanístico urbano da sub-bacia.</i>	<i>95</i>
<i>MAPA 3.15 - Distribuição das áreas de zoneamento e mancha urbana.....</i>	<i>96</i>
<i>MAPA 4.1 - Indicador de Pressão.....</i>	<i>99</i>
<i>MAPA 4.2 - Indicador de Estado.....</i>	<i>103</i>
<i>MAPA 4.3 - Indicador de Impacto</i>	<i>105</i>
<i>MAPA 4.4 - Indicador de resposta.....</i>	<i>108</i>
<i>MAPA 4.5 - Carta de Qualidade Ambiental</i>	<i>123</i>
<i>MAPA 4.6 - Carta de Qualidade Ambiental – Incerteza – Método Vizinho mais Próximo</i>	<i>124</i>

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 – O projeto FRAG-RIO	136
ANEXO 2 - Caracterização da bacia hidrográfica.....	139
ANEXO 3 - Quadro uso e ocupação LUOS – Santa Maria.....	148
ANEXO 4 - Sequência de cálculo de um indicador ambiental.....	149

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Qualidade Ambiental	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Organização do estudo.....	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	O Ambiente Urbano	7
2.2	Metodologias de Análise Ambiental	13
2.3	Sistemas de Apoio à Decisão	14
2.4	Geoprocessamento na Análise Ambiental	16
2.5	A incerteza em dados ambientais	17
2.6	Bacia hidrográfica como unidade de estudo	18
2.7	A expansão urbana desordenada e seu impacto	20
2.8	Os indicadores de Pressão-Estado-Impacto-Resposta	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	Caracterizações da área de estudo	32
3.2	Feições de Pressão	52
3.3	Feições de Estado	59
3.3	Feições de Impacto	76
3.4	Feições de Resposta	88
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	97
4.1	Índices parciais de pressão	97
4.2	Índices parciais de estado	100
4.3	Índices parciais de impacto.....	104
4.4	Índices parciais de resposta	106
4.5	Diagnóstico da qualidade ambiental das micro-bacias.....	111
4.6	Desempenho dos indicadores.....	116
4.7	Carta de Qualidade Ambiental	121
4.8	As incertezas no modelo PEIR.....	122
5	CONCLUSÕES	125
6	REFERÊNCIAS	127
	ANEXO 1 - O projeto FRAG-RIO	136
	ANEXO 2 - Caracterização da bacia hidrográfica	139
	ANEXO 3 - Quadro uso e ocupação LUOS – Santa Maria.....	148
	ANEXO 4 - Sequência de cálculo de um indicador ambiental.....	149

1 INTRODUÇÃO

1.1 Qualidade Ambiental

Qualidade ambiental é um conjunto de propriedades e características do ambiente, generalizada ou local, uma vez que afeta tanto o ser humano como outros organismos desse ambiente. Refere-se a características que dizem respeito tanto ao ambiente natural como o ambiente construído, como a qualidade do ar e qualidade da água ou do nível geral de poluição, características essas que podem ser prejudiciais ao ser humano direta ou indiretamente. Muitas são as definições da qualidade ambiental, algumas delas direcionam a um valor mensurável:

Munn (1979) diz que “é o estado do meio ambiente, como objetivamente percebido, em termos de medição de seus componentes, ou subjetivamente, em termos de atributos tais como beleza e valor”.

Em relação às ações humanas, Horberry (1984):

“É o estado do ar, da água, do solo e dos ecossistemas, em relação aos efeitos da ação humana”.

Segundo seu impacto, Ambiente Brasil (2009):

“Estado das principais variáveis do ambiente que afetam o bem-estar dos organismos, particularmente dos humanos. Termo empregado para caracterizar as condições do ambiente segundo um conjunto de normas e padrões ambientais pré-estabelecidos. A qualidade ambiental é utilizada como valor referencial para o processo de controle ambiental”.

Ou do resultado dos processos dinâmicos ambientais, FEEMA (1997):

“Resultado dos processos dinâmicos e interativos dos elementos do sistema ambiental, define-se como o estado do meio ambiente, numa determinada área ou região, conforme é percebido objetivamente, em função da medição da qualidade de alguns de seus componentes, ou mesmo subjetivamente, em relação a determinados atributos, como a beleza, o conforto, o bem-estar”.

A qualidade ambiental teve seus antecedentes a partir do Relatório de Situação Ambiental (RSA ou SOE *State of the Environment*) foi introduzido nos Estados Unidos por meio da promulgação do ANPA - Ato Nacional de Política

Ambiental ou NEPA (*National Environmental Policy Act*) de 1969. Tornando-se uma atividade de caráter mundial a partir da declaração adotada na Conferência sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972. Inicialmente, o centro das atenções voltava-se para a situação do ambiente biofísico – terra, água doce, florestas e vida silvestre. Porém, as pessoas eram geralmente consideradas como uma ameaça ao meio ambiente. Ao longo dos anos, contudo, o RSA vem se tornando mais integrado e, ao avaliar e relatar as mudanças que ocorrem no meio ambiente, passou a levar em conta as complexas interações entre o homem e o meio. Subsequentemente estabeleceu-se o relatório RSA em todos os níveis – locais, nacionais, sub-regionais, regionais e globais. Várias abordagens foram utilizadas, algumas voltadas a meios, como a terra e a água, algumas a temas setoriais, como agricultura e atividades florestais, outras a questões como degradação de terras e poluição, além de outras que mesclavam todos esses temas. Outros modelos adotados incluíam a pressão-estado-resposta, do inglês: PSR (pressure-state-response) e, posteriormente, a força motriz-pressão-estado-impacto-resposta do inglês: *DPSIR* (*driving force-pressure-state-impact-response*). Com o passar do tempo, buscou-se integrar estes modelos e especializá-los na avaliação e informação ambiental, buscando as relações de causa e efeito entre o homem e o meio ambiente. Sendo assim, esta nova sistemática busca conectar as causas (forças motrizes e pressões) aos efeitos ambientais (estado) e às atividades ou respostas (políticas e decisões) que deram forma ao meio ambiente ao longo das últimas três décadas, bem como aos impactos que tais mudanças exercem atualmente nas pessoas.

As cidades desempenham um importante papel como provedor de emprego, moradia e serviços, do desenvolvimento cultural, educacional e tecnológico, portas de acesso para o resto do mundo, centros industriais de processamento de produtos agrícolas, manufaturados e lugares onde se gera renda. Unchs (2001) considera que:

“há um forte e positivo vínculo entre os níveis nacionais de desenvolvimento humano e os níveis de urbanização. Entretanto, um crescimento urbano acelerado pode implicar no desemprego crescente, na degradação ambiental, na escassez de serviços urbanos, sobrecarga da infra-estrutura existente e falta de acesso a terra, à renda e a moradia adequada”.

O rápido aumento da população urbana mundial, associado ao lento crescimento da população rural, levou a uma significativa redistribuição demográfica ao longo dos últimos trinta anos.

Muitos dos problemas ambientais urbanos surgem como resultado da administração ineficaz, do planejamento deficiente e da ausência de políticas urbanas coerentes, mais do que propriamente do que pelo processo de urbanização em si. Hardoy (2000), Mitlin (2001) e Satterthwaite (2001), demonstram que:

“[...] a busca constante de recursos financeiros, tecnologia ou conhecimentos especializados podem garantir o desenvolvimento ambientalmente sustentável e proteger o meio ambiente. Por exemplo, muitos países em desenvolvimento contam com amplas regulamentações sobre poluição, mas a maioria delas raramente ou nunca é aplicada, pela inexistência de instituições e sistemas jurídicos apropriados, de vontade política e de administração competente. Infelizmente esta afirmação é bastante freqüente, pois as instituições políticas e administrativas têm-se mostrado altamente intransigentes à mudança, particularmente quando a mudança econômica e social é rápida ou leva em conta o meio ambiente”.

Portanto, a busca por elementos estruturadores do conhecimento da qualidade ambiental urbana e de modelos competentes de apoio às tomadas de decisões desponta como um dos maiores desafios do futuro. Considerando-a como um equilíbrio entre elementos da paisagem urbana e de um ordenamento do espaço, conciliando principalmente os benefícios da vegetação com os diversos tipos de usos do solo com base em um planejamento efetivo.

1.2 Objetivos

Este trabalho insere-se na capacidade científica de testar metodologias presentes na bibliografia sobre a qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana. Para tanto, no estudo de caso sobre a sub-bacia do Arroio Cadena a delimitação do tema em relação às inter-relações entre as feições e suas características, preocupou-se em delimitar um tema específico e pesquisá-lo em detalhes, e, ao mesmo tempo, buscou inseri-lo no contexto bibliográfico pertinente. São essa inserção e esse teste que incentivaram ao caso estudado e sua vinculação ao processo de desenvolvimento da pesquisa em Engenharia Ambiental. Nesse tipo

de estudo, a criação exaustiva de informações sobre o estudo de caso e o diálogo com o conhecimento acumulado na bibliografia existente igualam-se em importância.

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana por meio da matriz FORÇA-MOTRIZ_PRESSÃO_ESTADO_IMPACTO_RESPOSTA utilizando indicadores ambientais e tendo como estudo de caso a sub-bacia do Arroio Cadena – Santa Maria - RS.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar a aplicabilidade de método para o estudo da qualidade ambiental em bacias urbanas por meio do uso de indicadores FPEIR(Força Pressão Estado Impacto Resposta);
2. Determinar índices de qualidade ambiental da sub-bacia do Arroio Cadena;
3. Gerar informações de apoio à tomada de decisão a nível de administração pública, como resposta aos problemas do ambiente urbano;
4. Direcionar uma avaliação com vistas ao apoio à tomada de decisão a nível de administração pública sobre as intervenções baseadas em respostas impactantes aos problemas da qualidade ambiental;

1.2.3 Metas

1. Identificar, mapear e organizar indicadores de infra-estrutura, meio ambiente e sócio econômicos da sub-bacia do Arroio Cadena - RS - área base do estudo;
2. Definir e classificar indicadores de pressão-estado-impacto-resposta para compor a análise ambiental do espaço urbano por meio de um sistema de informação geográfica;

3. Subsidiar o apoio à tomada de decisão dos administradores municipais por meio da avaliação dos indicadores ambientais e da validação do modelo proposto.

1.3 Organização do estudo

O presente estudo está dividido em quatro partes. A primeira parte apresenta uma revisão bibliográfica sobre o meio urbano e as suas inter-relações com o meio ambiente natural por meio da análise de vários trabalhos contidos na literatura especializada, seguido de um breve conjunto de interpretações sobre os sistemas de Análise Ambiental e sobre o Geoprocessamento na Análise Ambiental. A seguir faz-se uma analogia sobre o uso da bacia hidrográfica como unidade de estudo. A expansão urbana desordenada e seu impacto sobre as bacias hidrográficas urbanas é o subitem que analisa as expressões antrópicas e sua influência sobre a unidade de estudo.

A apresentação dos fatores de condicionamento da metodologia é captada no estado da arte por meio do subitem “Os indicadores de pressão estado impacto resposta” e fundamentada na sequência por meio dos indicadores de sustentabilidade da qualidade ambiental. Sua obtenção na sequência é abordada por meio da sistemática dos indicadores ambientais e das definições do modelo PEIR, linha temática da apresentação da dissertação. A quantificação dos indicadores é demonstrada ao final do capítulo em Índices quantitativos para diagnóstico dos indicadores de qualidade ambiental

O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos do trabalho. Começa com a caracterização da área de estudo, sua localização na cidade de Santa Maria. A sub-bacia do Arroio Cadena é definida por meio de suas micro-bacias e são apresentados os indicadores de qualidade ambiental da mesma. Os indicadores de Pressão são definidos e analisados por meio do uso do solo, população e sistema viário. Os indicadores de Estado em cobertura do solo, geologia, pedologia. Os indicadores de Impacto são apresentados pelas áreas de risco, áreas de conservação natural e áreas de preservação permanente. Os Indicadores de Resposta pelas redes de Saneamento e pela legislação territorial. Todos estes indicadores são explanados por meio de mapas ilustrados e tabelas.

O capítulo 4 apresenta os resultados e discussões do trabalho. Começa com uma síntese dos Indicadores ambientais do modelo PEIR seguido de um diagnóstico ambiental ao nível de micro-bacias. Na sequência apresenta a Carta de Qualidade Ambiental da sub-bacia do Arroio Cadena. Por fim no capítulo final são apresentadas as conclusões recomendações e referências do trabalho, bem como dos anexos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Ambiente Urbano

A qualidade do ambiente urbano torna-se um dos aspectos mais importantes para a determinação da qualidade de vida da população. Sob o ponto de vista social, o aumento da conscientização de que problemas ambientais podem afetar a saúde da população. Associado ao crescimento da urbanização cria-se a necessidade de avaliar a qualidade ambiental das áreas urbanas. Este crescimento trouxe consigo vários problemas. Para compreendê-los é necessário relacionar o meio natural e o meio antrópico e buscar-se um equilíbrio. Guerra e Cunha (2001) corroboram:

“Esta avaliação vem convergir na busca pela sustentabilidade ambiental urbana, embora a realidade brasileira venha dificultar este processo frente aos descasos e improvisações institucionais”.

Conforme Nucci (2001 apud WIENS,2007) há ainda poucos trabalhos e escassas opções metodológicas, principalmente no Brasil, para se analisar a qualidade do ambiente nas cidades.

O marco inicial para a incorporação da questão ambiental no debate sobre o desenvolvimento das nações aconteceu com a primeira Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente Humano realizada em Estocolmo no ano de 1972. Para Feldman (1997):

“Essa conferência chamou a atenção das nações para o fato de que a ação humana estava causando séria degradação da natureza e criando severos riscos para o bem estar e para a própria sobrevivência humana”.

Feldman (1997) complementa:

“Este evento foi a primeira iniciativa global visando identificar os impactos da ação do homem sobre o meio ambiente, bem como propor a adoção de um modelo de desenvolvimento que respeitasse a capacidade de renovação dos ecossistemas em substituição ao modelo fundamentado apenas no crescimento econômico”.

Ao longo dos anos, o termo foi evoluindo com diversos focos e conceituações; no entanto, ainda se considera o desenvolvimento sustentável uma idéia em formação e não um conceito plenamente elaborado. A definição constante do

Relatório de Brundtland é a mais conhecida e relata que “desenvolvimento sustentável:

[...] é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades”. Atualmente, a preocupação é mais ampla e se estende a própria sobrevivência do planeta(MCCARTHY, 2004).

Pronk e UI Haq (1992 apud BELLEN, 2007) salientam o papel do crescimento econômico para a sustentabilidade:

“... o desenvolvimento é sustentável quando o crescimento econômico traz justiça e oportunidades para todos os seres humanos do planeta, sem privilégio de algumas espécies, sem destruir os recursos naturais e sem ultrapassar a capacidade de carga do sistema”.

Bellen (2007) argumenta que:

“O fator quantificador da qualidade ambiental e a forma mais eficiente na atualidade denominam-se “indicadores de qualidade ambiental”.

Wiens(2007), Rauli(2007) e Silva (2007) conceituam o termo indicador como originário do Latim *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar, como exemplo:

“[...] uma descida de pressão de um barômetro pode indicar a aproximação de uma tempestade”.

Para McQueen e Noak (1988):

“Um indicador é uma medida que resume informações relevantes de um fenômeno particular ou um substituto desta medida”.

Wiens(2007), Rauli(2007) e Silva (2007) referem:

“Os indicadores podem comunicar ou informar acerca do progresso em direção a uma determinada meta. O desenvolvimento ambiental sustentável é uma delas, mas também podem ser entendidos como um recurso que deixa mais perceptível uma tendência ou fenômeno que não seja imediatamente detectável”.

Para Gonçalves et al. (2000 apud WIENS e SILVA, 2007), indicadores são parâmetros selecionados e considerados isoladamente ou combinados entre si, sendo de especial pertinência para refletir determinadas condições dos sistemas em

análise (normalmente são utilizados com pré-tratamento, isto é, são efetuados tratamentos aos dados originais, tais como médias aritméticas simples, percentis, medianas, entre outros). Para o mesmo autor, índice corresponde a um nível superior de agregação, onde, depois de aplicado um método de agregação aos indicadores ou aos sub-índices obtém-se um valor final. Os métodos de agregação podem ser aritméticos do tipo linear, geométrico, mínimo, máximo e aditivo ou ainda heurísticos que envolvem regras de decisão que não asseguram as melhores soluções, mas somente soluções aproximadas em que freqüentemente não é possível justificar em termos estritamente lógicos a validade do resultado.

Os algoritmos heurísticos são normalmente preferidos para aplicações de difícil quantificação, enquanto os restantes são direcionados para parâmetros facilmente quantificáveis e comparáveis com padrões.

A figura 2.1 representa a relação entre os dados primários de indicadores segundo Gouzee et al.(1995), e citado por Gonçalves,(2000). Nesta configuração os dados primários representam a base da pirâmide. À medida que ocorre a especialização dos dados primários por meio de sua análise, ocorre o que se pode chamar de apropriação do conhecimento útil destes dados. Na seqüência, em um patamar superior apresentam-se os indicadores ou norteadores da análise, culminando assim com os índices de explanação que podem ser definitivos ou ainda sofrer uma retro-alimentação, com vistas a especializar ainda mais os degraus inferiores da pirâmide.



Figura 2.1 - Relação entre os dados primários de indicadores Segundo GOUZEE et al. (1995)

Os índices podem reduzir em muito a amplitude da realidade representada pelo conjunto de indicadores, mas têm, por outro lado, o mérito de gerar uma nova informação, de fácil assimilação pela comunidade, tornando-se assim um instrumento de informação, comunicação e reivindicação política.

Segundo Wiens (2006):

“O índice é o chamativo, com a função de criar interesse para um melhor conhecimento do fenômeno, o que poderia ser feito por meio da leitura dos relatórios referentes à construção do índice”.

Assim como a qualidade ambiental, os indicadores também devem ser dinâmicos. Afinal, o mundo está sempre mudando. Portanto, o retrato de uma sociedade ambientalmente sustentável também é dinâmico.

Bell (2003) e Morse (2003) definem indicadores como sendo:

“Uma ferramenta excelente para quem visa um objetivo comum. Quando projetados corretamente, podem prevenir uma comunidade sobre um problema potencial ou uma tendência negativa antes que seus efeitos se tornem irreversíveis. Sobretudo, podem simplificar e seguir detalhadamente o progresso de uma comunidade para seus objetivos”.

Podem ser descritos como elementos de síntese:

“Um indicador permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade, podendo sintetizar um conjunto complexo de informações e servir como um instrumento de previsão” (WIENS et al., 2006).

A necessidade de desenvolver indicadores ambientalmente sustentáveis está expressa na Agenda 21 (2001) em seus capítulos 8 e 40. A Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CSD), criada para colocar a sustentabilidade em prática e adotar os princípios da Agenda 21, adotou um programa de cinco anos para criar instrumentos apropriados para os tomadores de decisão no nível nacional. Um dos aspectos levantados pela CSD foi a necessidade de criar padrões que sirvam de referência para medir o progresso da sociedade em direção a um futuro sustentável. Para isso foram criadas estratégias para a consolidação das ações propostas. Em 2001, a CSD publicou por meio do programa Sistema de Indicadores de Desertificação para a Europa Mediterrânea (SIDEM) os resultados obtidos no decorrer dos cinco anos do seu programa de trabalho, em que o conhecimento das ciências físicas e sociais sobre desenvolvimento sustentável, foi traduzido em

indicadores concretos de desenvolvimento sustentável. Durante este período, desenvolveram uma lista de trabalho com 134 indicadores potenciais, testados em 22 países diferentes, mas por fim acabaram por identificar uma lista curta de 58 indicadores centrais. Recomendaram que estes fossem utilizados a nível mundial, como uma base comum para a monitoração e descrição do desenvolvimento sustentável. Esta experiência tem sido um valiosíssimo ponto de partida. O formato padronizado de descrever os indicadores tem sido o adotado pela APAT (Agência Italiana de Proteção Ambiental e a partir de 2008, pelo DIS4ME (*Desertification Indicator System for Mediterranean Europe*), em relação aos indicadores de desertificação.

A adoção de indicadores visa agregar a informação de caráter técnico e científico para transmiti-la de forma sintética, preservando o essencial dos dados originais e utilizando apenas as variáveis que melhor servem aos objetivos e não todas as que podem ser medidas ou analisadas. A informação é assim mais facilmente compreendida por parte de gestores, políticos, grupos de interesse e público em geral. Utilizando-se indicadores ou índices, tal como quando se emprega um parâmetro estatístico, se ganha em clareza e operacionalidade. Os indicadores e os índices são projetados, basicamente, para simplificar a informação sobre fenômenos complexos de modo a melhorar a comunicação.

Os indicadores têm sido estruturados em modelos, desenvolvidos a partir da década de 1980, que os organizam em categorias que se inter-relacionam, quais sejam, Pressão, Estado, Impacto e Resposta.

A estrutura denominada Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) ou, em inglês, DPSIR (*Driving force-Pressure-State-Impact-Response*), tem por filosofia geral dirigir a analisar problemas ambientais. Considera que as atividades humanas são as **Forças Motrizes** que produzem **Pressões** no meio ambiente que podem afetar seu **Estado**, o qual, por sua vez, poderá acarretar **Impactos** ao homem e aos ecossistemas, levando à sociedade emitir **Respostas** por meio de medidas, as quais podem ser direcionadas a qualquer compartimento do sistema. Isto é, a resposta pode ser direcionada para a força Motriz, para a Pressão, para o Estado ou para os Impactos, na figura 2.2 estão representadas as interconexões deste sistema. A figura representa uma série de interconexões que podem ser comparadas as leis de ação e reação de Newton expressa em termos de impacto e resposta. Ao termo, são levadas em consideração a percepção da força

motriz, da pressão e do estado como meios de análise entre os agentes antrópicos suas ações sobre o meio e em segunda estância o estado que este meio se apresentará a partir desta ação. Esta visão de inter-relações é a representação qualitativa que o modelo PEIR apresenta como solução de investigação à complexa tarefa de diagnosticar a qualidade ambiental de uma região.

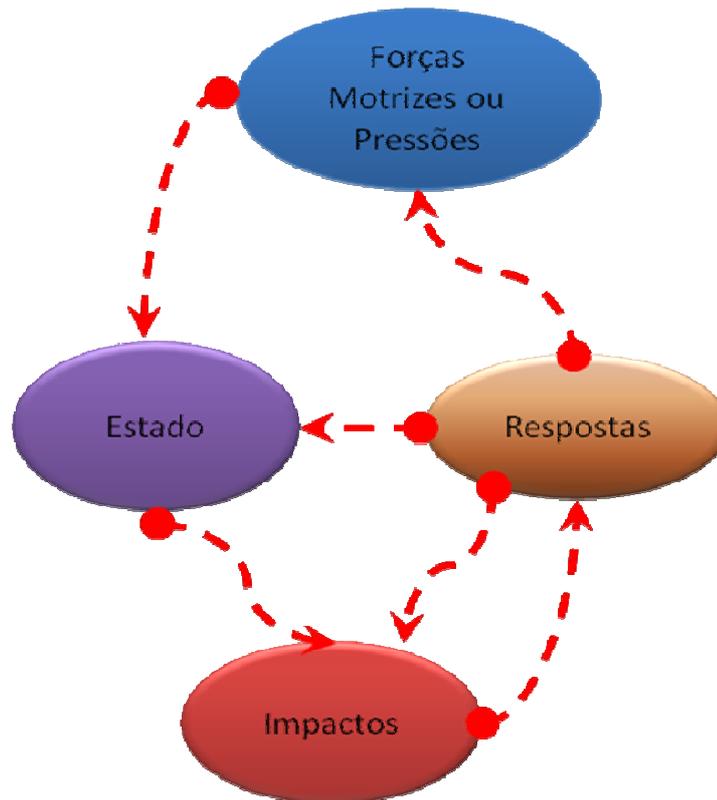


Figura 2.2 - Interconexões do sistema FPEIR

A partir das interações entre os indicadores do sistema FPEIR podem ser feitas proposições extremamente úteis ao planejamento e a tomada de decisões, e este é o diferencial que representa o modelo:

“A valorização dos indicadores no modelo FPEIR durante a implementação de políticas públicas decorre justamente de sua aplicabilidade à sinalização do desenvolvimento, em todas as suas facetas, como o crescimento econômico, o bem-estar humano e a qualidade ambiental” (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007).

2.2 Metodologias de Análise Ambiental

Uma gama de trabalhos sobre o tema qualidade ambiental surgiram a partir da década de 90. Sachs (1997) apresentou o conceito sobre a forma de cinco dimensões: social, econômica, ecológica, geográfica e cultural. Portanto, além de um processo dinâmico, o conceito também envolve várias dimensões. E, para facilitar a compreensão desta sustentabilidade, há a necessidade de desenvolver ferramentas que procurem mensurar a sustentabilidade.

Dahl (1997) afirma que o maior desafio dos indicadores é fornecer um retrato da situação de sustentabilidade, de uma maneira simples, apesar da incerteza e da complexidade. O autor ainda ressalta as diferenças entre os países em questões como a diversidade cultural e os diferentes graus de desenvolvimento como importantes fatores na construção dos indicadores.

Osório Filho et al, (2003), utilizou-se de quatro micro bacias hidrográficas distribuídas no Estado do Rio Grande do Sul, a fim de avaliar seus indicadores de qualidade sócio-ambiental. Os atributos físicos avaliados foram a distribuição granulométrica, a densidade do solo, a porosidade, a estabilidade de agregados, a resistência à penetração e a condutividade hidráulica no campo e em laboratório.

Braga (2003) utilizou um sistema de índices de sustentabilidade municipal composto por quatro índices temáticos: qualidade do sistema ambiental local; qualidade de vida humana; pressão antrópica; capacidade política e institucional. Combinados, os quatro índices buscaram mensurar a sustentabilidade municipal. Segundo sua autora os índices mostraram ser factíveis a construção de um sistema coerente e coeso partindo de dados produzidos em diferentes escalas, coletados em diferentes períodos e diversos em cobertura e atualização.

O projeto FRAG-RIO (2009), desenvolvido na região do Alto Uruguai, dedica-se a Avaliação Ambiental Integrada de Bacias Hidrográficas por meio da análise integrada de uma bacia hidrográfica à luz de uma abordagem metodológica que permite hierarquizar trechos de rios e de bacias com base em análises de fragilidades ambientais (ou favorabilidades), referentes ao potencial de fragmentação do rio. Os indicadores do foram selecionados a partir de informações básicas georreferenciadas solos, drenagem, geologia, entre outros, a fim de obter, com o uso de técnicas de geoprocessamento, mapas resultantes que servem para classificar os locais em uma escala que varia de “apropriado” (pouco frágil) a “não

apropriado” (muito frágil) para implantação de barramento. O Anexo 1 apresenta uma compilação do projeto FRAG-RIO sob a forma da obtenção e direcionamento da análise ambiental integrada, modelo que se assemelha ao diagnóstico da qualidade ambiental devido ao seu caráter de avaliação das fragilidades ambientais em apoio à gestão ambiental e às tomadas de decisão dos administradores públicos.

O projeto GEO-Cidade (2003) da prefeitura de São Paulo vem desenvolvendo desde 2003, com apoio técnico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) um sistema operacional de indicadores ambientais. O trabalho corresponde, ainda, ao Diagnóstico Ambiental do Município de São Paulo, cuja elaboração atende à perspectiva apontada na lei municipal que determina a emissão anual do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente do Município (RQMA).

A sistematização e atualização permanente desses indicadores constituem referência básica para o estabelecimento de metas e prioridades em ações voltadas para a melhoria das condições ambientais no território municipal. As ações priorizadas tendem a orientar a aplicação de recursos do Fundo Especial do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (FEMA), criado por lei e cuja regulamentação prevê o uso de indicadores ambientais.

2.3 Sistemas de Apoio à Decisão

O conceito de Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), ou DSS (*Decision Support Systems*), está relacionado com um ambiente complexo, projetado para fornecer subsídios que a gerencie tome decisões.

Segundo Pearson e Shim (1994) os primeiros Sistemas de Apoio a Decisão surgiram nos anos 60 e 70, para dar suporte aos gerentes na solução de problemas não estruturados. Estes SAD pioneiros eram muitos caros, de usos muito específicos e difíceis de operar.

Para Fazlollahi (1997) os SAD têm sido beneficiados pelo avanço na tecnologia de software e hardware.

A maioria dos conceitos enunciados sobre SAD os coloca como sistema de informação que apóiam qualquer processo de tomada de decisão nos níveis tático, estratégico e operacional. Isto não é suficiente, pois qualquer sistema de informação pode ser útil ao nível gerencial e, nem por isso, todo sistema de informação será um sistema de apoio à decisão.

A diferença reside no fato de os Sistemas de Apoio à Decisão não só fornecem informações para tomada de decisões, mas também contribuem e influenciam o processo. Um SAD deve fornecer e analisar alternativas, pesquisar históricos de decisões tomadas e auxiliar a resolução de problemas estruturados.

É formado pelos seguintes componentes:

1. Banco de Dados (BD): podem ser vistos como coleções de dados inter-relacionados.
2. Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD): é uma coleção de programas que permitem aos usuários definir, construir e manipular Banco de Dados para as mais diversas finalidades.
3. Aplicativos com características gerenciais (AGs): São aplicativos com funções gerenciais de análise acrescidas.
4. Ferramentas de Apoio à Decisão (FAD): São softwares desenvolvidos para apresentar graficamente as informações, auxiliando a simulação de situações, fornecendo capacidade de análise, ou descobrindo conhecimento.
5. Um sistema de Apoio à Tomada de Decisão pode ser representado pela figura 2.3.

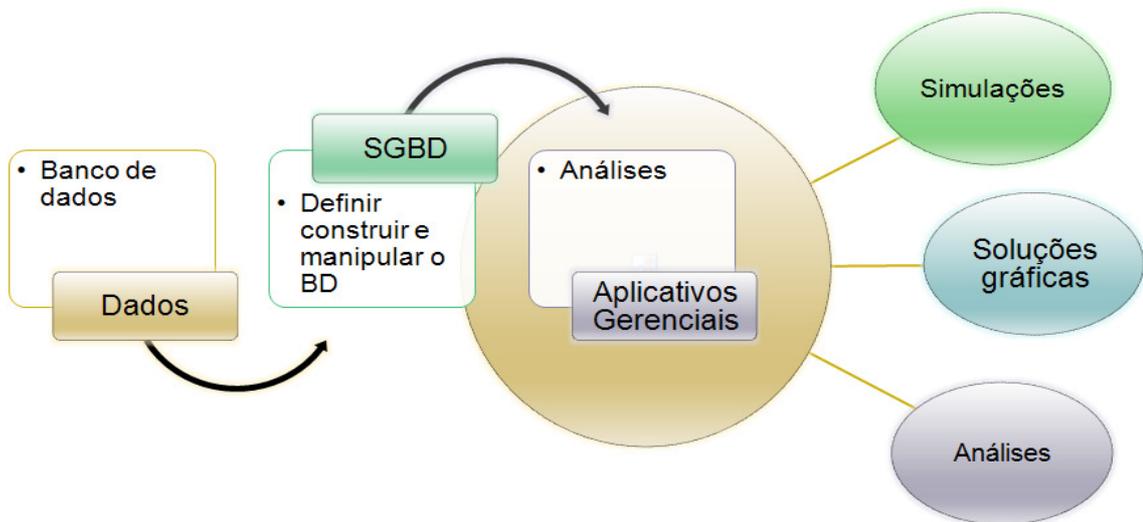


Figura 2.3 - Sistema de Apoio à Decisão

2.4 Geoprocessamento na Análise Ambiental

Todo plano de ações que vise aos objetivos da política ambiental, planejamento e gestão ambiental ou todo estudo de impacto ao qual o ambiente está susceptível requer o conhecimento das características físicas, biológicas e antrópicas do meio.

Segundo Silveira e Cruz (2005):

“Os estudos preliminares buscam levantar informações multidisciplinares para a região de estudo, de modo a embasar diagnóstico, de forma imediata e ágil, a partir dos dados disponíveis. São informações que fornecem um panorama socioeconômico e ambiental da região e que permitem inventariar setores do conhecimento com maior e menor carência de dados”.

Para o efetivo conhecimento das características do meio há a necessidade de uma base de referência prévia que possa considerar as possibilidades e cenários de ocupação frente às disponibilidades ambientais decorrentes de restrições legais ou mesmo ambientais e que não possuam essas qualidades restritivas quanto ao uso de informações num processo de tomada de decisão vinculado a uma “política pública.

Segundo Câmara (2000) o geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico, e dentre estas tecnologias o Sistema de Informação Geográfica (SIG) abrange a utilização de informações espaciais (gráficas) e de banco de dados (tabelas e relatórios).

De acordo com Roger e Gumuchdjian (2001):

“As cidades são umas adaptações entre os direitos particulares e as responsabilidades públicas, nada melhor então que utilizar os sistemas SIG na efetivação e no fazer cumprir destes direitos e deveres”.

Segundo Vaz (2007), A aplicação do geoprocessamento possibilita um sistema de logística da coleta dos dados, que contenha todas as informações necessárias, para que o processo seja o menos oneroso e mais ágil possível, mantendo-se sempre como prioridade a confiabilidade dos dados.

O conceito de diagnóstico, enfatizado no título do trabalho, necessita ser posicionado em relação ao termo qualidade ambiental. O diagnóstico é o produto da análise efetuada sobre uma ou várias situações, refletindo o conjunto de condições

positivas e negativas prevalecentes em um ambiente. É, portanto, composto a partir da análise de situações ambientais, conseqüentemente, sendo uma síntese, não deve ser confundido com suas partes componentes. É com base em um diagnóstico bem construído que podem ser feitas prognoses, base para a proposição das partições territoriais que constituem os afamados e, às vezes, mal concebidos, zoneamentos ambientais, para os quais é primordial a consideração das características geomorfológicas do ambiente.

2.5 A incerteza em dados ambientais

Segundo Samson et al (2009):

“O conceito de incerteza nas ciências é intrinsecamente ligado ao domínio das disciplinas, assumindo, portanto, diferentes significados. Nos estudos espaciais, a incerteza implica em uma imprecisão quantificável de um ponto estimado”.

Ferson et al (1996) discute a existência de dois tipos principais de incerteza, fundamentalmente diferentes entre si. A primeira, a incerteza epistêmica, resulta do conhecimento incompleto sobre o sistema e está relacionado à nossa habilidade em entender, medir e descrever o sistema sob investigação. Esta fonte de incerteza pode, a princípio, ser reduzida pelo crescimento no conhecimento sobre o sistema, através do estudo suficiente e do conhecimento dos especialistas. A segunda forma, a incerteza aleatória, é derivada da variabilidade subjacente aos sistemas estocásticos ao longo do espaço e do tempo, é inerente ao comportamento natural e imprevisível do sistema:

A variabilidade espacial, a dimensionalidade do dado e a complexidade da hierarquia da estrutura dos objetos estão crescendo rapidamente, e conseqüentemente, aumentam as incertezas (KLIMESOVÁ, 2008).

Pang (2001) coloca algumas formas pelas quais a incerteza pode ser representada:

1. A representação da incerteza como um dado à parte, por exemplo, em um mapa;

Existe a incorporação da informação da incerteza na visualização pelo mapeamento de transparências, sombras. O método mais tradicional de reamostragem chama-se vizinho mais próximo, que usa o nível de cinza mais

próximo ao resultado do mapeamento inverso. Vizinho mais próximo: este método atribui o valor do ponto mais próximo para cada elemento gráfico. Muito eficiente se os pontos estão espaçados regularmente e precisam ser convertidos em arquivos de malha regular. Mostra-se útil para o preenchimento de lacunas nos dados.

2.6 Bacia hidrográfica como unidade de estudo

A necessidade de promover a recuperação ambiental e a manutenção de recursos naturais escassos como a água, fez com que, a partir da década de 70, o conceito de bacia hidrográfica passasse a ser difundido e consolidado no mundo. Para enfrentar problemas como poluição, escassez e conflitos pelo uso da água, foi preciso reconhecer a bacia hidrográfica como um sistema ecológico, que abrange todos os organismos que funcionam em conjunto numa dada área e entender como os recursos naturais estão interligados e são dependentes. Por exemplo, quando o curso de um rio é alterado para levar esgotos para longe de uma determinada área, acaba por poluir outra. Da mesma forma, a impermeabilização do solo em uma região provoca o escoamento de águas para outra, que passa a sofrer com enchentes.

Tornou-se necessário reconhecer uma unidade de estudo na dinâmica das águas e os limites geográficos para trabalhar o equilíbrio ecológico. Esta é a bacia hidrográfica, ou seja, o espaço territorial determinado e definido pelo escoamento, drenagem e influência da água, do ciclo hidrológico na superfície da Terra e não as divisões políticas definidas pela sociedade como municípios, estados e países, que não comportam a dinâmica da natureza.

Desde que o homem passou viver em sociedades organizadas e reconheceu a importância de controlar a disponibilidade de água potável, surgiram as primeiras tentativas da humanidade de modificar o ambiente natural. O desenvolvimento de atividades como a agricultura e a urbanização sempre estiveram ligadas ao controle da água. Civilizações do antigo Egito, da China, Índia e Mesopotâmia eram chamadas de civilizações hidráulicas. A ascensão e queda desses povos estão intimamente ligadas aos usos e abusos da água. O mesmo acontece com a nossa sociedade. Todo desenvolvimento de regiões urbanizadas e rurais é definido de acordo com a disponibilidade das águas doces, sua quantidade e qualidade. Portanto, a sociedade como um todo deve promover o desenvolvimento sustentável

e o intercâmbio entre regiões com interesses comuns, ou entre as que brigam pelo direito de utilizar a água para determinado fim.

Segundo Faustino (1996), a bacia hidrográfica é uma unidade geográfica compreendida entre divisores de água. Ou ainda, bacia hidrográfica é um espaço de terreno limitado pelas partes mais altas de montanhas, morros ou ladeiras, onde existe um sistema de drenagem superficial que concentra suas águas em um rio principal o qual está ligado ao mar, a um lago ou a outro rio maior.

Segundo Faustino (1996), o grau de concentração da rede de drenagem uma bacia pode ser diferenciada em relação ao seu tamanho em:

1. Sub-bacia: toda área com drenagem direta ao curso principal da bacia, várias sub-bacias formam uma bacia sua área é caracterizada entre 100 km² e 700 km².
2. Microbacia: toda área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, várias microbacias formam uma sub-bacia sua área é menor que 100 km².

Por meio da Hidrogeodinâmica Souza (2000) e Fernandes (2000), caracterizam como:

1. Zona de recarga: locais de relevo suave com solos profundos e permeáveis. São áreas situadas em topos de morros e chapadas, fundamentais para o abastecimento dos lençóis freáticos;
2. Zona de erosão: situada imediatamente abaixo da área de recarga, neste local o escoamento superficial tende a predominar sobre o processo de infiltração, e;
3. Zona de sedimentação - várzea: planícies fluviais, que constituem a zona de deposição nas bacias hidrográficas.

Para efeitos operacionais Souza (2000) e Fernandes (2000) consideram:

1. Bacia hidrográfica estadual: quando a sua rede de drenagem (nascente – foz) está inserida dentro do território do Estado;
2. Bacia hidrográfica municipal: quando a sua rede de drenagem (nascente – foz) está inserida dentro do território do município.

Segundo Faustino (1996) estas classificações podem ser alteradas de acordo com a complexidade, detalhes requeridos, importância, densidade populacional e atividade econômica da bacia hidrográfica.

Para efeito do estudo a área será tratada como sub-bacia, devido à complexidade dos dados de avaliação e à divisão em micro-bacias.

2.7 A expansão urbana desordenada e seu impacto

Muitos trabalhos da comunidade científica têm analisado a problemática da ocupação urbana desordenada. Muitos deles avaliando como o espaço geográfico vem sofrendo intensos estágios exploratórios, uma dinâmica que surge com as primeiras ocupações, até o aprimoramento das grandes áreas urbanas, hoje presentes em todo o mundo. É o resultado direto da ampliação da ocupação do espaço e da exploração dos recursos naturais com as atividades sociais agrícolas e se desenvolve temporalmente até o surgimento da cidade.

Para Santos (2002):

“A natureza sempre foi o celeiro do homem, ainda quando este se encontrava na sua fase pré-social. Mas para que o animal homem se torne social, é indispensável que ele também se torne o centro da natureza”.

Segundo Almeida (1993):

“A ocupação do espaço urbano é revelado pelo valor da terra, principal componente avaliador e determinante da sua apropriação”.

Carlos e Lemos (2003) expõem que:

“É possível avaliar esta situação em qualquer cidade do mundo. Isto é um reflexo direto também da evolução econômica da sociedade, sendo que esse descompasso apresenta-se sob a forma de problemas ambientais, quando, de fato resulta da forma como a sociedade se organiza sob o industrialismo, compreendido em dimensão econômica, cultural e ideológica”.

Além da expropriação do uso do espaço em favor dos interesses econômicos, a degradação ambiental é o reflexo direto deste processo, existindo ainda, uma desvalorização da paisagem natural, e uma valorização de paisagens artificiais, que surgem com o objetivo de intensificar a especulação imobiliária.

Para Ab' Saber (2003):

“Mais do que simples espaços territoriais, os povos herdaram paisagens e ecologias, pelas quais certamente são responsáveis. Desde os mais altos escalões do governo e da administração até o mais simples cidadão, todos

têm uma parcela de responsabilidade permanente, no sentido da utilização não predatória dessa herança única que é a paisagem terrestre. Para tanto, há que conhecer melhor as limitações de uso específicas de cada tipo de espaço e de paisagem. Há que procurar obter indicações mais racionais, para preservação do equilíbrio fisiográfico e ecológico”.

Segundo Carvalho e Braga (2001):

“[...] inúmeros problemas ambientais são causados quando se ocupa áreas de preservação, e isto ocorre devido à desvalorização da área, sendo que muitas vezes estas ocupações são ilegais”. Não obstante, em contrapartida, existe um desestímulo por parte da administração pública em promover um sistema que traga melhores resultados e de qualidade na administração, manutenção e preservação do espaço. Entretanto, a preservação e a utilização do espaço, mediante planos coerentes e coletivos no sentido de que a administração do espaço deve englobar todas as camadas sociais devem ser promovidas pela administração pública. E esta deve facilitar e incentivar a participação da sociedade organizada, que deve exercer um papel de maior representatividade, e até mesmo de maior interesse, para a melhor utilização possível do espaço, e não sua exploração desmedida como vem acontecendo”.

Para Santos (1998):

“[...] Enquanto isso, o discurso novo do planejamento, novo mas só em aparência, porque carente de um conteúdo realmente novo, vale-se de acentos retóricos, como, por exemplo, a fastidiosa alusão à participação, coisa que, por falta de definição, não se pode reconhecer, e por falta de uma vontade política, não pode ser definida ou implementada”.

A utilização do espaço conduzida por uma diretriz econômica, assim como tem acontecido, gera além de danos ambientais, uma segregação social, favorecendo as parcelas de maior poder econômico e político de utilizar as melhores áreas do espaço geográfico, e condenando parcelas sociais menos favorecidas economicamente a se utilizar, muitas vezes, de áreas impróprias para ocupação humana.

Ocorre também uma contradição política e administrativa, pois estas áreas impróprias, para se tornarem apropriadas à ocupação, devem ser regularizadas de forma a não causar sérios danos ambientais, são as que carecem de maiores recursos econômicos:

“São as camadas mais humildes que sofrem mais diretamente as consequências negativas das aglomerações urbanas” (RIBEIRO, 2003).

Esta é, portanto, uma preocupação crescente dentro do planejamento urbano adequado:

“A história do Planejamento Territorial nada mais é do que a das mudanças do homem com relação ao seu abrigo, aos seus meios de vida e ao tempo por ele empregado em recreio e repouso” (BIRKHOLZ, et al 1983).

Ainda:

“A alteração da paisagem natural, devido às mudanças na organização do trabalho e os ciclos históricos que conduzem à economia, promoveram a destruição do conjunto fisiográfico de forma muito acelerada, gerando inúmeros impactos ambientais; visto que, estes impactos já foram constatados em muitos estudos anteriores, até mesmo na área observada, que já sofria um intenso estágio exploratório nos anos 40 do século XX, com o objetivo de se ampliar às fronteiras agrícolas, agravando posteriormente os problemas ambientais causados por este desflorestamento” (MAACK, 1981).

2.8 Os indicadores de Pressão-Estado-Impacto-Resposta

“Os indicadores de qualidade ambiental da matriz PEIR tratam-se de um sistema originado da matriz pressão-estado-resposta - PER, desenvolvida pela OCDE em 1993. A proposta da matriz PER era fornecer mecanismos para o monitoramento do progresso ambiental para os países que fazem parte da instituição, com grande importância internacional” (BELLEN, 2007).

Em 1995, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) aprimorou o modelo PER, acrescentando o elemento Impacto (que reflete os efeitos do estado do meio ambiente) e formulando a matriz PEIR.

Januzzi (2001) formulou a montagem de indicadores em etapas, a primeira etapa corresponde à definição do conceito abstrato que se pretende analisar. A partir disso, passa-se à especificação de suas dimensões e formas de interpretação, tornando possível de ser indicado de forma quantitativa. O próximo passo consiste em buscar estatísticas públicas, vindas de censos, pesquisas amostrais e a pesquisa de campo. Por fim, as estatísticas disponíveis são computadas e combinadas aos indicadores, traduzindo o conceito abstrato em termos quantitativos.

“[...] desta forma são capazes de contribuir à percepção dos progressos alcançados e despertar a consciência da população” (Plano Estadual de Recursos Hídrico PERH, 2005).

Segundo Miranda et al (2002), os indicadores de sustentabilidade começaram a ser desenvolvidos a partir dos anos 1980, de acordo com a definição de

desenvolvimento sustentável existente no relatório Bruntland¹. Apesar de recente, sua utilização a nível global e nacional vem crescendo. Atualmente inúmeros organismos governamentais, não-governamentais, institutos de pesquisa e universidades fazem uso de indicadores ambientais.

Magalhães (2007), afirma que em nível mundial podem-se citar órgãos que fazem uso destes indicadores, entre outros, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o governo francês. Cada um baseado nas informações mais relevantes ao direcionamento de seu estudo, porém com uma realidade de discernimento entre o que são indicadores em zonas urbanas e rurais.

A partir das concepções de Magalhães Junior (2007):

“[...]deve-se levar em conta que ao formularem-se as cadeias de indicadores de um ecossistema, por analogia aos sistemas ecológicos naturais em relação aos urbanos, o sistema urbano é incompleto. A explicação é que o fluxo de energia e matéria característico de todo ecossistema e que mantém a sua autonomia é mono direcional em uma cidade. A cidade é apenas um local de consumo, estando os centros produtores situados fora do seu território”.

Os elementos que vem das áreas produtoras não têm retorno, acumulando-se nestas, na forma de poluentes, excesso de energia, geração de entropia. Do ponto de vista termodinâmico, a cidade é um sistema em permanente desequilíbrio.

Os indicadores devem conter determinadas características desejáveis ao seu desempenho para elaborar uma carta de qualidade ambiental através de indicadores que possam representar os vários segmentos que constituem a paisagem urbana, com isso torna-se possível uma análise espacializada para contribuir nas discussões de qualidade ambiental e, conseqüentemente da qualidade de vida da população, conciliando com possíveis propostas de ordenamento do espaço urbano considerando os elementos físicos deste.

A representação de cada atributo e o respectivo cruzamento destes elaborados através de um SIG deve possuir como funções o processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e, consulta a bancos de dados espaciais. A aplicação de um SIG para a geração da carta de qualidade

¹ Elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, o Relatório Bruntland aponta para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo, trazendo a necessidade de uma nova relação “ser humano-meio ambiente”, e a conciliação com as questões ambientais e sociais.

ambiental facilita a representação e a diferenciação das características de cada atributo.

Na Tabela 2.1 encontram-se algumas características essenciais que devem estar presentes entre os indicadores de acordo com os trabalhos de Correa (2008), Teixeira (2008), PERH (2005), Miranda (2002), Teixeira (2002), Januzzi (2001), Marzall (2008) e Almeida (2008):

Tabela 2.1 - Características essenciais dos indicadores

Características dos indicadores	Descrição
Comparabilidade nas escalas temporal e local:	Os indicadores devem possuir uma padronização para possíveis comparações entre diferentes realidades temporais e espaciais.
Preditividade	Trata-se da habilidade em fornecer informações de advertências e antecipar condições e tendências. Avisando assim antes que os problemas se tornem de difícil solução.
Fácil compreensão	Os indicadores devem ser facilmente compreensíveis para análises por todos os interessados (pesquisadores e população em geral)
Relevância	Os indicadores devem ser pertinentes a descrição do fenômeno monitorado. Sua produção e utilização precisam ser significativas à sociedade.
Sensibilidade	Este critério diz respeito a sua capacidade em reproduzir as mudanças do fenômeno estudado se as condições forem alteradas. Está intimamente ligada a validade e a transparência do indicador.
Periodicidade	É necessário que as informações sejam levantadas e processadas regularmente, para acompanhamento e comparação das mudanças ocorridas e avaliação do efeito dos programas implementados.
Confiabilidade	Refere-se ao emprego de dados e informações de qualidade obtidos em fontes confiáveis. As medidas mais confiáveis dizem respeito às realizadas pelas agências públicas, pois são coletadas de forma padronizadas, por profissionais qualificados e relativamente estáveis. Garante que as transformações observadas a partir do indicador no decorrer do tempo sejam confiáveis para análises e tomada de decisões.
Mensurabilidade	É necessário que os indicadores sejam passíveis de medição, facilitando sua análise.
Acessibilidade e obtenção dos dados	Diz respeito a facilidade na determinação dos dados e informações, de modo a estarem disponíveis ou que possam ser reunidos rapidamente, sempre que necessário.
Permitir enfoque integrado	Necessitam se relacionar com outros indicadores, de modo a permitir a análise dessas relações.
Transparência	A metodologia adotada tanto para sua determinação quanto para sua leitura e interpretação deve ser clara e objetiva para os observadores.
Definição de metas	Caracteriza-se em permitir o estabelecimento de metas a serem alcançadas.
Capacidade de síntese	Característica que indica a qualidade de transmitir rapidamente uma informação, permitindo acesso aos detalhes, se necessário.
Validade	O indicador deve ser capaz de refletir o conceito abstrato a que o indicador se propõe a medir. Esta característica diz respeito à proximidade existente entre o indicador e o fenômeno monitorado.

A sistemática de preparação dos dados brutos para realização dos trabalhos seguiu as metodologias expostas por Correa (2008), Teixeira (2008), PERH (2005), Miranda (2002), Teixeira (2002), Januzzi (2001), Marzall (2008) e Almeida (2008).

Em relação à comparabilidade de escalas, foi obtida por uma sequência de procedimentos de interações entre os mapas georreferenciados direcionando a uma padronização em níveis de importância dos indicadores.

A preditividade foi usada no sentido de averiguar as condições da qualidade ambiental a partir das condições presentes, visando a mitigação do impacto de interferências futuras dentro da área de estudo.

A compreensão dos dados de análise foi direcionada por meio de indicadores inerentes à qualidade ambiental.

A relevância do trabalho está intimamente ligada à representação em escala de detalhe da soma de esforços em enriquecer o estado da arte na área de saneamento ambiental representada pela utilização da multidisciplinaridade dos indicadores e do aproveitamento do conhecimento adquirido em trabalhos anteriores sobre os temas inerentes à pesquisa.

A sensibilidade é centrada em uma dinâmica de estudo baseada na espacialidade das feições, buscando a primazia no teor dos dados e a possibilidade de reavaliação à medida que o sistema sofra mudanças.

A periodicidade requer uma conscientização do poder público e das forças vivas responsáveis pela área de tomada de decisão para unir esforços em manter a atenção ao diagnóstico provindo dos indicadores. Esta condição foi retratada sob a forma do direcionamento ao apoio na tomada de decisões da municipalidade.

A confiabilidade está intimamente ligada à meta de usar fontes consolidadas de trabalhos científicos, bem como na avaliação dos dados brutos utilizados no estudo de caso.

A acessibilidade e obtenção dos dados e a necessidade de permitir enfoque integrado foi concebida de modo a ter acesso simples em plataformas compatíveis aos sistemas SIG do mercado, bem como aos sistemas de banco de dados em Fonte de Dados de Conectividade Aberta do inglês, *Open Data Base Connectivity ODBC*².

² Open Data Base Connectivity - são Fontes de dados Conectividade aberta de banco de dados para acessar dados de uma variedade de sistemas de gerenciamento de banco de dados. Por exemplo, possuindo-se um programa que acessa dados em um banco de dados SQL, o ODBC ou

Segundo Lira (2008) os modelos de análise da qualidade ambiental podem ser expostos pela Tabela 2.2.

O primeiro modelo PER foi desenvolvido pela Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD) em 1998, para o estudo de indicadores ambientais globais. Baseia-se no conceito de causalidade: as atividades humanas exercem pressão sobre o ambiente alterando a qualidade e a quantidade de recursos naturais, ou seja, alterando o seu estado. A sociedade responde a essas mudanças mediante políticas ambientais, econômicas ou setoriais. Embora esse modelo possa sugerir uma interação linear entre atividades e ambiente, deve-se considerar que tais relações são complexas. A partir dele são especificados três tipos de indicadores ambientais:

1. Indicadores da pressão ambiental descrevem as pressões das atividades humanas sobre o ambiente, incluindo a quantidade e qualidade dos recursos naturais;
2. Indicadores das condições ambientais ou de estado referem-se à qualidade do ambiente e à quantidade e qualidade dos recursos naturais. Eles devem fornecer uma visão da situação do ambiente e sua evolução no tempo, não das pressões sobre ele;
3. Indicadores das respostas sociais - são medidas que mostram a resposta da sociedade às mudanças ambientais, podendo estar relacionadas à prevenção dos efeitos negativos da ação do homem sobre o ambiente, à paralisação ou reversão de danos causados ao meio, e à preservação e conservação da natureza e dos recursos naturais.

A Agência do Ambiente Européia (AAE) ou do inglês, *European Environment Agency (EEA)* ampliou o número de indicadores através da metodologia FPEIR. Nesta metodologia os indicadores de pressão se referem aos fenômenos que causam os problemas urbano-ambientais. Estes por sua vez, irão refletir a condição quantitativa e qualitativa em que o meio ambiente se encontra, constituindo os indicadores de estado. Os indicadores de impacto mostram os efeitos do estado do meio ambiente. Os projetos, ações políticas e programas ambientais promovidos por governos locais, sociedade civil e organizações não governamentais correspondem aos indicadores de resposta.

Em uma proposta de desenvolvimento de indicadores para o monitoramento do desenvolvimento sustentável de países mediante a implementação da Agenda

21, o Departamento de Coordenação Política e Desenvolvimento Sustentável (DPCSD) da Divisão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável propôs a classificação dos indicadores segundo o modelo Força Motriz-Estado-Resposta ou FER, adaptado do modelo Pressão-Estado-Resposta. O termo força motriz, na visão do DPCSD seria mais apropriado para reunir indicadores econômicos, sociais e institucionais. Nesse caso, os indicadores das forças motrizes descrevem as atividades humanas, processos e padrões de impacto sobre o desenvolvimento sustentável.

Em 2002, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) ampliou o modelo PER, incluindo novamente o indicador Impacto e aglutinando a força motriz ao indicador pressão, por entender que as pressões são exercidas pelo fator antrópico, formulando a matriz PEIR.

Em 2008 a Agência Proteção Ambiental nos Estados Unidos (*US-EPA - Environmental Protection Agency*) criou uma variação dos modelos incluindo o indicador efeito. Segundo este método as forças motrizes geradas por processos de desenvolvimento, resultam em pressões associadas ao uso intensivo de determinados recursos naturais, que contribuem para a geração de situações ou estados (ambiente contaminado ou deteriorado) que, caso ocorra exposição humana, podem causar efeitos na saúde.

Tabela 2.2 - Modelos de estrutura de relacionamento de indicadores ambientais.

Estruturas	MODELO				
	PER	FPEIR	FER	PEIR	PERE
Indicadores		Força	Força		
	Pressão	Pressão		Pressão	Pressão
	Estado	Estado	Estado	Estado	Estado
		Impacto		Impacto	
	Resposta	Resposta	Resposta	Resposta	Resposta
					Efeito
Fonte	Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento OCED (1998)	Agência do Ambiente Européia AMAE (1999)	Departamento de Coordenação Política e Desenvolvimento Sustentável DPCSD (2001)	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente PNUMA (2002)	Agência de Proteção Ambiental US-EPA

Fonte: Indicadores para o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos (documento para discussão em seminários CRHi/SMA e CBHs – abril/2008)

O modelo utilizado neste trabalho foi o de Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR) e refere-se à metodologia e conceitos de PNUMA (2002).

A concepção deste trabalho utiliza o conhecimento agregado de uma região que passa a ser analisada por meio da avaliação ambiental distribuída, com uma análise desintegrada dos impactos por meio de feições de estudo, sendo denominada “modelo PEIR”. Como apresentado anteriormente, a Força motriz (Drive) é representada pelas atividades humanas. Estas produzem Pressões no meio ambiente que podem afetar seu Estado, o qual, por sua vez, poderá acarretar Impactos na saúde humana e nos ecossistemas, levando à sociedade emitir Respostas por meio de medidas, as quais podem ser direcionadas a qualquer compartimento do sistema. Isto é, a resposta pode ser direcionada para a Força-Motriz, para Pressão, para o Estado ou para os Impactos, destes direcionamentos surgem os efeitos sobre o sistema.

Na **Pressão** (*Pressure*), os indicadores se referem aos fenômenos que causam os problemas urbano-ambientais, na Matriz FPEIR representam atributos que caracterizam as variáveis prejudiciais à qualidade ambiental. Nessa metodologia, os indicadores de pressão representam as atividades humanas como os transportes, as atividades industriais e de serviços, consideradas as pressões indiretas sobre o ambiente. Além das causas indiretas, os indicadores de pressão representam também as causas diretas que se expressam no uso dos recursos naturais como os padrões de consumo, a geração de resíduos e a poluição. Como resultado dessas pressões, o ambiente sofre algum tipo de alteração no seu estado, e essas alterações se refletem na qualidade ambiental e na qualidade e quantidade dos recursos naturais e de vida da população.

O **Estado** (*State*) em resposta a essas pressões é freqüentemente alterado. Essas mudanças alteram a freqüência ou a magnitude dos riscos naturais, a disponibilidade e qualidade dos recursos como a fertilidade do solo e a biodiversidade e os níveis da poluição ambiental. Além disso, essas alterações no estado do ambiente podem operar em diferentes escalas geográficas. Muitas mudanças são intensas e localizadas e geralmente concentradas em determinadas fontes de pressão como perda de habitats, poluição do ar urbano e contaminação das fontes locais de água. Muitas outras são mais dispersas, contribuindo para as mudanças ambientais regionais e globais como a desertificação e as mudanças climáticas.

Os **impactos** (*Impacts*) das alterações ambientais sobre as condições de vida e saúde das populações é um dos temas mais discutidos na atualidade, seja no âmbito científico, político e da própria sociedade civil.

Os indicadores de **resposta** (*Response*) por sua vez, mostram a extensão e a intensidade das reações da sociedade em responder às mudanças e às preocupações ambientais; referem-se à atividade individual e coletiva para mitigar, adaptar ou prevenir os impactos negativos induzidos pelas atividades humanas.

Segundo Bellen (2005) e OECD (2003):

“Indicadores de respostas sociais são o montante financeiro para enfrentar os problemas ambientais, mercados que comercializam os serviços e bens ambientais de forma responsável ambientalmente, tecnologias limpas para diminuição dos níveis de poluição ou o que está sendo feito para a melhoria global”.

A figura 2.4 representa a ação reação envolvida. Os pesos maiores significam os efeitos negativos e os menores as conseqüências destes efeitos baseados na avaliação do equilíbrio entre os indicadores.

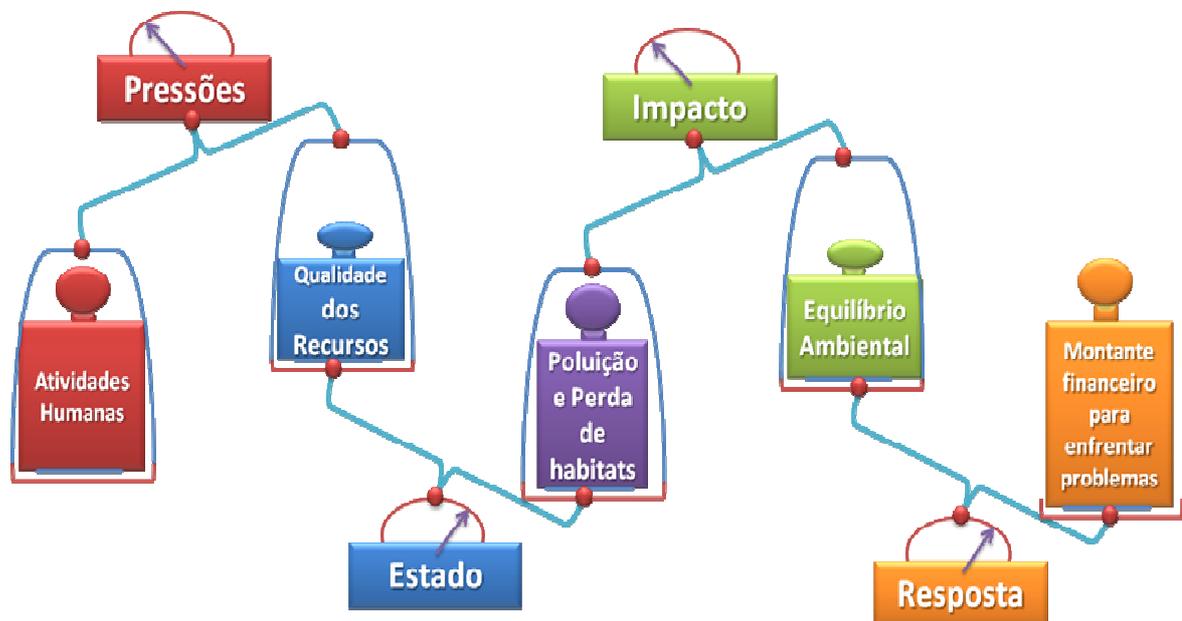


Figura 2.4 - Equilíbrio entre os indicadores FPEIR

Baseado em Lima (1990) e nas proposições do Anexo 1 – FRAG-RIO, Os valores tabelados de análise devem sofrer um processo de normalização de forma que a Norma de avaliação (V_n) represente o índice de naturalidade, tendo representatividade numa escala que varie de 0 a 1.

$$V_n = \frac{(I_m - I_{\min})}{I_{\max} - I_{\min}} \quad \text{Eq. 2.1}$$

Sendo V_n a norma de avaliação, I_m o valor do indicador de medida, I_{\min} o valor do indicador mínimo, I_{\max} o valor do indicador máximo.

Os valores de 0 a 1 representam, respectivamente, o pior e o melhor ponto de vista da qualidade ambiental, independente das medidas absolutas que serão usadas para cada indicador.

Os índices de pressão, estado impacto e resposta são obtidos para diferentes funções, aplicando-se a equação:

$$I_{pn} = \frac{\sum^i V_i \cdot W_i}{n} \quad \text{Eq. 2.2}$$

Sendo I_{pn} é o Índice de naturalidade, V_i a Norma de valor de indicadores individuais, W_i o peso do indicador e n o número de indicadores.

Segundo a necessidade e complexidade dos ambientes, permite-se o uso de pesos diferentes para os componentes individuais de cada índice. Deve-se destacar a dificuldade em atribuir pesos para componentes individuais. Newman (1982) propôs várias aproximações, reservando sempre certa margem para subjetividade. Ainda na fase de normalização foi usada a condição de Lima (2007), que ressalta em certos casos, que os índices podem apresentar uma relação inversa. Assim, a correção dos valores dá-se mediante a seguinte forma:

$$I_{ri} = 1 - \text{valor calculado} \quad \text{Eq. 2.3}$$

Sendo I_{ri} o índice de relação inversa.

Os índices ficam corrigidos e as áreas de maior qualidade ambiental passam a ter os valores mais próximos a 1.

Sendo assim quando o valor máximo do intervalo ($I_{máx}$) corresponder à melhor situação do grau naturalidade, tem-se que: $V_n = 1$. Quando o valor máximo do intervalo ($I_{máx}$) corresponder a pior situação da qualidade ambiental, tem-se que: $V_n = 0$.

Os índices de pressão, estado, impacto e resposta são obtidos para cada função por meio da média ponderada final dos indicadores parciais.

Embora pesos iguais sejam considerados para índices de pressão, estado e resposta, podem, também, segundo Lima (2007) ser usados pesos diferentes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterizações da área de estudo

3.1.1 A cidade de Santa Maria

A cidade de Santa Maria está localizada na porção centro oeste do estado do Rio Grande do Sul entre a Serra Geral e a planície que forma a chamada depressão central. Possui área de 1.779,56 km². Conforme a figura 3.1 do Google Earth, sua altitude média está cotada em torno de 113 m do nível do mar, sendo sua máxima medida no distrito de Arroio Grande e a mínima na localidade de Arroio do Sol. Sua área sede está a aproximadamente 292 km da capital Porto Alegre.



Figura 3.1 - Altitude Média Máxima e Mínima em relação ao nível do mar da cidade de Santa Maria

Segundo Berger (2001), a cidade por sua posição geográfica, possui um regime climático caracterizado por apresentar quatro estações do ano bem definidas (primavera, verão, outono e inverno), além de uma distribuição igualitária de chuvas durante todo o ano. Apresenta um clima subtropical e, de acordo com a classificação

de KÖPPEN, 1986, pode ser enquadrado como temperado chuvoso e quente, do tipo Cfa, onde as temperaturas máximas e mínimas absolutas oscilam, no verão, até 30°C e, no inverno, ficam inferiores à 5°C e são comuns, as geadas no período de junho a agosto. Sua precipitação pluviométrica de 1.700 mm (média).

A população do município de Santa Maria, segundo levantamento demográfico realizado em 2005, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é de 256.394 habitantes. Destes, 245.482 (95,74%) residem na área urbana, que possui área de 122 km², e 10.912 (4,26%) residem na área rural do município. Sua densidade demográfica está em torno de 154 hab./km². Seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,845, considerado elevado, segundo a PNUD/2000 (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento)³. Seu PIB é de 2.358.076 mil de acordo com dados do IBGE, 2005. O fuso horário é o UTC-3. As coordenadas de localização do município são de 29°24'00"S, 54°17'49"O e 29°59'39"S, 53°17'40"O. Na figura 3.2 está demonstrada a localização do município no estado do Rio Grande do Sul – Brasil.

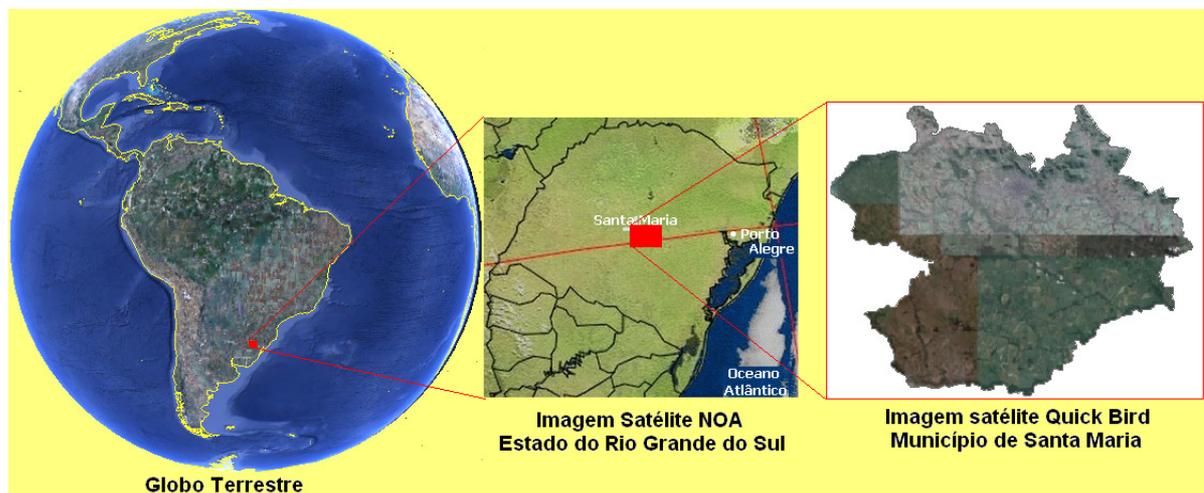


Figura 3.2 - Localização do município de Santa Maria - Estado do Rio Grande do Sul – Brasil.

³ Órgão da Organização das Nações Unidas da **ONU** que tem por mandato promover o desenvolvimento e eliminar a pobreza no mundo.

3.1.2 A sub-bacia do Arroio Cadena

O estudo abrange área da sub-bacia do Arroio Cadena, localizada em área urbanizada na sede do município de Santa Maria. A bacia do Arroio Cadena será caracterizada neste estudo como sub-bacia.

Segundo a Secretaria do Estado do Meio Ambiente (SEMA) a sub-bacia pertence à Região Hidrográfica do Guaíba e à Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim (G60), figura 3.3.

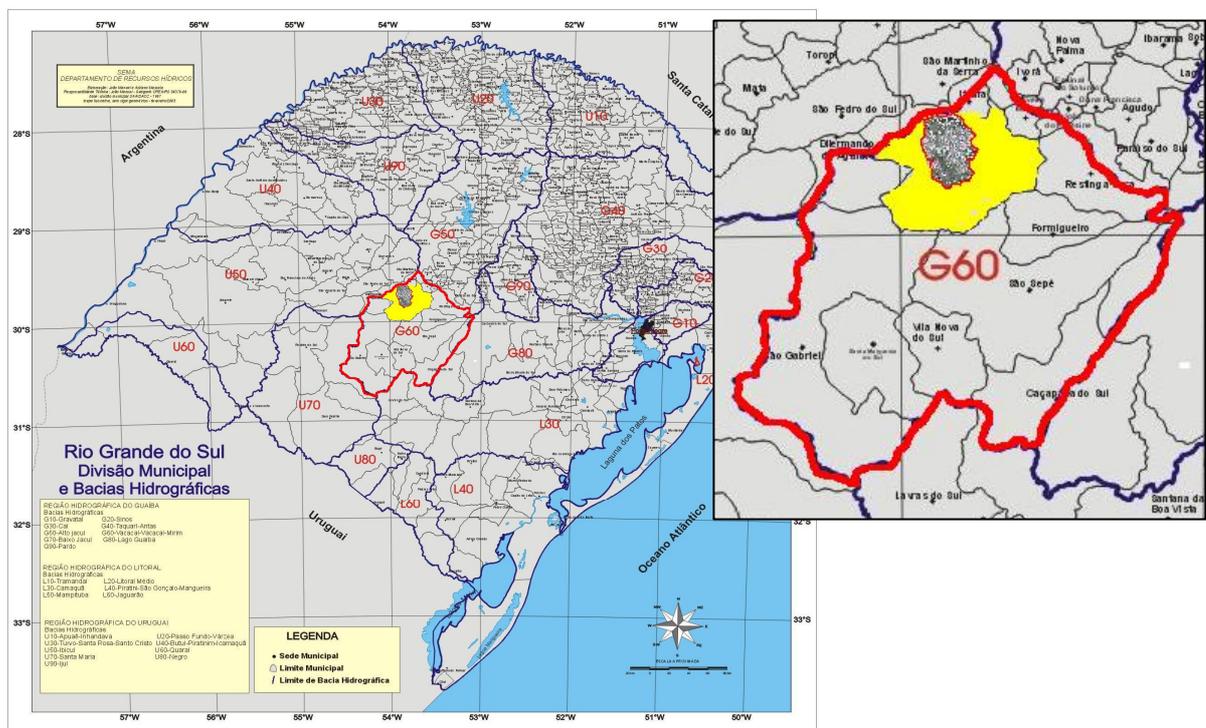


Figura 3.3 - Região Hidrográfica do Guaíba e à Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim (G60).

A sub-bacia apresenta inúmeras nascentes na região de Rebordo do Planalto, que caracterizam as elevações da Serra Geral, percorrendo seu curso ao longo da Depressão Central, a figura 3.4 demonstra um recorte da área da bacia onde concentram-se a maioria das vertentes.

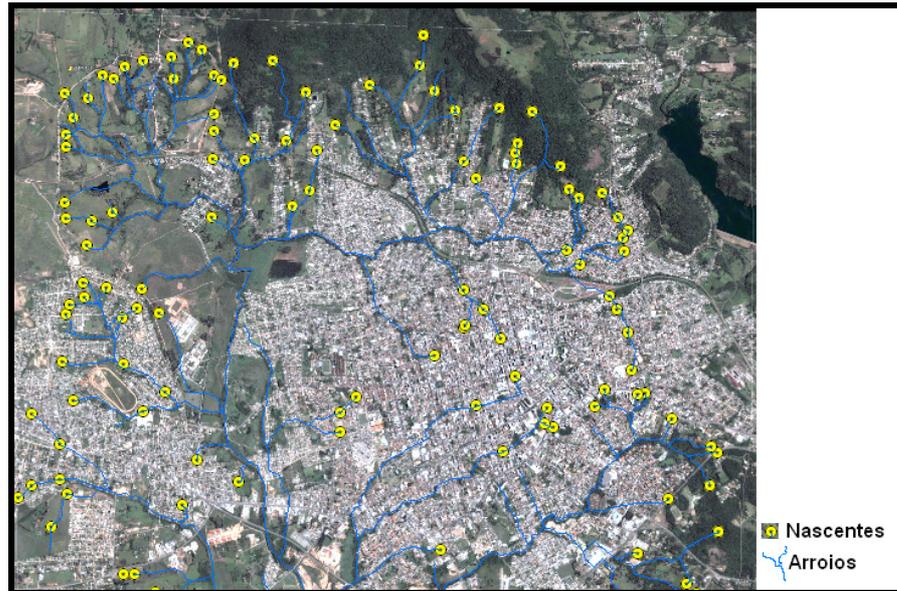


Figura 3.4 - Recorte da área da bacia onde concentram-se a maioria das vertentes

A figura 3.5 destaca a Serra Geral ao longo do estado, bem como as demais elevações e a classificação da altitude na forma de serras planaltos e planícies.



Figura 5 - Serra Geral ao longo do estado e demais elevações com a classificação da altitude na forma de serras planaltos e planícies.

A vegetação ciliar aparece principalmente nos tributários de primeira e segunda ordem, embora, devido à crescente ampliação da área de ocupação urbana, apresenta uma sensível diminuição.

A ocupação humana nesta região está caracterizada por uma ampla urbanização, principalmente no entorno das nascentes e regiões de preservação permanente sendo que seus principais tributários se encontram hoje canalizados.

A sub-bacia, devido à suas características fisiográficas, que englobam porções do Rebordo do Planalto Sul Riograndense e Depressões Periféricas, bastante distintas, confere uma variedade de ecossistemas com importante diversidade de espécies animais como vertebrados e invertebrados. A Depressão Central é uma região de influência de formações vegetais limítrofes. Também se caracteriza por fisionomias que vão da mata fechada na encosta da serra até formações campestres de coxilhas secas. Nestas últimas, são encontradas, segundo Berger (2001, apud RAMBO,1994) as ciperáceas altas, cortantes e junciformes, como por exemplo, *Rhynchospora*, *Cyperus* e *Scleria*. Também o gravatá (*Bromelia fastuosa*), onde o campo limita com o mato.

Em relação aos estágios sucessionais e grau de conservação são caracterizados por uma vegetação secundária, bem formada e diversificada nas regiões declivosas junto ao Rebordo do Planalto e algumas árvores isoladas ao longo do canal, também aparecem porções com capoeirões.

A floresta nativa ocupa as áreas do rebordo do planalto e algumas manchas esparsas, junto aos cursos de água. As florestas de eucaliptos e pinus localizam-se nas porções sul e oeste da bacia em algumas áreas de reflorestamento. O uso com agricultura distribui-se nos setores oeste e leste predominam as culturas do milho e de hortifruticulturas, onde se observam as práticas da agricultura de subsistência nas pequenas propriedades. Já no setor sul há o predomínio de grandes propriedades com a criação de gado extensivo.

No setor norte há o predomínio de pequenas propriedades com a prática voltada para a agricultura de subsistência. A figura 3.6 apresenta a localização da sub-bacia, ocupando a área centro norte do município na área central da sede do mesmo. A figura representa o trabalho que antecedeu a obtenção de variados mapas na formulação do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental da cidade de Santa Maria, onde se utilizou como mapa base na escala do município a carta topográfica da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico), folha Santa Maria

SH.22-V-C-IV-1,(MI-2965/10 e a folha Sanga da Laranjeira SH.22-V-C-3 (MI-2965/3), cujas escalas são de 1:50.000.

A carta foi transferida por escaneamento em digital raster e georreferenciada no programa SPRING 4.2. Seguiu-se após a digitalização dos planos de informações via tela do computador por meio das bases em solo (marcos geodésicos).

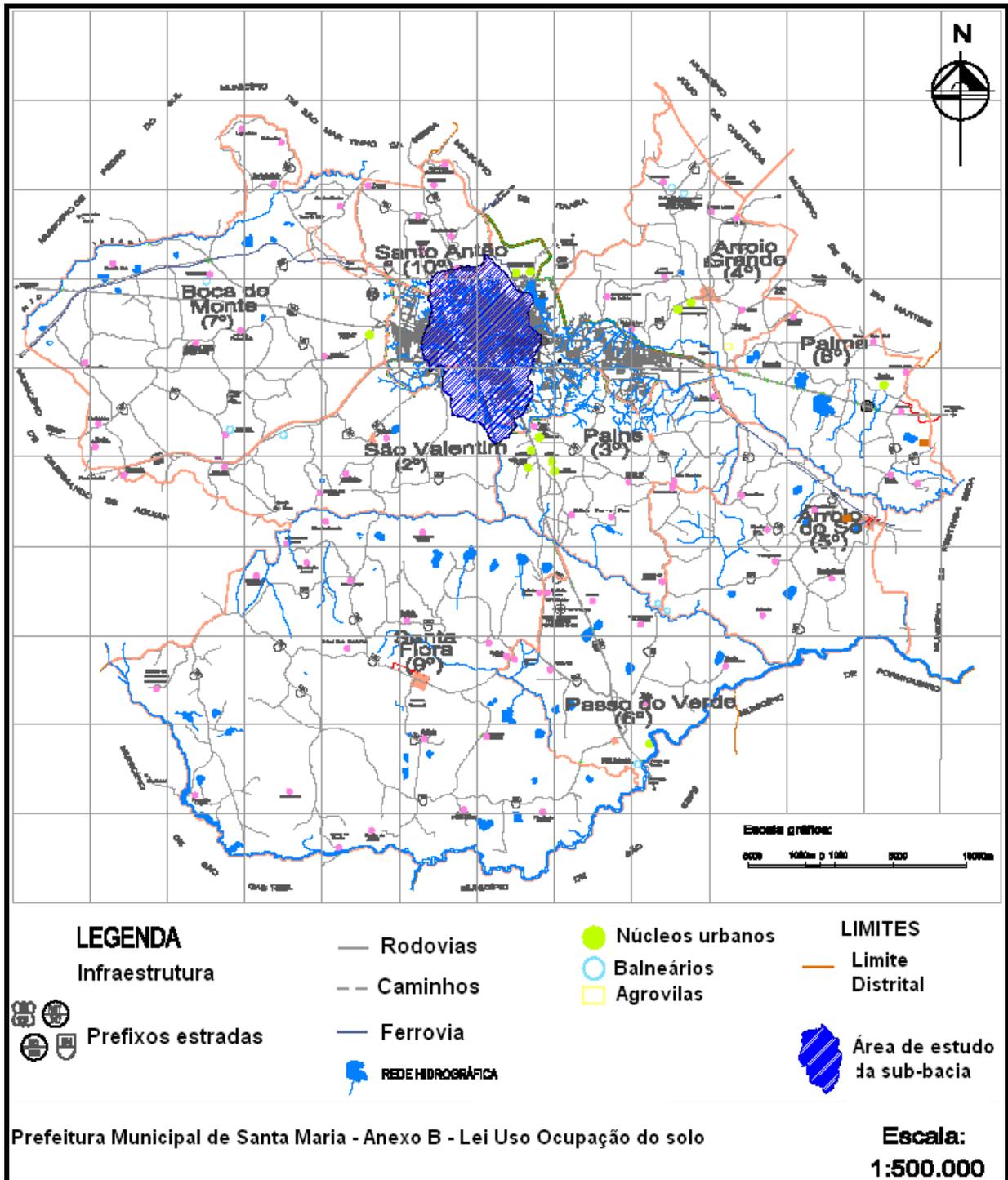


Figura 3.6 - Localização da sub-bacia do Arroio Cadena no município de Santa Maria – RS

Na figura 3.7 está representada a área da sub-bacia do Arroio Cadena, na sua perspectiva oeste, nesta representação, por meio de uma imagem do sensor remoto QUICKBIRD extraída da foto do município de Santa Maria - RS o fuso de referência é o 22S. A escala de representação é 1:20.000 e a data da cena é de julho de 2007, extraída das imagens do *Google Earth*. A representação em três dimensões da sub-bacia foi exagerada em relação à altitude em três vezes para que se possa averiguar que em sua porção norte a declividade do relevo é mais acentuada em relação às áreas lateral do rio principal em azul. Seu exutório localiza-se ao sul, fora dos limites centrais da zona de ocupação urbana. Pode-se notar que a maioria de suas nascentes encontra-se dentro do perímetro de ocupação humana na bacia. O rio principal nasce na área central da cidade percorrendo-a em direção ao sul. Seus tributários da mesma forma encontram-se distribuídos na quase totalidade em área urbanizada.

Na figura 3.8 a perspectiva sul da sub-bacia. Extrai-se das figuras com base nas extrapolações que a área apresenta declividades bastante diversificadas, com áreas planas bem como locais de relevo acentuado.

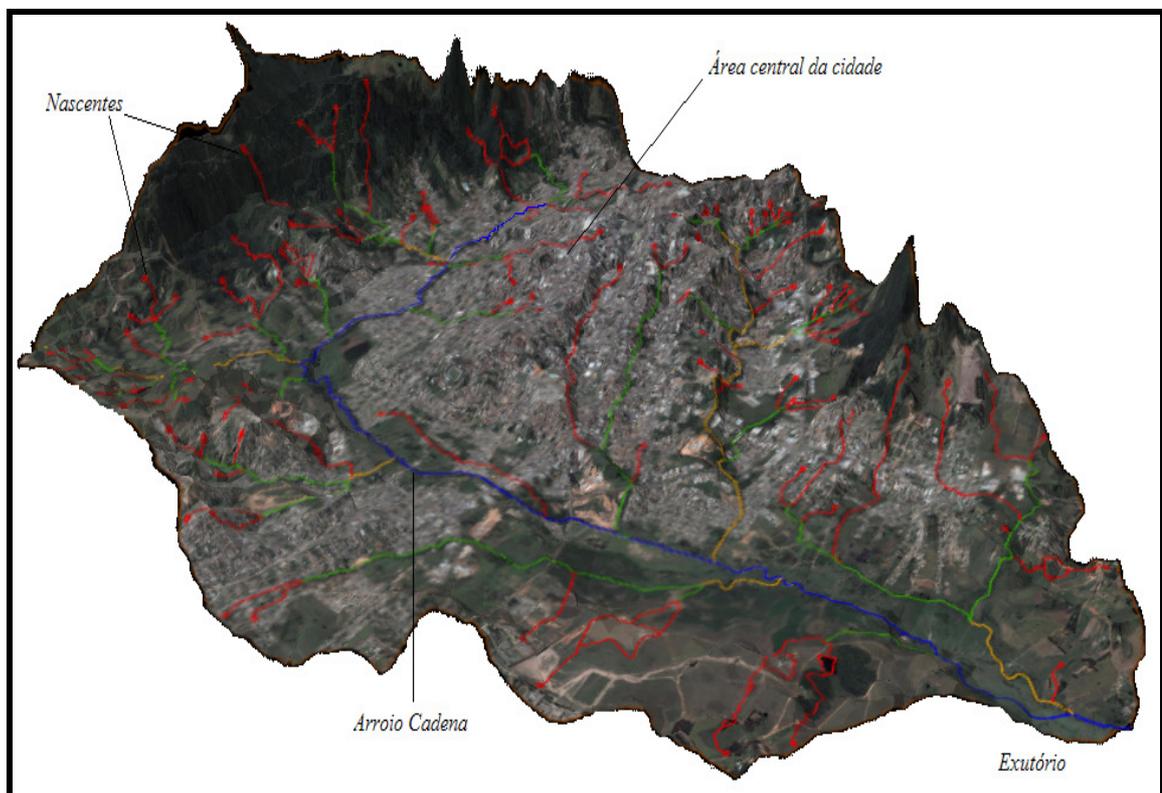


Figura 3.7 - Representação da sub-bacia do Arroio Cadena em perspectiva (oeste)

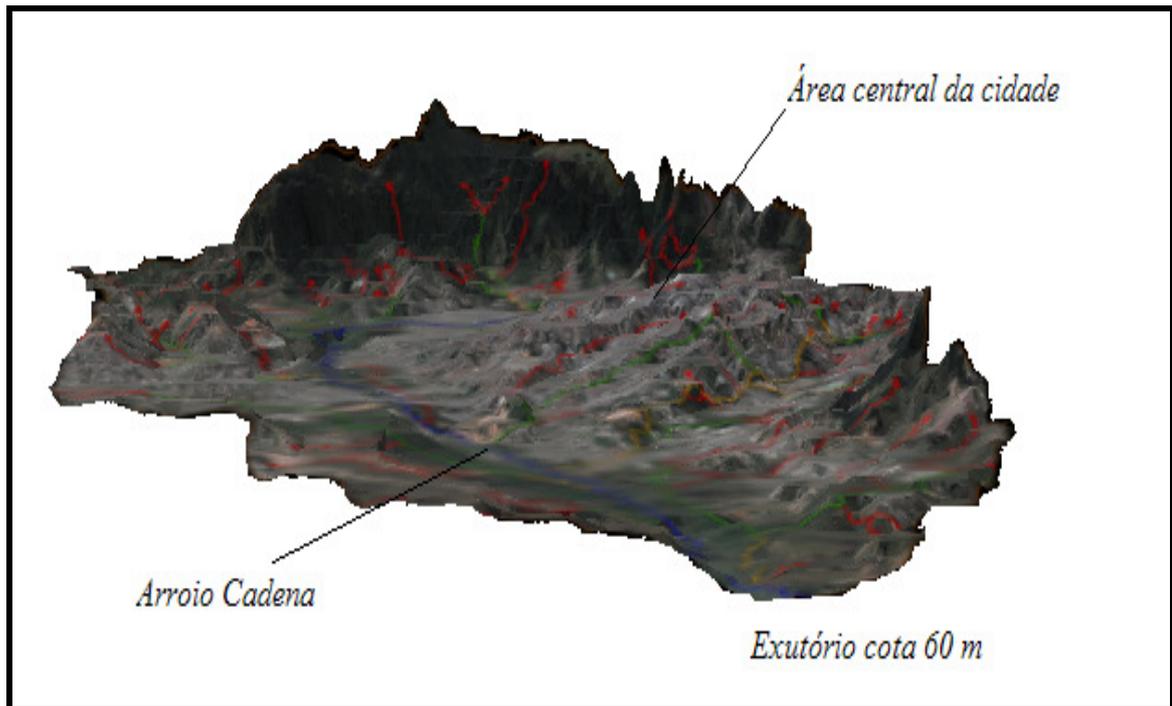


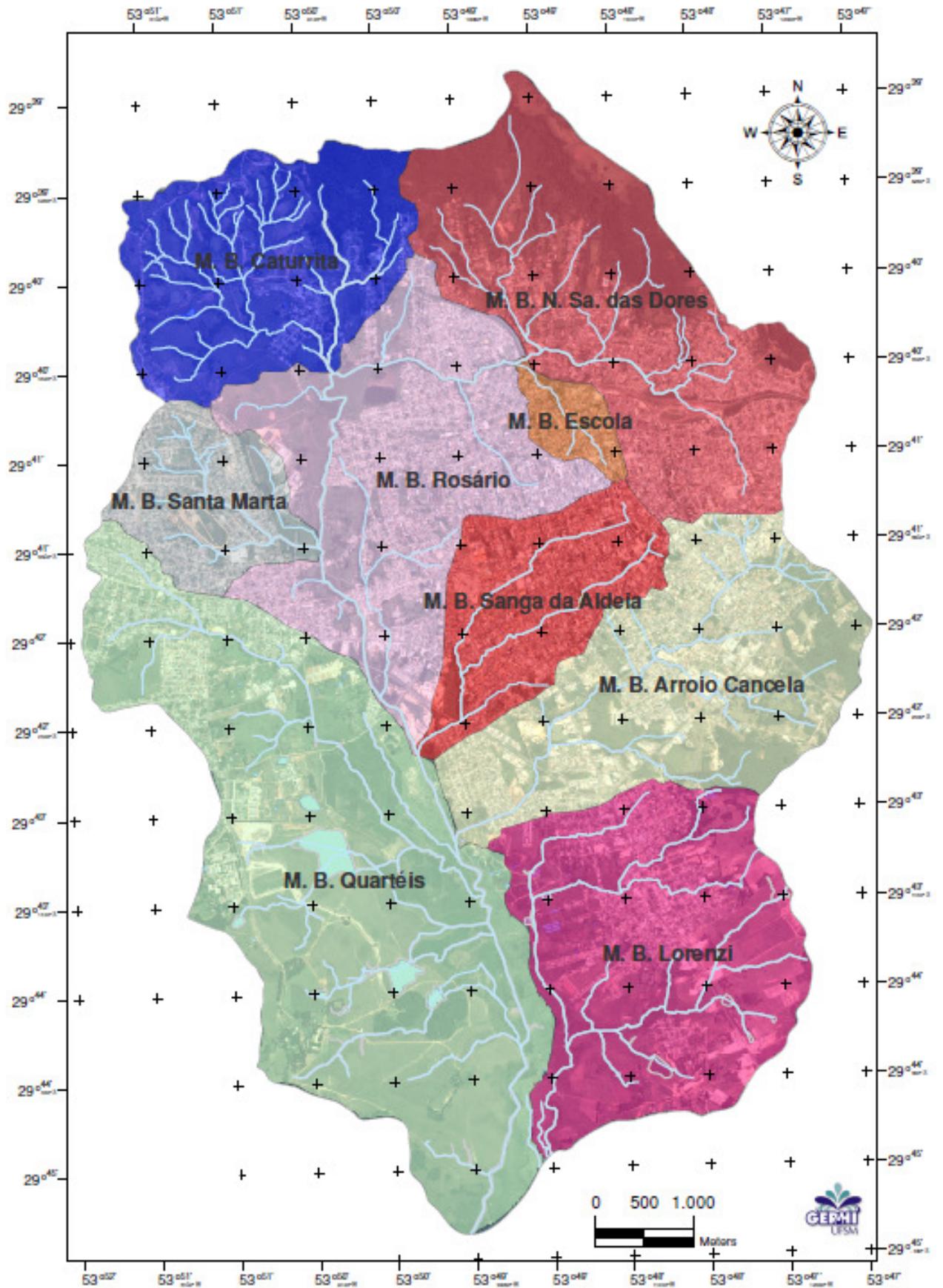
Figura 3.8 - Representação da sub-bacia do Arroio Cadena em perspectiva (sul)

O Anexo 2 apresenta o estudo da caracterização da Sub-bacia do Arroio Cadena formulado durante a fase reconhecimento da região. Este estudo foi apresentado com o intuito de incorporar uma análise complementar ao estudo da sub-bacia, baseado na seqüência de Cruz (2006), e na metodologia de Christofolletti(1980).

A sub-bacia do Arroio Cadena apresenta uma área de 6.408,50 hectares. e um perímetro de 36.357,00 m. neste estudo foi dividida em 9 micro-bacias:

Micro-bacia Sanga da Aldeia	3,80 km ²
Micro-bacia Arroio Cancela	8,14 km ²
Micro-bacia Bairro Caturrita	5,98 km ²
Micro-bacia Escola urbana	0,75 km ²
Micro-bacia Lorenzi	8,73 km ²
Micro-bacia N.Sa. das Dores	9,17 km ²
Micro-bacia Área Quarteis	16,04 km ²
Micro-bacia Bairro N.Sa. Rosario	8,76 km ²
Micro-bacia Bairro Santa Marta	2,67 km ²

O mapa 3.1 apresenta a distribuição das micro bacias ao longo da sub-bacia do Arroio Cadena.



MAPA 3.1 - Micro-bacias

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Marta - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

3.1.3 As Micro Bacias

A micro-bacia Sanga da Aldeia (do Hospital) tem suas nascentes na área central. Em alguns trechos do médio e baixo curso ainda podem ser encontrados trechos abertos, mas descaracterizadas por obras construídas pelos próprios moradores. A figura 3.9 mostra o recorte e localização da micro bacia na sub-bacia.

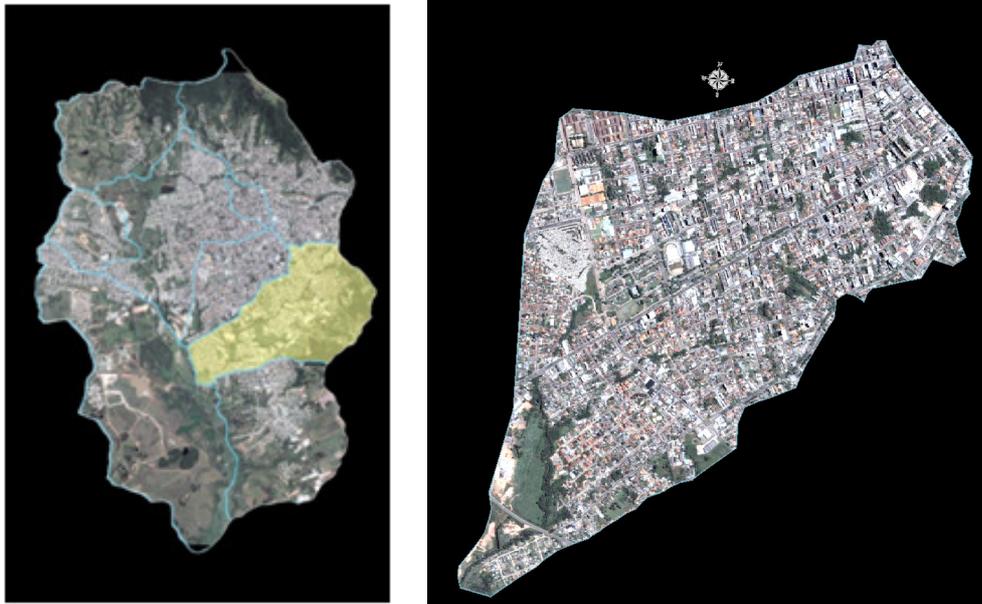


Figura 3.9 - Recorte e localização da micro bacia da Sanga da Aldeia na sub-bacia

A figura 3.10 mostra a proteção das margens com pedras soltas e pneus e a plantação de taquareiras, que também são medidas adotadas pelos moradores.



Figura 3.10 - Proteção das margens com pedras soltas e pneus

A micro-bacia do Arroio Cancela apresenta seus canais abertos nas nascentes da margem esquerda, mas já ameaçadas pelo crescimento de condomínios residenciais nesta porção. A figura 3.11 mostra o recorte e localização da micro bacia do Arroio Cancela na sub-bacia.



Figura 3.11 - Recorte e localização da micro bacia do Arroio Cancela na sub-bacia.

As margens direitas encontram-se com canalização mista e fechada, assim como o seu canal principal, até a confluência deste com o Arroio Cadena. A proteção das margens com pedras e muros de arrimos também é comum. A figura 3.12 apresenta uma destas canalizações fechadas ocorrentes na região da micro-bacia.



Figura 3.12 - Canalização fechada

Na micro-bacia da Caturrita tem-se a transição do ambiente urbano para o rural, com a incorporação do último pelo primeiro de forma gradual. Grande parte da microbacia da Caturrita ainda não foi ocupada para fins urbanos. Na figura 3.13 o recorte e localização da micro bacia na sub-bacia.



Figura 3.13 - Recorte e localização da micro bacia da Caturrita na sub-bacia.

Os canais de drenagem destas microbacias ainda apresentam um baixo impacto com relação à intervenção antrópica, sendo que os canais encontram-se abertos, com a morfologia pouco ou nada alterada, a vegetação ciliar ainda está preservada e a zona ribeirinha pouco ocupada. A figura 3.14 mostra uma vista de região do bairro Caturrita a partir do “Morro das Antenas” na porção norte da sub-bacia.



Figura 3.14 - Vista de região do bairro Caturrita

Na figura 3.15 o recorte e localização da micro bacia Escola Urbana na sub-bacia.



Figura 3.15 - Recorte e localização da micro bacia Escola Urbana na sub-bacia.

Segundo Silveira et al (2008) os problemas de enchentes e alagamentos são eventos de grande freqüência, pois não há coleta de lixo e os moradores descartam os seus resíduos depositando-os nos taludes do riacho. Quando ocorrem chuvas de grande intensidade, os canais de escoamento entopem facilmente e a inundação é inevitável. A figura 3.16 demonstra o descarte de resíduos na margem do Arroio Esperança, principal arroio da micro bacia Escola urbana.



Figura 3.16 - Acumulo de lixo nas margens do Arroio Esperança

A microbacia dos Quartéis constitui de ocupações urbanas que ainda não são muito densas. A maior parte destes setores é ocupada pelas classes social média e baixa. A figura 3.17 o recorte e localização da micro bacia na sub-bacia. Na figura 3.18 representa a ocupação ao longo do Arroio principal da micro bacia

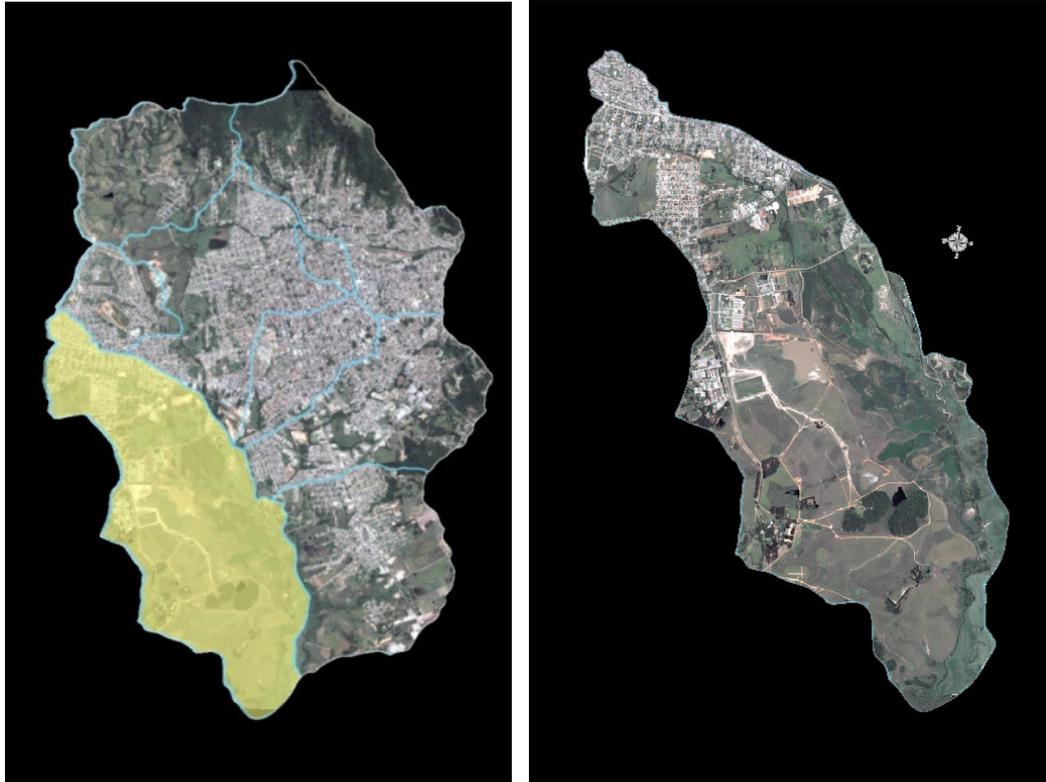


Figura 3.17 - Recorte e localização da micro bacia dos Quartéis na sub-bacia



Figura 3.18 - Ocupação irregular ao longo do curso de água

A micro bacia do bairro Lorenzi constitui em forte vetor de crescimento da cidade. A figura 3.19 demonstra o recorte e localização da micro bacia na sub-bacia.

Esta micro bacia apresenta grande número de ocupações irregulares ao longo dos cursos d'água e nas cabeceiras de drenagem, a figura 3.20 mostra o esgoto encaminhado para os arroios.

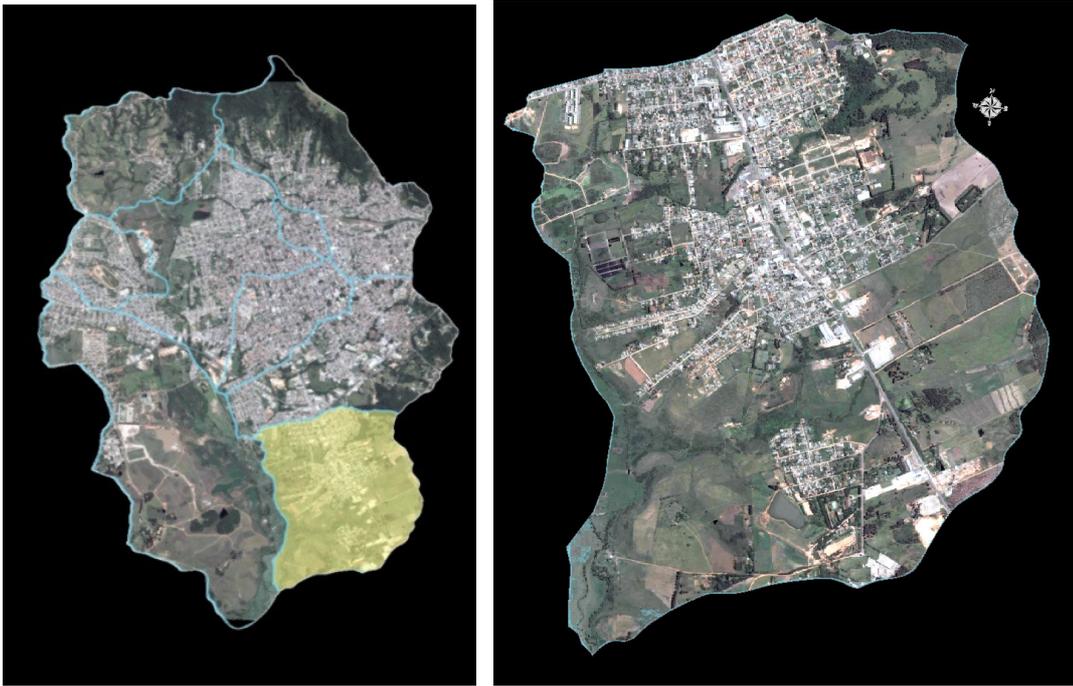


Figura 3.19 - Recorte e localização da micro bacia do Bairro Lorenzi na sub-bacia



Figura 3.20 - Esgoto encaminhado para os arroios

A micro-bacia Nossa Senhora das Dores situa-se na base e na meia encosta da vertente oeste do morro Cechela, no Rebordo do Planalto Sul-Rio-Grandense, numa área que se caracteriza pela transição entre o Planalto e a Depressão Periférica. A ocupação é mais densa na base do morro, mas estende-se até, aproximadamente, 240 metros, na meia encosta. A porção situada mais próxima do topo ainda não está ocupada e encontra-se com cobertura vegetal de médio e grande porte. A figura 3.21 demonstra o recorte e localização da micro bacia na sub-bacia.

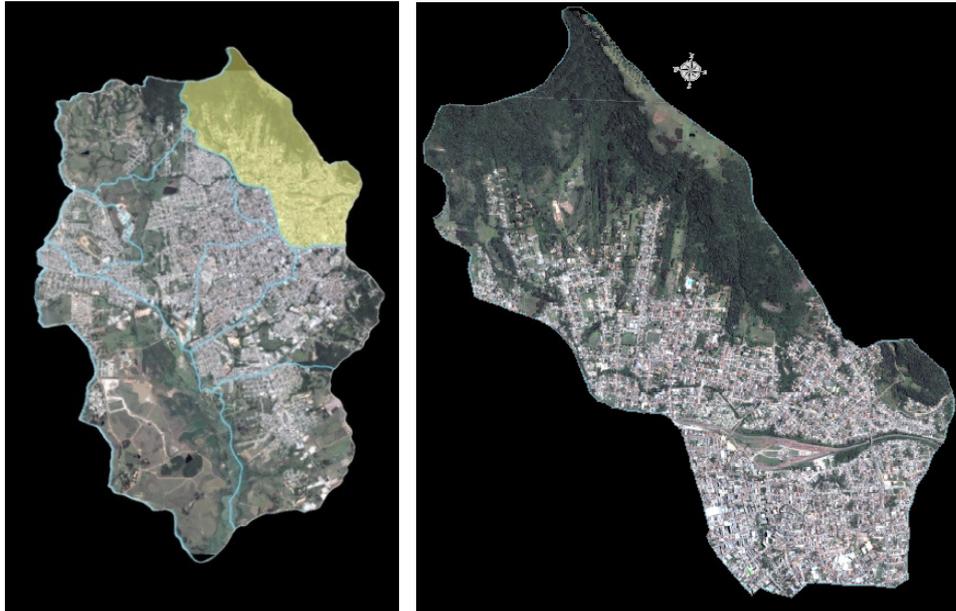


Figura 3.21 - Demonstra o recorte e localização da micro bacia na sub-bacia

A figura 3.22 mostra um trecho da Avenida Nossa Senhora das Dores e ao fundo os morros que circundam o bairro.



Figura 3.22 - Avenida Nossa Senhora das Dores

Na micro-bacia do Bairro Nossa senhora do Rosário a urbanização teve início com o auge da Rede Ferroviária Federal, dando origem a um dos bairros mais antigos de Santa Maria. Do alto ao médio curso desta bacia, existem áreas urbanas, atualmente com as edificações avançando nas margens dos rios. Os canais fluviais encontram-se abertos, porém com contenção nas margens com o uso de gabiões e empedramento. A figura 3.23 demonstra o recorte e localização da micro bacia na sub-bacia. A figura 3.24 representa um trecho do rio principal do Arroio Cadena divide a cidade em porções leste e oeste.

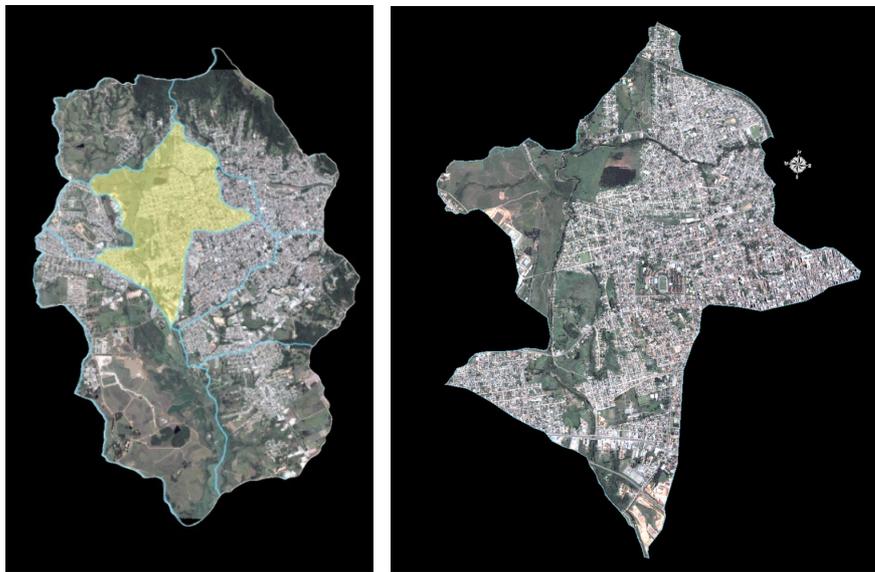


Figura 3.23 - Recorte e localização da micro bacia do Rosário na sub-bacia



Figura 3.24 - Trecho do rio principal

A micro-bacia do bairro Santa Marta apresenta a ocupação desordenada como característica espacial. A área foi repassada recentemente ao município de Santa Maria no mês de abril de 2009 e após aproximadamente 20 anos está recebendo a infra-estrutura urbana necessária para que os efeitos dos problemas de saneamento, mobiliário urbano e saúde. Na figura 3.25 o recorte e localização da micro bacia na sub-bacia. A figura 3.26 representa o início das obras de saneamento ao longo da avenida principal do bairro.

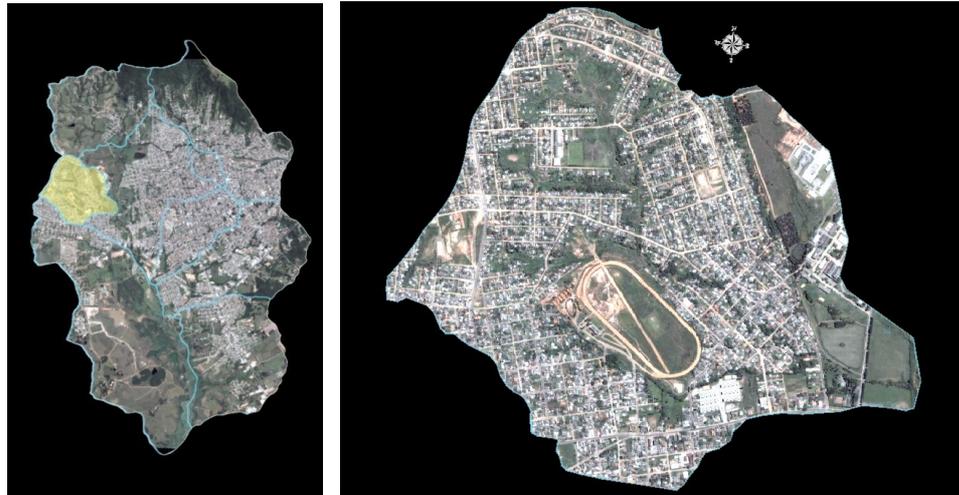


Figura 3.25 - Recorte e localização da micro bacia na sub-bacia



Figura 3.26 - Início das obras de saneamento ao longo da avenida principal do bairro.

3.1.4 Os indicadores de qualidade ambiental da sub-bacia do Arroio Cadena

Os estudos do diagnóstico da qualidade ambiental da sub-bacia do Arroio Cadena, foram estruturados basicamente a partir dos modelos PEIR e FPEIR, por apresentarem o componente impacto incluído nas categorias de indicadores ambientais. Por meio do trabalho foram estudados 14 feições de estudo distribuídos em 10 indicadores que representam as características mais evidenciadas da sub-bacia, levantadas através de mapas sob a forma de feições de cada indicador, classificados pela Matriz PEIR (pressão, estado, impacto e resposta) sendo a mesma utilizada pelo Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente (PNUMA) na elaboração das séries GEO (*Global Environment Outlook*)⁴. Além desta condição foi agregado o indicador Força Motriz como representação da condição humana (drive) presente em todo sistema urbano como condicionante da pressão sobre o sistema. Porém, não foi dado ao trabalho a condição de criar uma nova metodologia, mas sim de enquadrar o diagnóstico da qualidade ambiental dentro dos conceitos presentes na literatura que pudessem corroborar para um estudo de uma bacia urbana.

As principais funções dos indicadores no trabalho são a avaliação de condições e tendências e a avaliação de condições em relação às metas e aos objetivos do trabalho, além de prover informações aos administradores públicos.

Conforme Januzzi (2001) apesar de ser essencial a presença das características acima descritas, é muito rara a produção de indicadores contendo todas as propriedades ensejadas. Segundo o mesmo:

“Esta operação de seleção de indicadores é uma etapa delicada, pois não existe uma teoria formal que permita orientá-la com estrita objetividade”.

A tabela 3.1 apresenta em blocos a distribuição dos dados primários de indicadores baseado em Gouzee et al. (1995). Para o diagnóstico ambiental da sub-

⁴ A metodologia GEO pode ser considerada um instrumento analítico que permite organizar e agrupar, de maneira lógica, os principais fatores que atuam sobre o meio ambiente. A matriz PEIR busca estabelecer um vínculo entre seus diversos componentes, de forma a orientar a avaliação do estado do meio ambiente, desde os fatores que exercem pressão sobre os recursos naturais (entendidos como as “causas” do seu estado atual), passando pelo estado atual do meio ambiente (“efeito”), e os impactos deste efeito sobre o meio, até as respostas (ações/reações) que são produzidas para enfrentar os problemas ambientais em cada localidade (CONSÓRCIO PARCERIA 21: IBAN/ISER/REDEH, 2002).

bacia do Arroio Cadena, foram utilizados no estudo quatorze micro indicadores oriundos de dados analisados que correspondem aos dados primários de temas variados inerentes à questão qualidade ambiental da sub-bacia. Os dados analisados foram distribuídos em dez indicadores, que foram divididos de acordo com suas características nos índices de pressão, estado, impacto e resposta, sendo que o indicador força motriz, foi aglutinado no índice de pressão como qualidade antrópica ou de distribuição da densidade demográfica ao longo da sub-bacia.

Tabela 3.1 - Iqa – Índices e indicadores de qualidade Ambiental Pressão-Estado-Impacto-Resposta da sub-bacia do Arroio Cadena

Iqa - Índice de qualidade Ambiental	Indicadores do modelo PEIR	Indicadores	Feições de avaliação
	Pressão	Uso do Solo	Espacialidade do uso do solo
		População	Densidade demográfica
		Sistema Viário	Densidade do Sistema Viário
	Estado	Cobertura do solo	Espacialidade da cobertura do solo
		Geologia	Permeabilidade
			Resistência à Erosão
			Vulnerabilidade à Poluição
	Pedologia	Vulnerabilidade/Estabilidade	
	Impacto	Áreas de Risco	Declividade
Áreas de Preservação		Áreas de Preservação Permanente	
		Áreas Especiais Naturais	
Resposta	Redes de Saneamento	Densidade rede de água	
		Densidade rede de esgoto	
	Legislação territorial	Zonas de expansão urbana	

Como apresentado anteriormente a seqüência de cálculo dos indicadores parciais inicia por meio da normalização.

Os valores são normalizados de forma que a Norma de avaliação (V_n) represente a naturalidade dos dados, tendo representatividade numa escala que varie de 0 a 1 conforme os indicadores expressivos de cada micro bacia. Os valores de 0 a 1 representam, respectivamente, o pior e o melhor ponto de vista da qualidade ambiental.

Sendo assim quando o valor do intervalo corresponde à melhor contribuição da qualidade ambiental, tem-se $V_n = 1$. Quando o valor do intervalo corresponder a pior situação da qualidade ambiental, tem-se que: $V_n = 0$.

A média ponderada pode ser postulada como representativa da possibilidade de ocorrência de um evento causado, em princípio, pela atuação convergente dos parâmetros ambientais nela considerados.

3.2 Feições de Pressão

3.2.2 Uso do solo

Segundo Turner e Meyer (1994), “O uso do solo denota a destinação que o Homem dá para a terra”.

Fao e Liasa (1993) afirmam que:

“Uso do solo diz respeito à finalidade para a qual a terra é usada pela população humana local e pode ser definida como as atividades humanas fins que estão diretamente relacionadas ao uso da terra, fazendo uso de seus recursos ou tendo um impacto sobre eles.”

Diversas são as metodologias utilizadas na determinação da distribuição e quantificação dos diferentes usos do solo urbano. Optou-se por um levantamento realizado diretamente no cadastro imobiliário urbano do município.

Na cidade de Santa Maria a Lei Complementar. N° 033 de 29 de dezembro de 2005 instituiu a Lei de Uso e Ocupação do Solo, Parcelamento, Perímetro Urbano e Sistema Viário do Município de Santa Maria relacionada às categorias de uso. São classificadas em residencial, comercial, serviço, industrial e produção rural. Na área da bacia são mais efetivas as categorias de uso residencial, comercial e de serviços.

No artigo 6º da Lei de Uso e ocupação do Solo LUOS de dezembro de 2005 as categorias de uso são estabelecidas segundo a classificação da Comissão Nacional de Classificação – CNAE 1.0/CNAE-Fiscal, com os seguintes agrupamentos:

I – Residencial

Unifamiliar/bifamiliar; Multifamiliar.

II – Comercial

Comércio a varejo e por atacado de veículos automotores, motocicletas e embarcações;

Manutenção e reparação de veículos automotores, motocicletas e embarcações; Comércio a varejo de combustíveis; Comércio por atacado e intermediários do comércio; Comércio atacadista de produtos intermediários não-agropecuários, resíduos e sucatas; Comércio varejista e reparação de objetos pessoais e domésticos.

III – Serviços

Hotel e apart-hotel; Motel; Albergue, pensão e outros serviços afins; Camping;

Serviço de alimentação; Movimentação e armazenamento de cargas e atividades auxiliares do transporte; Atividades e serviços; Educação, administração e saúde, atividades de atenção à saúde; Serviços veterinários; Atividades associativas, recreativas, culturais e desportivas.

IV – Indústrias

Indústrias extrativas; Indústrias de transformação I; Indústrias de transformação II;

A tabela 3.1 representa o percentual de unidades de uso dentro de cada sub-bacia. As categorias estão divididas, conforme os dados da prefeitura municipal em comercial, residencial e serviços, sendo que neste último estão englobados os serviços de saúde, segurança e públicos.

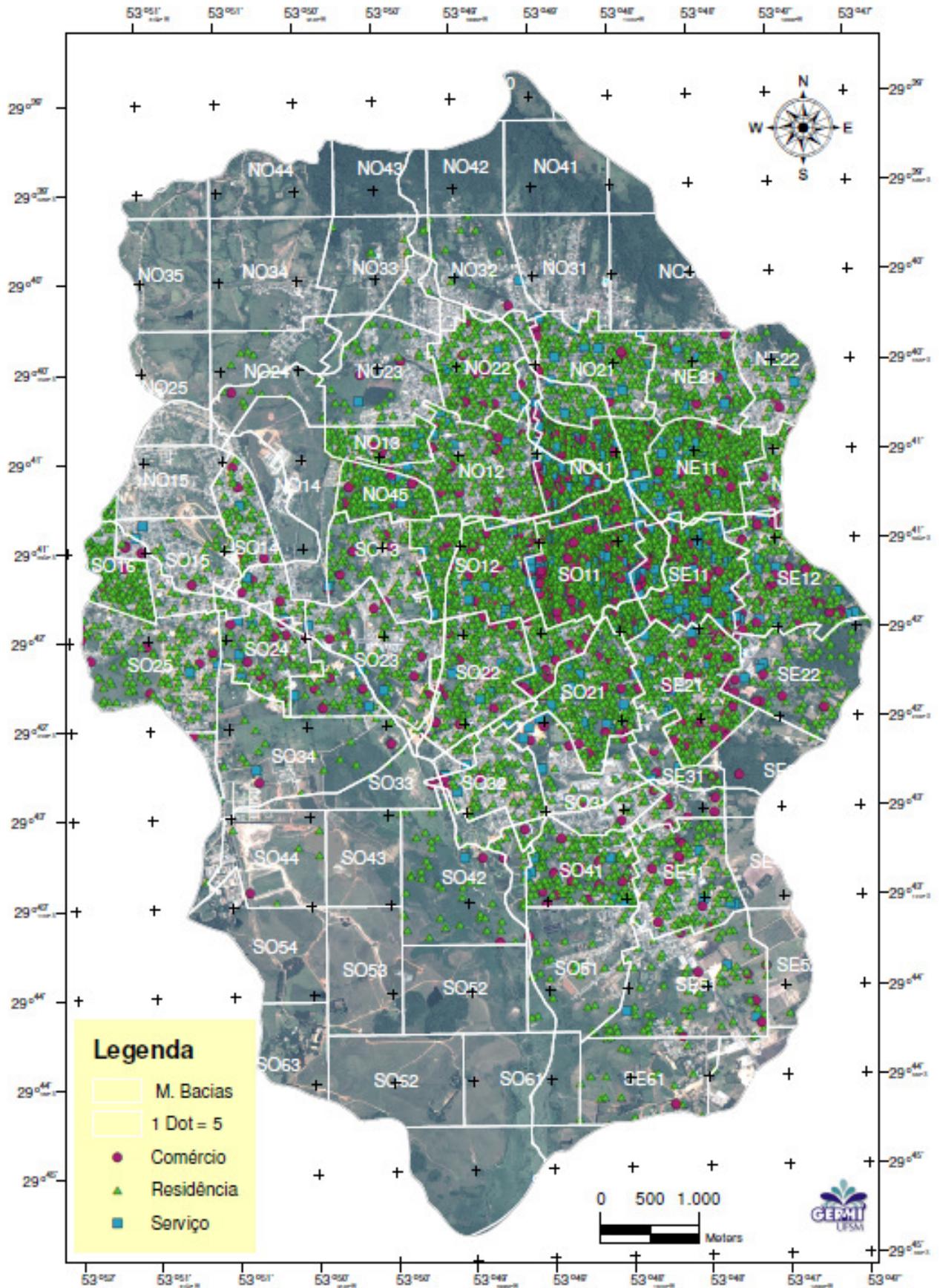
Tabela 3.2 - Uso do solo de acordo com dados do cadastro imobiliário da prefeitura municipal.

% unidades de uso do solo	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sra. Dores	Área Quartéis	Bairro N.Sra. Rosário	Bairro Santa Marta
Comércio	0,002	0,01	0,06	0,01	0,01	0,08	0,02	0,05	0,01
Residências	0,997	0,98	0,91	0,98	0,90	0,86	0,95	0,91	0,98
Serviços	0,001	0,01	0,02	0,01	0,08	0,06	0,03	0,04	0,01

O índice mediador para o uso do solo é o coeficiente de aproveitamento. Trata-se de um número que, multiplicado pela área do lote, indica a quantidade máxima de metros quadrados que podem ser construídos em um lote, somando-se as áreas de todos os pavimentos. Os valores de índice de aproveitamento para a cidade de Santa Maria pode ser acessado na lei de uso e ocupação do solo LUOS em seu anexo 7 – Coeficientes de aproveitamento. O Anexo 3 demonstra o Quadro de Uso e Ocupação do Município extraído da LUOS.

A qualidade ambiental está relacionada à pressão antrópica e, por conseguinte ao tipo de uso que esta pressão expõe o solo. À medida que começa a assumir uma expansão muito elevada e desordenada, prejudica qualidade de vida da própria população.

O Mapa 3.2 apresenta o uso do solo em proporção 1:10 de dots (número de unidades para cada dot ou “ponto”) na área de cada sub-bacia agregando as áreas limítrofes das chamadas “Super-Quadras” que são as divisões territoriais de lotes da prefeitura municipal de Santa Maria no cadastro imobiliário.



MAPA 3.2 - Uso do solo em dots de lotes - Cadastro imobiliário.

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
Município de Santa Maria - RS
Sistema de projeção: UTM
Sistema de referência: SIRGAS 2000
Fuso: 22S

3.2.3 População

Santa Maria possui uma população de 270.073 mil habitantes fixos e aproximadamente mais de 30 mil habitantes flutuantes, segundo estimativa do IBGE para 2008, e, segundo dados da Fundação Estadual de Estatística (FEE) - Santa Maria apresentou, no período de 1991 a 2000 uma taxa de crescimento demográfico de 1,86%. É a maior cidade da região central sendo a mais urbanizada e a mais populosa, com 36,40% da população da região. Concentra na zona urbana em torno de 94,7% da população e na zona rural, o equivalente 5,3%. Sua taxa de urbanização é de 91,74 % na zona urbana que é superior a do Estado de 78,66 %.

No sistema urbano do Rio Grande do Sul, segundo dados IBGE, Santa Maria é a 5ª maior cidade do Estado em população, depois de Porto Alegre, Caxias do Sul, Pelotas e Canoas. O Município possui grande poder de atração populacional, e se transformou em importante centro regional e forte centro de polarização do Rio Grande do Sul. A tabela 3.3 apresenta uma compilação dos dados populacionais da cidade extraídas do site da prefeitura municipal de Santa Maria.

Tabela 3.3 - Dados da cidade de Santa Maria segundo FEE

Dados da população do município	Habitantes/Área
População total do município	258834
População de homens	123029
População de mulheres	135755
População urbana do município	248490
População rural do município	10344
População economicamente ativa do município	150000 (em média)
Área total do município	1780 km ²
Densidade demográfica	133,51 hab/km ²

De acordo com Lombardo (1985):

“A qualidade da vida humana está diretamente relacionada com a interferência do homem no meio natural urbano. A natureza humanizada, por meio da ocupação do ambiente alcança maior expressão nos espaços ocupados pelas cidades, criando um ambiente artificial”.

A qualidade ambiental de uma região está intrinsecamente relacionada qualidade de vida de uma população. Quando uma população apresenta densidade demográfica acentuada a qualidade ambiental e a própria qualidade de vida de uma população torna-se prejudicada devido ao adensamento. Sendo assim o índice de qualidade ambiental parcial em relação ao indicador população é representado de

maneira inversa. Quanto maior o índice de qualidade ambiental inverso para o tema população, melhor será a distribuição do contingente populacional e mais adequada será a qualidade ambiental.

A tabela 3.3 apresenta a população estimada da sub-bacia do Arroio Cadena (compilados do IBGE) na proporção para 2008. a estimativa é de 161 mil habitantes, perfazendo uma parcela em torno de 62% da população do município.

Tabela 3.4 - População estimada nas micro-bacias

População	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. .Dores	Área Quartéis	Bairro Rosário	Bairro Santa Marta
Densidade hab/km ²	8765	2584	2019	12389	795	3298	1445	1730	3790

3.2.4 Sistema Viário

O estudo da dinâmica da qualidade ambiental urbana está atrelado à capacidade viária e ao comportamento da densidade de tráfego. A composição destas feições ao nível da bacia hidrográfica torna-se interessante, haja vista as relações entre o sistema viário e a influência sobre o comportamento natural da região hidrográfica além da tendência da urbanização ao longo das vias. A concepção de um modelo matemático para compor a análise, passa antes de tudo pelo conhecimento das peculiaridades da região, principalmente pela hierarquização das vias que irão delinear sua capacidade de deslocamento.

A LUOS Estabelece em seu artigo Art.105 a Hierarquização das Vias e a organização do Sistema Viário Municipal. Que se dá conforme a seguinte classificação:

I Vias Estruturais; II Vias Laterais; III Vias Arteriais; IV Vias Coletoras; V Vias Locais; VI Estradas Municipais; VII Vias Verdes; VIII Vias Locais Especiais; IX Ciclovias; X Vias para Pedestres.

[...] § 2º. Denominam-se Vias Laterais ou de Serviços (VLT) aquelas que margeiam as rodovias Federais e Estaduais, com a função de absorver o trânsito urbano, promovendo a ligação entre os bairros adjacentes às rodovias;

§ 3º. Denominam-se Vias Arteriais (VA) as vias urbanas mais importantes, às quais deverá ser assegurada uma boa fluidez na circulação e velocidade moderada;

§ 4º. Denominam-se Vias Coletoras (VC) as vias urbanas de segunda grandeza, que recebem e distribuem o tráfego;

§ 5º. Denominam-se Vias Locais (VL) as vias urbanas que promovem a distribuição do tráfego local, com baixa fluidez e alta acessibilidade;

§ 6º. Denominam-se Estradas Municipais (SM) as vias municipais que realizam a ligação da área urbana com a área rural e com municípios vizinhos;[...];

A tabela 3.5 representa em quilômetros a malha viária da sub-bacia dividida entre as micro-bacias de acordo com sua hierarquia viária.

Tabela 3.5 representação da malha viária de acordo com sua hierarquia viária.

Tipos de Vias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa .Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Vias Locais e Estradas	13,75	30,77	11,93	3,65	25,75	30,74	19,76	37,22	23,12
Vias Coletoras	5,47	1,66	0	3,57	0	0	1,83	7,8	8,66
Vias Arteriais	5,65	1,47	0	1,2	0	0,89	0	8,66	0,76
Vias Estruturais	4,06	8,83	0	0	1,76	2,09	6,72	1,57	0

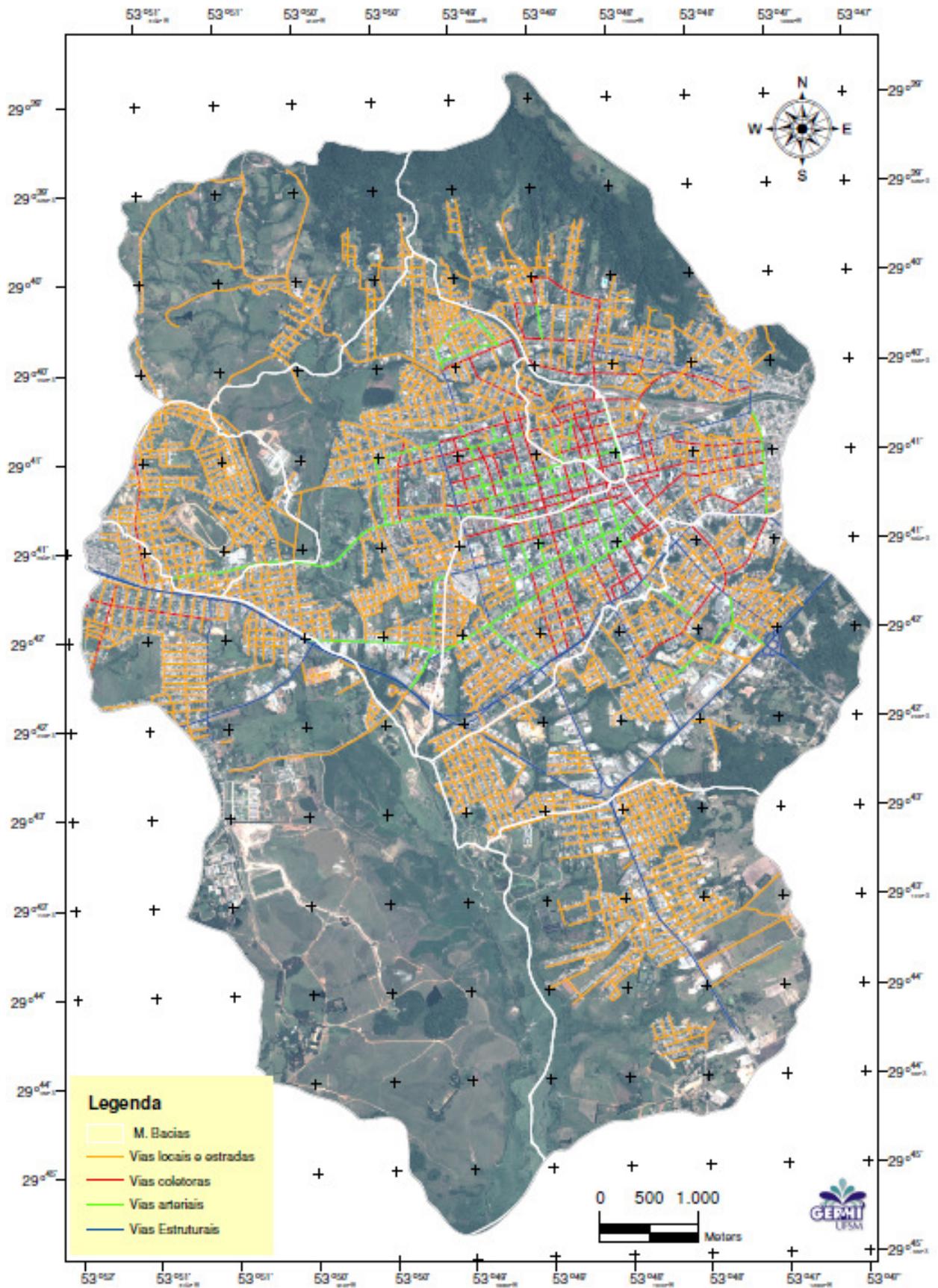
A densidade viária da sub-bacia do Arroio Cadena é representada pela extensão de vias de acordo com o volume máximo de tráfego/dia normalizado, demonstrados na tabela 3.6 de acordo com o Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte (DNIT). A qualidade ambiental e, por conseguinte a qualidade de vida de uma região está ligada ao volume de tráfego, ou seja, quanto maior o volume de tráfego, maior será a emissão de poluentes e menor será a contribuição em relação à qualidade ambiental. Esta constatação denota uma relação inversa de valor de índice pressão para esta feição.

Tabela 3.6 - Volume máximo/dia normalizados baseados no Manual do DNIT

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes

Tipos de Vias	Volume máximo/dia
Vias Locais e Estradas	1900
Vias Coletoras	6200
Vias Arteriais	14000
Vias Estruturais	20000

O Mapa 3.3 representa a sub-bacia do Arroio Cadena com a malha viária abrangida. Nota-se que esta possui um adensamento bastante representativo.



MAPA 3.3 - Sub-bacia do Arroio Cadena com Malha Viária

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
Município de Santa Maria - RS
Sistema de projeção: UTM
Sistema de referência: SIRGAS 2000
Fuso: 22S

3.2 Feições de Estado

3.2.1 Cobertura do solo

Segundo Briassoulis (2000), “Várias são as definições para os termos solo (terra) e uso do solo os quais variam com a finalidade de aplicação e o contexto de seu emprego”.

Seguindo uma abordagem de caráter ecológico-econômico, Hoover e Giarratani (1984), afirmam que:

“A terra a princípio, denota espaço. As qualidades da terra incluem, adicionalmente, atributos como propriedades topográficas, estruturais, agrícolas e minerais além do clima; a disponibilidade de ar e água; e finalmente, uma gama de características ambientais subliminares tais como tranqüilidade, privacidade, aparência estética, e outras.”

Para o caso do estudo estas dimensões foram divididas em quatro classes que resumem a importância da vegetação nas cidades contemporâneas, principalmente nos grandes centros, em função da composição atmosférica, equilíbrio solo-clima e poluição sonora. Dessa forma, a vegetação age purificando o ar por fixação de poeiras e materiais residuais e pela reciclagem de gases através da fotossíntese, regula a umidade e a temperatura do ar, mantém a permeabilidade, fertilidade e umidade do solo e protege-o contra a erosão e reduz os níveis de ruído servindo como amortecedor do barulho das cidades. Como produto deste projeto obteve-se o mapa de cobertura do solo para a sub-bacia, nas classes do solo:

1. Vegetação de grande e médio porte;
2. Vegetação rasteira e pequeno porte;
3. Solos descobertos;
4. Mancha Urbana.

Estas quatro classes foram reconhecidas no mapa das imagens do satélite QuickBird, com resolução de 61 centímetros pancromática (preto e branco) e com 6,45 metros multiespectral (três bandas visível mais uma infravermelho). Após a definição das manchas e suas classes, se procedeu a quantificação de cada uma. O resultado deste mapeamento permite visualizar e quantificar os diferentes

adensamentos da vegetação, dos solos e da ocupação urbana (mancha urbana) dentro da bacia.

Para avaliação da cobertura do solo, foi necessário classificar a imagem da área da sub-bacia. As imagens foram segmentadas dentro do software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), INPE (2003) para definição das regiões a serem utilizadas na classificação textural. Foram testados diferentes limiares (área e similaridade) e optou-se por aquele que, qualitativamente apresentou maior poder discriminatório dos alvos que compõem as classes de uso do solo urbano.

Na sequência foi necessária a segmentação⁵ da imagem. Nas quatro classes de uso foram selecionadas amostras que representassem diferentes tipos de cobertura vegetal. Nas áreas de transição de uso, foram selecionadas amostras em áreas de solo sem cobertura vegetal e terraplenagem. Desta relação foi confeccionada a tabela 3.7 com o percentual de áreas de cobertura para cada uma das quatro classes de impermeabilização do solo.

Tabela 3.7 – Percentual Áreas de cobertura das quatro classes de impermeabilização do solo

% Cobertura do solo	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa .Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Vegetação grande e médio porte	21,26	38,08	45,32	9,21	35,05	16,56	12,83	1,37	8,21
Rasteira e pequeno porte	28,08	28,26	44,98	9,21	33,68	11,55	32,83	14,27	24,25
Solo descoberto	26,25	17,69	7,02	26,32	9,05	13,94	50,28	6,39	42,91
Mancha Urbana	24,41	15,97	2,68	55,26	22,22	57,95	4,05	77,97	24,63

⁵ Segmentação de imagens é tipicamente usada para localizar objetos e formas (linhas, curvas, etc) em imagens. O resultado da segmentação de imagens é um conjunto de regiões/objetos ou um conjunto de contornos extraídos da imagem (ver detecção de borda). Como resultado, cada um dos pixels em uma mesma região é similar com referência a alguma característica ou propriedade computacional, tais como cor, intensidade, textura ou continuidade. Regiões adjacentes devem possuir diferenças significativas com respeito a mesma característica(s).

Os índices de cobertura de solo seguiram Ross (1994) que sistematizou uma hierarquia nominal de fragilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2), media (3), forte (4) e muito forte (5). Estas categorias expressam especialmente a fragilidade do ambiente em relação ao processo ocasionado pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais.

Segundo estudos recentes, os espaços preenchidos por vegetação frondosa filtram a poluição e capturam partículas minúsculas de sujeira e fuligem. As árvores das ruas podem reduzir as partículas em suspensão libertadas pelos canos de descarga dos automóveis. As folhas das árvores também bloqueiam a luz solar, criando ilhas de arrefecimento na cidade, diminuindo a temperatura.

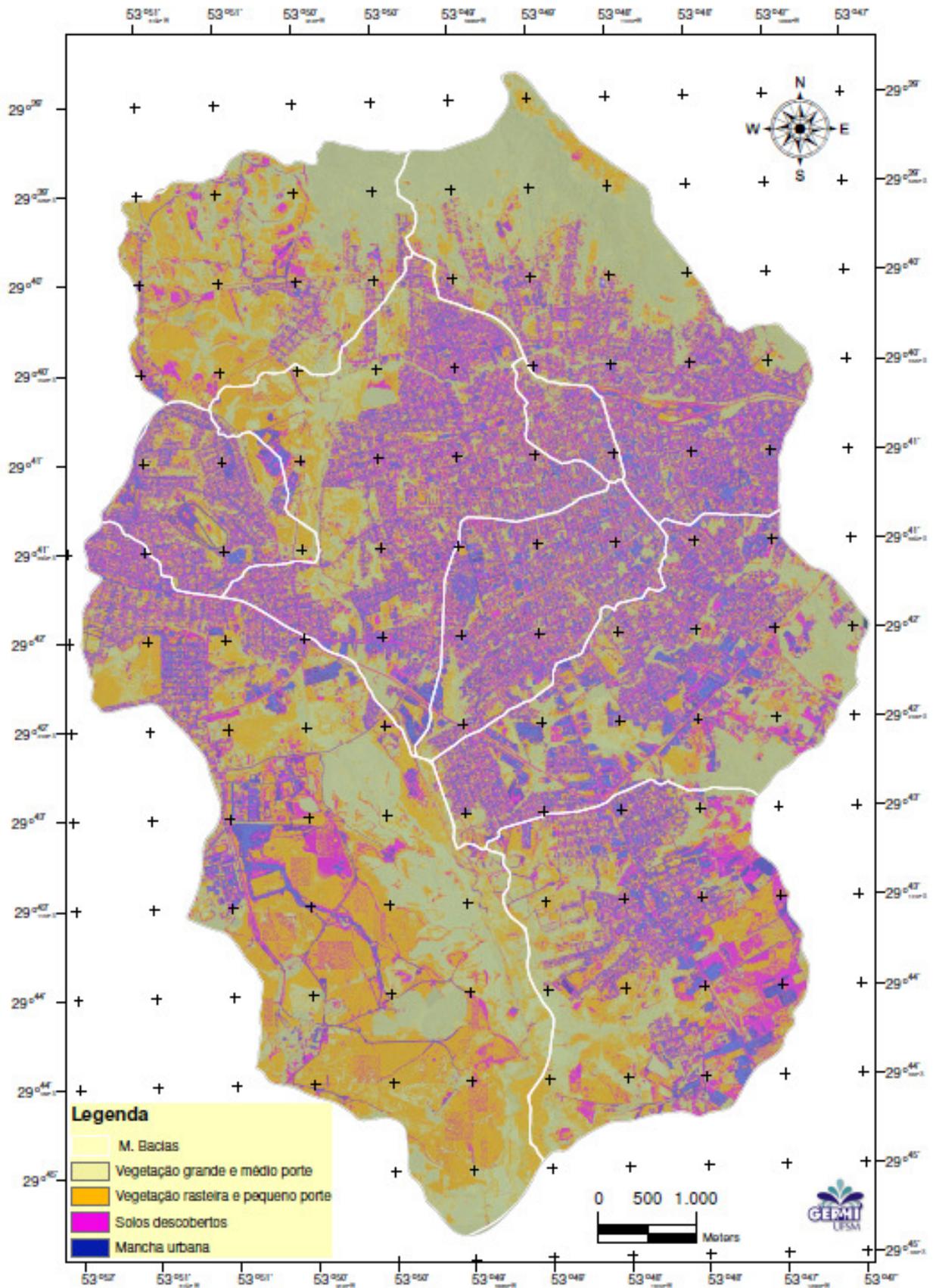
Alguns políticos afirmam que as suas cidades estão já construídas e não há espaço disponível para parques. No entanto, se uma cidade tem espaço para mais um edifício, também tem espaço para mais um parque.

Na análise do tipo de cobertura do solo da sub-bacia os valores foram compilados de Ross (1994) com algumas alterações, conforme mostra a tabela. Isso se deve ao fato que a vegetação de médio e grande porte se localiza normalmente na sub-bacia nas encostas de morro, sendo assim a declividade torna-se um empecilho para a vulnerabilidade ambiental da bacia, e por conseguinte à qualidade ambiental. Por outro lado não se pode atribuir um valor nulo para a mancha urbana pelo mesmo fato, já que esta é verificada ao longo da mancha urbana áreas de vegetação que podem ser ínfimas na detecção de uma reclassificação, mas que de alguma forma devem ser consideradas na região da sub-bacia contempla também a mancha urbana. O quadro apresenta valores normalizados a partir de um intervalo mínimo de zero até um máximo de cinco do escore de notas de Ross (1994).

Tabela 3.5 - Pesos para cobertura do solo compilados por ROSS, 1994

Tipo de cobertura	Peso ROSS (1994)	Peso normalizado
Vegetação de grande e médio porte	4,5	0,9
Vegetação rasteira e pequeno porte	3,5	0,7
Solos descobertos	1	0,2
Mancha Urbana	1	0,2

O mapa 3.4 apresenta a cobertura do solo da área da sub-bacia agregando as áreas limites de suas micro-bacias por classificação textural.



MAPA 3.4 - Cobertura do solo por classificação textural

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Maria - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

3.2.2 Geologia

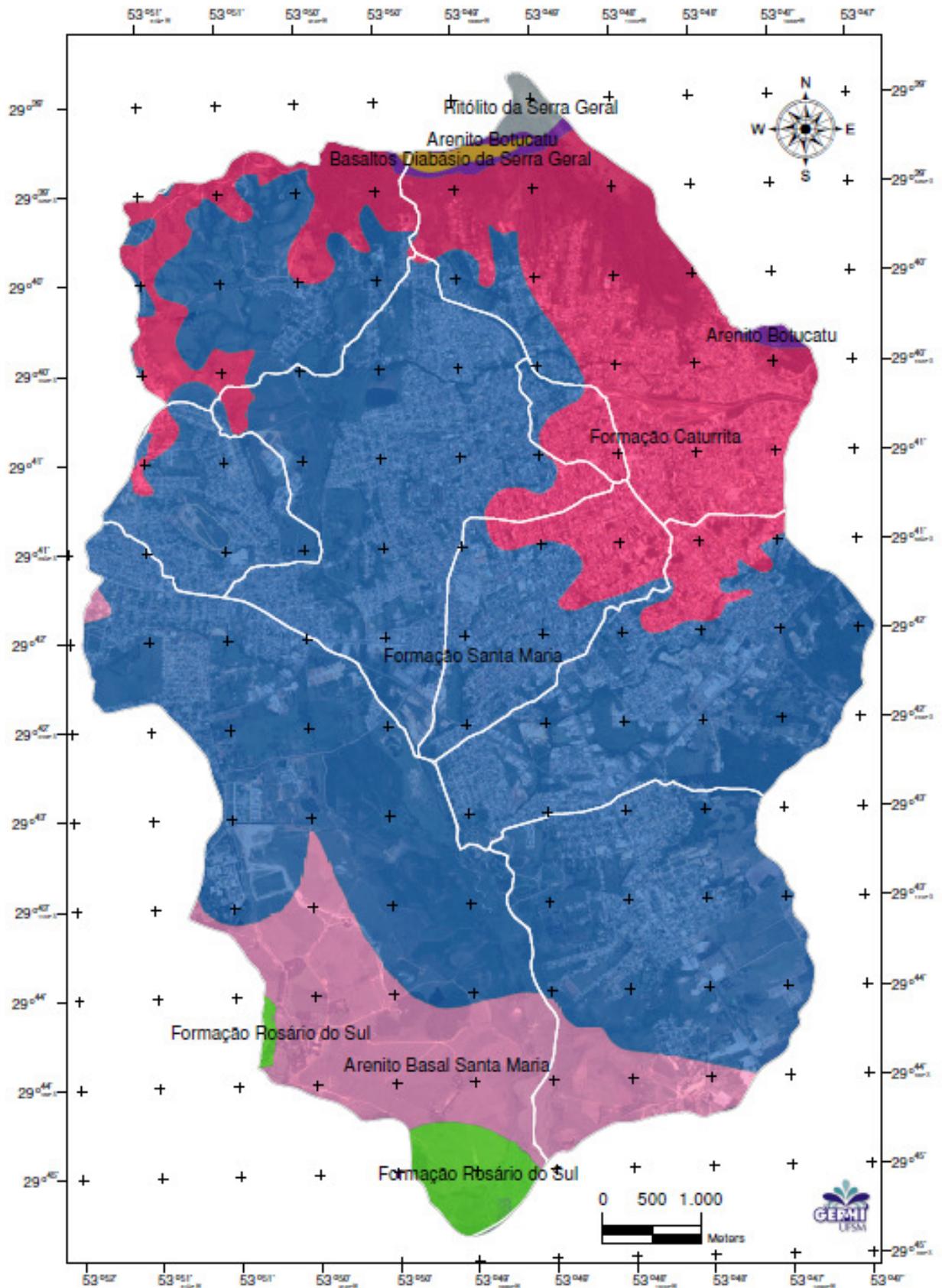
Para fundamentar o estudo da geologia em relação à área da sub-bacia tornou-se necessário que a análise fosse realizada por meio do conhecimento da constituição, de arranjos e interações das diferentes variáveis do meio físico. Estas variáveis ambientais foram delineadas por meio da permeabilidade, vulnerabilidade a poluição e resistência à erosão. Por meio do trabalho descritivo “Carta das Unidades Geotécnicas (CUG)”, Maciel Filho (1990). Foram extraídas concepções sobre o estudo, adotando os critérios da Associação Internacional de Geologia de Engenharia da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura UNESCO (1976). Cada unidade de mapeamento na sub-bacia do arroio Cadena é descrita em termos do substrato rochoso e do solo residual. São as seguintes: Formação Rosário do Sul, Arenito Basal Santa Maria, Formação Santa Maria exceto Arenito Basal, Formação Caturrita, Diabásio Serra Geral, Arenito Botucatu, Basaltos Serra Geral, Ritólito da Serra Geral.

A qualidade ambiental da sub-bacia é baseada nas características da formação por meio das variáveis de permeabilidade, resistência à erosão e vulnerabilidade á poluição. A tabela 3.7 demonstra o percentual em áreas que as formações ocupam dentro da sub-bacia de acordo com suas micro-bacias.

Tabela 3.6 - Distribuição de áreas de formações nas micro-bacias.

% de áreas de formações	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro Nsa Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Formação Caturrita	31,54	12,09	41,11	67,85	0,00	91,22	0,00	15,75	6,45
Arenito Basal Santa Maria	68,46	87,91	58,27	32,15	80,75	0,08	62,33	84,25	93,55
Arenito Botucatu	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	3,85	0,00	0,00	0,00
Diabásio da Serra	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	2,01	0,00	0,00	0,00
Arenito Basal Santa Maria	0,00	0,00	0,00	0,00	19,25	0,00	31,28	0,00	0,00
Ritólito da Serra Geral	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,84	0,00	0,00	0,00
Formação Rosario do Sul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,39	0,00	0,00

O Mapa 3.5 apresenta a distribuição espacial das micro-bacias em relação às formações geológicas existentes.



Legenda	
 M. Baías	 Formação Caturrita
 A. Basal Santa Maria	 Formação Rosário do Sul
 A. Botucatu	 Formação Santa Maria
 Diabásio da Serra Geral	 Riólito da Serra Geral

MAPA 3.5 - Geologia
 Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Maria - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

A permeabilidade, a resistência à erosão e a vulnerabilidade à poluição, observadas na CUG, serviram de base para o estudo das potencialidades das formações presentes na área delimitada pela sub-bacia do Arroio Cadena em relação à qualidade ambiental. Para condicionar a estimativa usando-se como base estas 3 feições, coube a priori investigar-se o encargo que cada uma representa sobre o tema geologia.

3.2.2.1 Permeabilidade

Segundo Weis et al.(2007), A permeabilidade dos solos traduz-se de sua influência na geração de escoamentos superficiais. A ocorrência de baixa infiltração acarreta o deslocamento em velocidade das águas superficiais, o que corrobora no deslocamento de materiais na superfície e a erodibilidade do solo.

A tabela 3.8 apresenta por meio da compilação do trabalho do especialista as características das formações que são relevantes ao propósito deste estudo em linguagem técnica formalizada.

Tabela 3.7 - Classificação das formações da Sub-bacia do Arroio Cadena segundo a permeabilidade, compilada de MACIEL FILHO (1990).

Formação	Permeabilidade	Características segundo MACIEL FILHO (1990)
Arenito Botucatu	Elevada	Alta permeabilidade, na região de estudo, que se processa por infiltração do solo na área de exposição.
Caturrita	Baixa	Baixa Permeabilidade devido a presença de muito silte e argila expansiva.
Rosário do Sul	Moderada a baixa	Permeabilidade moderada a baixa.
Santa Maria	Baixa	Praticamente impermeável. A parte superior funciona como uma capa impermeável, enquanto que os siltitos e arenitos argilosos da base são semipermeáveis.
Ritólito Serra Geral	Moderada	Permeabilidade fissural devido às fraturas, capacidade de armazenamento moderada.
Basaltos da Serra Geral	Baixa	Permeabilidade fissural devido às fraturas, capacidade de armazenamento baixa.
Arenito Basal Santa Maria	Elevada	Esta camada é permeável e possui aquífero livre e confinado.

Segundo Silveira et al. (1993), no entanto, sendo a viscosidade e a densidade constantes, para fins do estudo da percolação da água dentro do solo, considera-se permeabilidade e condutividade como sinônimos e dependentes do número de poros e também da maneira como eles estão interconectados.

McCarthy (1988) mostra que muitos fatores influenciam as condutividades hidráulicas, representadas pela variável K^6 , entre eles: a densidade e a viscosidade da água, tamanho, forma e número de poros, as propriedades do fluido e das partículas do solo que afetam a atração entre os dois materiais.

Segundo *U.S. Bureau of Plant Industry and Agricultural Engineering (1997)*, os solos podem ser classificados segundo a condutividade hidráulica, em sete classes, conforme a tabela 3.9. A Tabela apresenta valores típicos da Condutividade Hidráulica K (médios) em função dos materiais (solos arenosos e argilosos).

Tabela 3.8 - Condutividade Hidráulica K (cm/h)

Classe	Condutividade Hidráulica K (cm/h)
Muito lenta	< 0,13
Lenta	0,13 a 0,51
Moderadamente lenta	0,51 a 2,00
Moderada	2,00 a 6,30
Moderadamente rápida	6,30 a 12,70
Rápida	12,70 a 25,40
Muito Rápida	>25,40

Fonte U.S. BUREAU OF PLANT INDUSTRY AND AGRICULTURAL ENGINEERING

Os índices de qualidade ambiental da sub-bacia para permeabilidade foram expressos por pesos em um intervalo normalizado entre 0 e 1, conforme a tabela 3.10, demonstrando o potencial permeável da formação. A tabela relaciona a classificação das formações segundo o especialista com a condutividade hidráulica ou com a velocidade de percolação das formações.

Tabela 3.9 - Valores típicos do coeficiente de permeabilidade K(cm/h)

Tipo de solo	Classe	K (cm/h)	Valores Normalizados
Impermeável	Muito lenta	< 0,13	0,005
	Lenta	0,13 a 0,51	0,012
Moderadamente permeável	Moderadamente lenta	0,51 a 2,00	0,04
	Moderada	2,00 a 6,30	0,16
Permeáveis	Moderadamente rápida	6,30 a 12,70	0,37
	Rápida	12,70 a 25,40	0,75
	Muito Rápida	>25,40	1

⁶ A condutividade K pode ser determinada diretamente no campo ou no laboratório em amostras de solo inalteradas (com sua estrutura natural). Em ambos os casos, os métodos de medida baseiam-se no mesmo princípio: impõem-se certas condições ao fluxo da água por meio de um volume de solo e mede-se a descarga ou a densidade do fluxo.

Da normalização dos pesos para permeabilidade e das relações expostas pelo especialista pode-se configurar uma relação baseada no conhecimento prévio. A tabela 3.11 apresenta estas relações. Como se tratou da permeabilidade natural e típica de cada formação, com o interesse de uma classificação quantitativa torna-se necessário o estabelecimento de critérios para a determinação de pesos para esta feição. A partir da permeabilidade do solo, adotaram-se as classificações quanto à estabilidade da formação, em relação à vocação, em relação à condutividade hidráulica ou com a velocidade de percolação das formações e, por conseguinte a qualidade ambiental da área em relação à capacidade de reduzir o efeito de geração de escoamentos superficiais, organizando-se a tabela 3.13 de pesos para as formações segundo o critério, normalizados por meio do valor de K.

Tabela 3.10 - Pesos para as formações - Permeabilidade das formações.

Formação	Permeabilidade	Peso normalizado
Arenito Botucatu	Elevada	1
Formação Caturrita	Moderada a baixa	0,37
Formação Rosário do Sul	Moderada a baixa	0,04
Formação Santa Maria	Baixa	0,012
Ritólito Serra Geral	Moderada	0,16
Basaltos da Serra Geral	Elevada	1
Arenito Basal Santa Maria	Elevada	1

Por meio de geoprocessamento tem-se as áreas de cada micro-bacia com a área da formação. Cada formação possui um peso em relação à permeabilidade. Quanto maior a permeabilidade menor a erosão laminar.

3.2.2.2 Resistencia a erosão

Bastos et al. (1999) considera o processo de resistência à erosão constituído basicamente de três eventos seqüenciais caracterizados pelo desprendimento das partículas dos agregados do solo, do transporte e da deposição das partículas carregadas nas seções inferiores das paisagens. Esse desprendimento e transporte são causados pela ação das gotas de chuva e da força cisalhante do escoamento superficial, constituindo a fase inicial e mais importante da erosão hídrica. Para um sistema ambiental, quanto maior a resistência à erosão menor os danos ambientais.

A tabela 3.12 apresenta a percepção do especialista em ordem crescente de resistência à erosão da esquerda para a direita.

Tabela 3.11 - Resistência à erosão, compilada de MACIEL FILHO (1990).

Resistência à Erosão	Baixa	Baixa ou pouco moderada	Moderada	Alta
----------------------	-------	-------------------------	----------	------

Da mesma forma que a permeabilidade, a resistência à erosão em relação à ação antrópica relaciona que uma área de maior resistência à erosão será mais propícia a receber intervenções. A tabela 3.13 apresenta os pesos normalizados para a resistência à erosão das formações da sub-bacia.

Tabela 3.12 - Classificação das formações da Sub-bacia do Arroio Cadena segundo a resistência à erosão, compilada de MACIEL FILHO (1990).

Formação	Resistência à erosão
Arenito Botucatu	Alta (região de estudo)
Formação Caturrita	Baixa
Formação Rosário do Sul	Pouca ou baixa
Formação Santa Maria	Baixa
Ritólito Serra Geral	Baixa
Basaltos e Diabásio Serra Geral	Baixa (por escorregamento)
Arenito Basal Santa Maria	Pouca ou baixa

Fonte: Compilada de MACIEL FILHO(1990)

A tabela 3.14 apresenta os valores normalizados em intervalo de zero a 1 adaptado de acordo com a percepção do especialista.

Tabela 3.13 - Peso normalizado para Resistência à erosão, compilada de Maciel Filho (1990).

Resistência à Erosão	Baixa	Baixa ou pouco moderada	Moderada	Alta
Peso normalizado para Resistência à erosão	0,1	0,2	0,5	1,0

3.2.2.3 Vulnerabilidade à Poluição

A vulnerabilidade à poluição, nos estudos de geologia tem proveniência das conclusões da conferência internacional sobre o tema Vulnerabilidade do solo e das

águas subterrâneas aos poluentes, em inglês "*Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*" Duijvenbooden e Waegeningh, (1987), definem a vulnerabilidade à poluição do solo e das águas subterrâneas como:

“A sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente é função apenas das características intrínsecas do aquífero”.

A vulnerabilidade de uma formação está à mercê da pressão antrópica, ou seja, quanto maior for o grau de ocupação da região, maiores serão os problemas oriundos da vulnerabilidade a poluição da formação. Em regiões não habitadas o grau de vulnerabilidade pode ser usado para estudar o quão propícia estará a região em receber empreendimentos. Evidentemente, nas regiões em que a ocupação humana já está consolidada ocorrem problemas também consolidados para a formação mais vulnerável. Condicionado a esta sistemática, a tabela 3.15, apresenta a classificação das formações da sub-bacia do Arroio Cadena segundo a vulnerabilidade à poluição, compilada de Maciel Filho (1990).

Tabela 3.14 - Classificação das formações da Sub-bacia do Arroio Cadena segundo a vulnerabilidade à poluição, Compilada de MACIEL FILHO (1990).

Formação	Vulnerabilidade
Arenito Botucatu	Alta
Formação Caturrita	Média
Formação Rosário do Sul	Baixa a média (moderada)
Formação Santa Maria	Baixa
Ritólito Serra Geral	Elevada ou alta
Diabásio Serra Geral	Elevada ou alta (local de estudo)
Arenito Basal Santa Maria	Alta

Na obtenção de indicadores, uma formação com maior vulnerabilidade à poluição será dado menor valor dentro de um escore de zero a 1 dos valores normalizados. A tabela 3.16 apresenta a classificação das formações da sub-bacia do Arroio Cadena segundo a vulnerabilidade à poluição. Para este caso, pode-se extrair que, os valores normalizados serão maiores onde a vulnerabilidade é menor.

Tabela 3.15 - Classificação das formações da Sub-bacia do Arroio Cadena segundo a vulnerabilidade à poluição, Compilada de MACIEL FILHO (1990).

Formação	Vulnerabilidade	Peso normalizado para vulnerabilidade à poluição
Arenito Botucatu	Alta	0,2
Formação Caturrita	Média	0,6
Formação Rosário do Sul	Baixa a média (moderada)	0,4
Formação Santa Maria	Baixa	1,0
Ritólito Serra Geral	Elevada ou alta	0,2
Diabásio Serra Geral	Elevada ou alta (local de estudo)	0,2
Arenito Basal Santa Maria	Alta	0,2

3.2.3 Pedologia

O levantamento pedológico consiste de dois componentes: mapa e relatório técnico. O mapa mostra a distribuição espacial dos solos na paisagem, enquanto o relatório aborda as suas características morfológicas, químicas, físico-hídricas e mineralógicas. O mapeamento de vulnerabilidade dos solos⁷ é uma técnica semi-quantitativa que permite a determinação de áreas onde a proteção ambiental promovida pelo componente solo é menor. Isso se dá por meio da utilização de dados primários ou secundários. Quando os solos recebem cargas de contaminantes, seus diversos componentes atuam no sentido de diminuir a mobilidade desses elementos. Isso caracteriza as barreiras geoquímicas de Glasovskaya (1990). Porém, os metais outrora acumulados, se incorporados continuamente atingirão a carga crítica⁸ do solo em questão.

⁷ Vulnerabilidade dos solos foi definida pelo Seminário sobre Vulnerabilidade na Europa SOVEUR (Soil Vulnerability in Europe), ocorrido em março de 1991 em Wageningen, Holanda, como sendo a “capacidade do solo ser danificado em uma ou mais de suas funções ecológicas, as quais foram definidas como (1) a produção de húmus e (2) a capacidade de filtrar, armazenar, tamponar e transformar metais pesados, produtos orgânicos químicos persistentes e outros xenobióticos”

⁸ “Carga crítica pode ser definida como sendo a quantidade máxima de um certo contaminante que um ecossistema pode suportar sem graves danos às suas funções ecológicas” (NILLSON E GREENFELT, 1988).

Segundo Crepani et al. (1996), e Palmeira (2003), no estudo da pedologia os valores de intensidade pluviométrica são considerados representativos da energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética, responsável pela erosividade da chuva. Logo, pode-se dizer que quanto maior o valor da intensidade pluviométrica maior será a erosividade da chuva. A causa fundamental da erosão hídrica, seja ela laminar, em sulcos ou ravinas é a ação da chuva sobre o solo. A chuva é o agente ativo da erosão e o solo é o agente passivo. O termo erodibilidade se refere à capacidade de um determinado solo resistir à erosão. A erodibilidade de um solo é função das condições internas ou intrínsecas do solo, como sua composição mineralógica e granulométrica e características físicas e químicas, e das suas condições externas ou atributos da superfície do solo, relacionadas ao manejo do solo. Para a caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural nos aspectos relativos ao solo são enfocadas suas condições intrínsecas, enquanto que para a análise dos polígonos de ação antrópica são abordados os seus atributos de superfície.

A maior ou menor suscetibilidade de um solo a sofrer os processos erosivos da morfogênese depende de diversos fatores e os mais importantes são: estrutura do solo, tipo e quantidade das argilas, permeabilidade e profundidade do solo e a presença de camadas impermeáveis. É difícil estabelecer-se uma linha divisória entre o que é erosão natural e o que é erosão induzida pelas atividades antrópicas, por isso o correto é considerar-se que o processo natural de erosão é acelerado pelas atividades do homem.

A questão é saber qual o nível de erosão a partir do qual a capacidade do solo em sustentar a vida fica prejudicada e o material transportado para fora da área de erosão vai provocar problemas em outro local. A situação ideal seria aquela em que o solo somente fosse utilizado de maneira que o seu uso pudesse ser sustentado indefinidamente, e isso poderia ser conseguido se a taxa média de perda superficial de solo por erosão não excedesse a taxa média de formação ou renovação superficial de solo pelos agentes de intemperismo.

Uma unidade de paisagem natural é considerada vulnerável quando prevalecem os processos modificadores do relevo (morfogênese) e, por isso, existe um predomínio dos processos de erosão em detrimento aos processos de formação e desenvolvimento do solo.

Nas unidades de paisagem naturais consideradas estáveis o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 1 e são representados pela classe de solos do tipo Latossolos. Os Latossolos são solos bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade sendo, portanto, considerados os solos cujos materiais são os mais decompostos. São considerados solos velhos ou maduros. São em geral, solos pouco suscetíveis aos processos erosivos e ocorrem geralmente em topografia mais suave.

Nas unidades de paisagem naturais consideradas na sub-bacia como intermediárias o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 2, e são representados pela classe de solos do tipo Podzólicos. Os solos Podzólicos, quando comparados com os Latossolos, apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e menos intemperizados. Ocorrem geralmente em topografias um pouco mais movimentadas. Nestes solos a diferença de textura entre os horizontes A e B (ocasionada pelo acúmulo de argila no horizonte B) dificulta a infiltração de água no perfil, o que favorece os processos erosivos.

Nas unidades de paisagem natural considerada vulneráveis ocorrem solos aos quais é atribuído o valor 3, e estes solos são jovens e pouco desenvolvidos, isto é, sua característica principal é a pequena evolução dos perfis de solo. Nestes solos o horizonte A está assentado diretamente sobre o horizonte C ou então assentado diretamente sobre a rocha mãe (não possuem o horizonte B). São considerados como sendo solos jovens, em fase inicial de formação porque estão ainda se desenvolvendo a partir dos materiais de origem recentemente depositados, ou então porque estão situados em lugares de alta declividade, nos quais a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de transformação da rocha em solo.

A sub-bacia do Arroio Cadena apresenta uma diversificação de tipos de solos sendo encontradas as classes dos alissolos, argissolos, neossolos e planossolos. Rosa et. All (2006) apresenta as classes de solos da área de estudo por meio do “Levantamento Semidetalhado de Solos em Ambientes Urbanos”. Estas classes foram relacionadas à classificação de Vulnerabilidade/Estabilidade de Crepani et al (2001) e apresentados por meio da Tabela 3.22 da Vulnerabilidade/Estabilidade em relação aos tipos de Solos. Os valores são apresentados na última coluna da mesma tabela.

O estudo baseia-se na qualidade ambiental da região em detrimento da escala de valores de vulnerabilidade/estabilidade de Crepani et al (2001).

Tabela 3.16 - Vulnerabilidade/Estabilidade – Tipos de Solos, compilada de CREPANI, 2001.

Tipo de solo	Nomenclatura	Relevo	Textura	Vulnerabilidade estabilidade Crepani et al, 2001
ACt1	Alissolo crômico argilúvico	suave ondulado a ondulado	Arenosa média	2,0
ACt4	Alissolo crômico argilúvico	suave ondulado	Argilosa média	2,0
APt1	Alissolo hipocromico argilúvico	ondulado	Arenosa média	2,0
APt6	Alissolo hipocromico argilúvico	ondulado	Argilosa média	2,0
PAd	Argissolo amarelo distrófico	suave ondulado	Arenosa argilosa	2,0
PVAd1	Argissolo vermelho-amarelo distrófico	suave ondulado	Arenosa argilosa	2,0
PVAd2	Argissolo vermelho-amarelo distrófico	suave ondulado	Arenosa média	2,0
RRe1	Neossolo regolítico eutrófico léptico	ondulado	Arenosa média	3,0
RRe2	Neossolo regolítico eutrófico léptico	suave ondulado a ondulado	Arenosa média	3,0
SGd1	Planossolo hidromórfico distrófico	plano suave ondulado a	Arenosa argilosa	2,0

A Tabela 3.17 apresenta a distribuição percentual dos diversos tipos de solos dentro da sub-bacia.

Tabela 3.17 - Distribuição de áreas de acordo com tipo de solo dentro da área da sub-bacia.

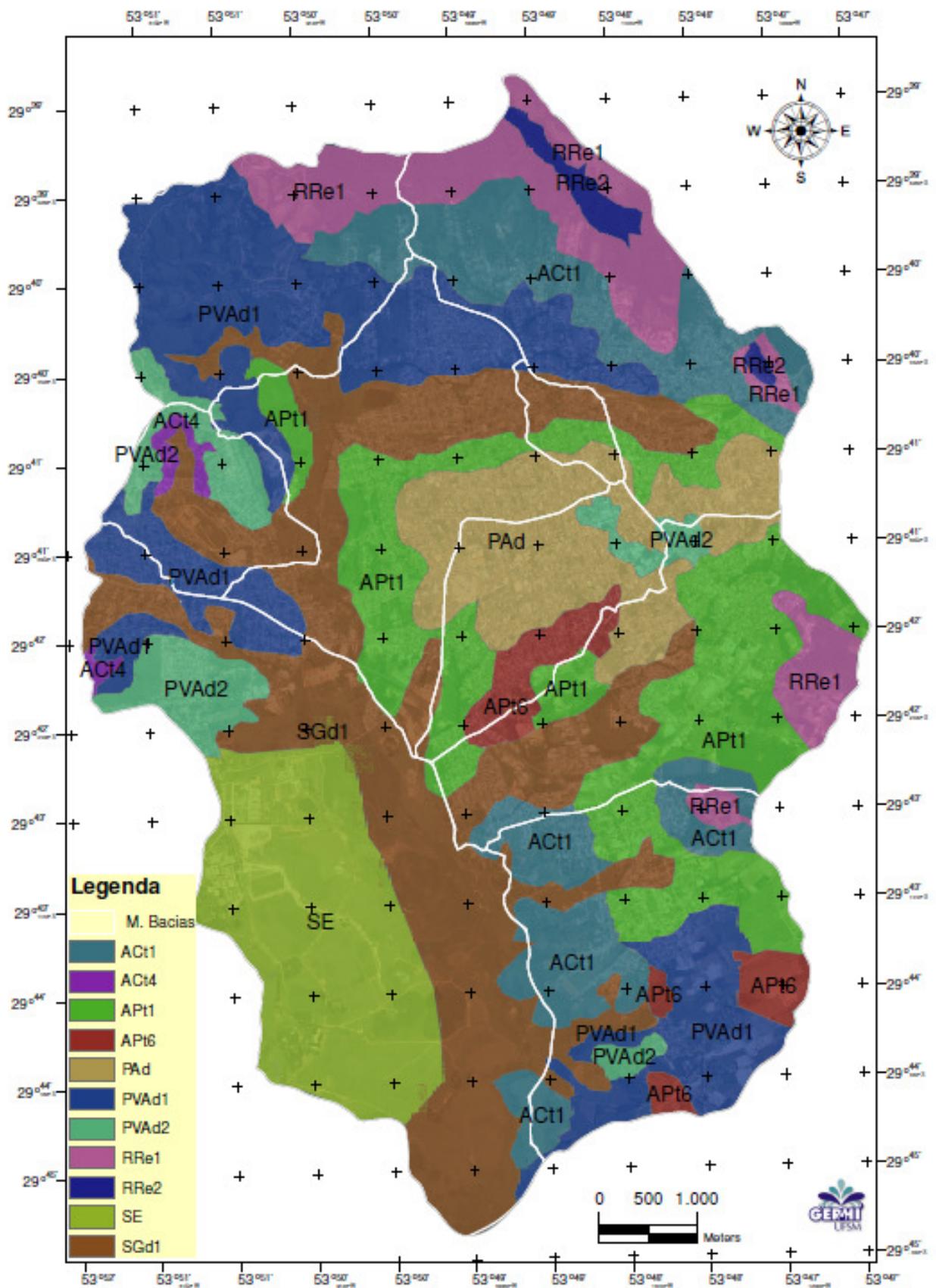
Distribuição percentual dos tipos de solos	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro Nsa Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
ACt1	0,00	5,81	9,15	0,00	28,27	38,66	2,71	0,00	0,00
ACt4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	8,86
APt1	16,65	47,40	0,91	0,00	20,10	6,95	0,24	27,09	0,00
APt6	18,61	3,19	0,00	0,00	8,32	0,00	0,00	0,00	0,00
PAd	57,84	9,86	0,00	23,13	0,00	8,82	0,00	16,98	0,00
PVAd1	0,00	0,00	60,83	2,28	27,82	10,15	6,73	21,97	27,21
PVAd2	6,90	1,90	3,19	0,00	2,41	0,30	7,08	0,22	29,60
RRe1	0,00	11,12	18,75	0,00	2,11	23,65	0,00	0,00	0,00
RRe2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,34	0,00	0,00	0,00
SE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,97	0,00	0,00
SGd1	0,00	20,71	7,16	74,59	10,98	6,12	41,73	33,74	34,33

O quadro 3.18 apresenta os tipos, nomenclaturas e tipo de relevo e textura dos solos da sub-bacia. Como o estudo baseia-se na qualidade ambiental da região em detrimento de uma escala ascendente de valores de vulnerabilidade/estabilidade de Crepani (2001). Após a normalização dos pesos os valores devem ser subtraídos da unidade para conformar, conforme Lima (2002) valores padronizados no estudo, além de atribuir uma unidade de valoração para mais e para menos com o intuito de excluir índices de valoração nula.

Tabela 3.17 - Tipos, nomenclaturas e tipo de relevo e textura dos solos da sub-bacia compilada de ROSA, 2006 e CREPANI, 2001.

Tipo de solo	Nomenclatura	Relevo	Textura	Vulnerabilidade estabilidade Crepani et al, 2001	1-(n) n - peso normalizado
ACt1	Alissolo crômico argilúvico	suave ondulado a ondulado	Arenosa média	2,0	0,5
ACt4	Alissolo crômico argilúvico	suave ondulado	Argilosa média	2,0	0,5
APt1	Alissolo hipocromico argilúvico	ondulado	Arenosa média	2,0	0,5
APt6	Alissolo hipocromico argilúvico	ondulado	Argilosa média	2,0	0,5
PAd	Argissolo amarelo distrófico	suave ondulado	Arenosa argilosa	2,0	0,5
PVAd1	Argissolo vermelho-amarelo distrófico	suave ondulado	Arenosa argilosa	2,0	0,5
PVAd2	Argissolo vermelho-amarelo distrófico	suave ondulado	Arenosa média	2,0	0,5
RRe1	Neossolo regolítico eutrófico léptico	ondulado	Arenosa média	3,0	0,25
RRe2	Neossolo regolítico eutrófico léptico	suave ondulado a ondulado	Arenosa média	3,0	0,25
SGd1	Planossolo hidromórfico distrófico	plano a suave ondulado	Arenosa argilosa	2,0	0,5

O Mapa 3.6 representa a distribuição das unidades pedológicas contidas na sub-bacia agregando as áreas limites das micro-bacias.



MAPA 3.6 - Pedologia - Unidades pedológicas. □

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Maria - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

3.3 Feições de Impacto

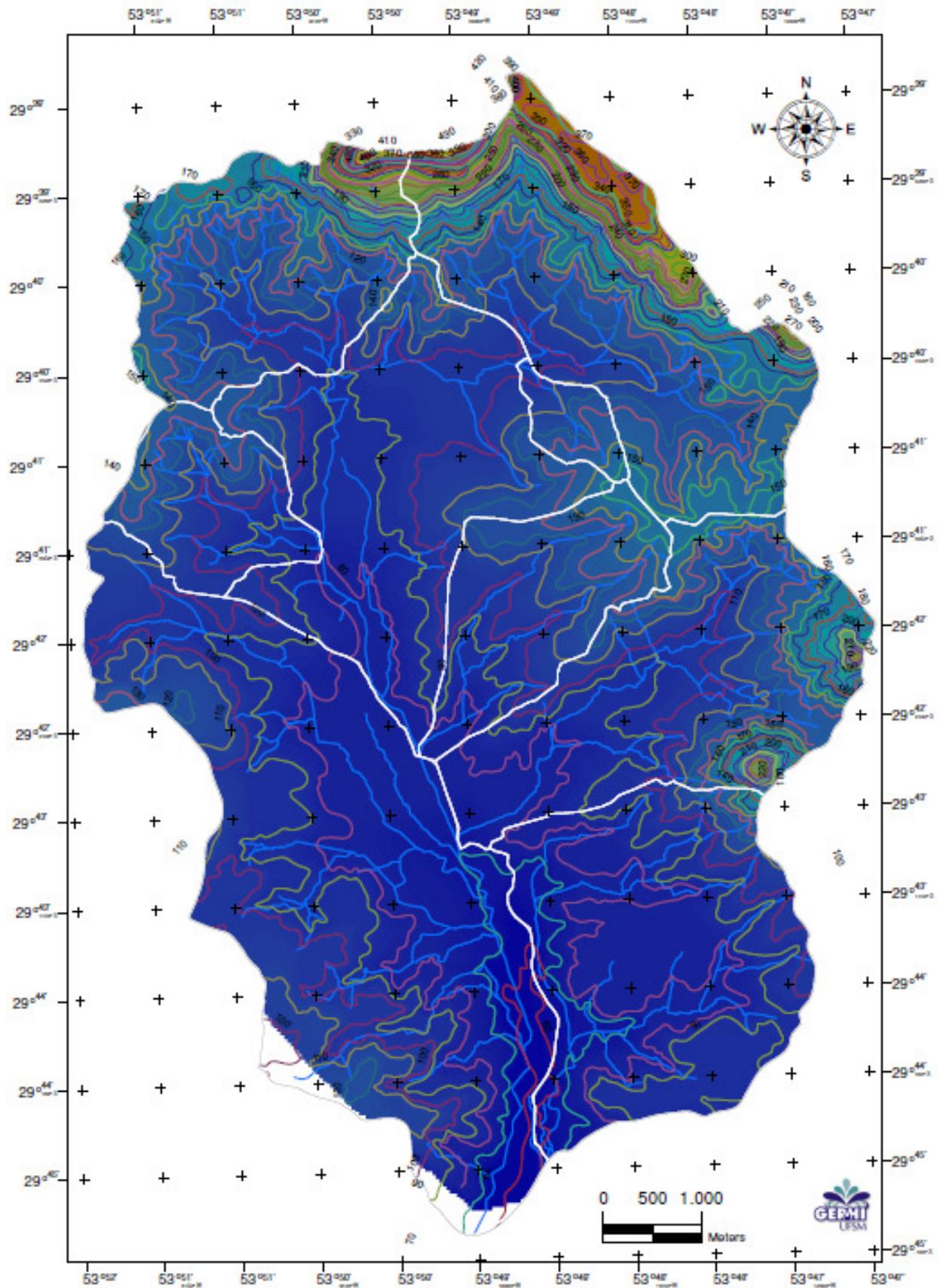
3.3.1 Áreas de Risco

Com o propósito de gerar a representação das áreas de risco da bacia, torna-se necessário inicialmente a representação de um modelo numérico do terreno (MNT) com valores representativos do relevo para conformar as declividades da bacia e suas áreas de risco. O arquivo de curvas de nível recortada pelo limite da bacia foi confeccionado a partir da Carta Topográfica de Santa Maria – SE (Folha SH.22–V–C–IV/1–SE), na escala de 1:25.000, elaborada pela Divisão de Serviços Geográficos do Exército Brasileiro.

O Modelo Numérico do Terreno (MNT) para o estudo foi gerado por meio da estrutura de grade triangular ou TIN (do inglês “*Triangular Irregular Network*”), que é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo nó-arco e representa uma superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x, y) e o atributo z, correspondente ao valor de elevação ou altitude, o mapa 3.7 representa o MNT da sub-bacia com a hidrografia, com esta avaliação é possível discriminar áreas de forma relativa, além de apresentar de forma específica os problemas de cada sub-bacias.

Na sequência obtiveram-se as feições das curvas de nível em intervalos de 10 metros, gerando a grade triangular vetorial com topologia nó-arco em faces triangulares no formato vetorial.

A declividade do terreno é expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa. O modelo numérico do terreno foi utilizado como imagem de entrada para a geração do mapa de declividade. A imagem de declividade gerada é do tipo contínuo, por apresentar valores reais, vide Mapa 3.8. Esta imagem foi fatiada e, as classes de declividades discriminadas em seis intervalos distintos sugeridos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 1979: 0-3% (relevo plano), 3-8% (relevo suavemente ondulado), 8-20% (relevo ondulado), 20-45% (relevo fortemente ondulado), 45-75% (relevo montanhoso), e, > 75% (relevo fortemente montanhoso). Para a elaboração do mapa de declividade da bacia hidrográfica, usou-se o MNT da bacia (contínuo e sem intervalos).



MAPA 3.8 - Mapa da declividade em modelo contínuo.

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Maria - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

A Lei Federal n.º 6.966/79 do Parcelamento do Solo Urbano, em seu artigo 3º e parágrafo único, estabelece que:

[...]somente seja admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal, não sendo permitido o parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30% salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes.

Contudo, há uma brecha que deixa a critério dos municípios a aceitação da ocupação da faixa de declividade entre 30 e 45% desde que seja apresentado laudo geotécnico.

A Lei n.º 33 de 29 de dezembro de 2005 do Uso e Ocupação do Solo de Santa Maria, em seu artigo 38, em relação à declividade dita o seguinte:

“[...] Art. 38. Não é permitido o parcelamento do solo”:

“[...] III Em terreno com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), **salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;**[...]

“[...]§ 2º. No caso de parcelamento de glebas com declividade **de 30% (trinta por cento) a 45% (quarenta e cinco por cento)**, o projeto respectivo deve ser acompanhado de declaração do responsável técnico de que é viável edificar-se no local e de laudo geotécnico.

Por meio da análise da lei Lei n.º 33 de 29 de dezembro de 2005 do Uso e Ocupação do Solo de Santa Maria, e da situação dos desmembramentos ocorridos na cidade no que tange à região de estudo, pode-se verificar que a cobertura vegetal possui dependência da conservação da vegetação natural em função das características do relevo.

Duas hipóteses estão relacionadas neste trabalho para a feição declividade, uma relacionada à vegetação e outra relacionada à dissecação do relevo. É a partir destas hipóteses que se desenvolve o valor do indicador ambiental de declividade.

Segundo ROSS (1994) as unidades de fragilidade dos ambientes naturais devem ser resultantes dos levantamentos básicos de geomorfologia. Esses elementos tratados de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

Este modelo propõe que cada uma destas variáveis seja hierarquizada em classes de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 3,0 e as mais vulneráveis estarão próximas de 5,0.

Em relação à vegetação, a observação em classes de declividade heterogênea observa-se que a conservação da vegetação nativa é mais pronunciada em áreas de maior declividade (acima de 20 %), característica observada também na sub-bacia do Arroio Cadena sendo que esta área conservada decresce com o aplainamento do terreno e torna a aumentar sutilmente em áreas de 0-3 % de declividade. Esta observação denota uma relação entre a declividade e a conservação da vegetação, a qual é nitidamente condicionada à dissecação do terreno.

Para se estabelecer os intervalos das classes de declividade foram utilizados os intervalos já consagrados nos estudos de Capacidade de Uso associados aos valores já conhecidos de limites críticos de geotécnica. Para índices de dissecação do Relevo/Cobertura Vegetal – categoria hierárquica muito fraca (1) a muito e severamente forte (5);

Desta forma, as classes de declividade foram hierarquizadas em seis categorias:

1. Muito Fraco – < 3%
2. Fraco – 3 a 8%
3. Médio – 8 a 20%
4. Forte – 20 a 45%
5. Muito Forte – 45% a 75%
6. Severamente Forte - > 75%

A tabela 3.19 apresenta a distribuição das áreas de cada micro-bacia em estudo de acordo com o percentual de declividade expresso em lei. Esta tabela demonstra em suma a relação da qualidade ambiental em risco ambiental pela expansão urbana em áreas com declividades passíveis de comprometimento em relação à declividade baseado nas características da vegetação existente na área da sub-bacia.

Tabela 3.18 - Áreas por percentual de declividade das micro bacias na área de estudo.

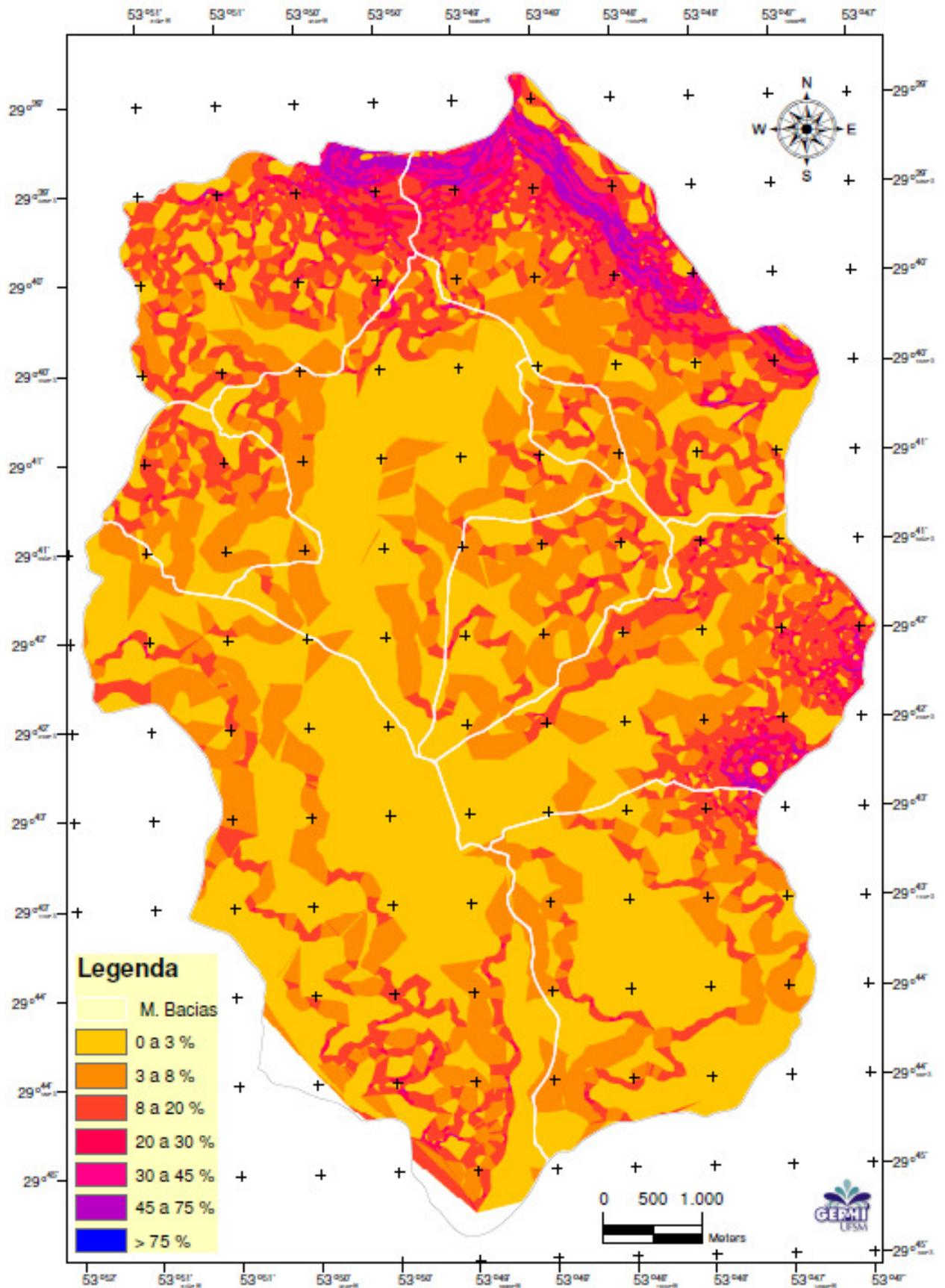
Áreas por percentual	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa .Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
0 – 3 Muito Fraco	44,9	34,9	27,4	32,2	58,3	22,6	57,8	45,6	35,8
3 – 8 Fraco	14,2	14,8	7,5	15,9	14,6	7,4	16,7	30,9	21,6
8 – 20 Médio	36,7	29,9	33,9	47,7	23,0	27,7	21,6	20,3	37,7
20 – 45 Forte	4,2	16,3	22,1	3,9	3,9	25,3	3,7	3,0	4,9
45 – 75 Muito Forte	0,0	3,3	5,6	0,2	0,2	10,3	0,1	0,2	0,0
> 75 Severamente Forte	0,0	0,9	3,6	0,0	0,0	6,6	0,0	0,0	0,0

Os valores estimados em relação à declividade no modelo dissecação do relevo/cobertura vegetal são os apresentados na tabela 3.20 de valores para a qualidade ambiental. Porém, segundo a legislação vigente na cidade de Santa Maria, em declividades acima de 45% torna-se proibitivo edificar (áreas de risco).

Coube atribuir um valor unitário máximo para classes de declividade de zero a 45%, principalmente em relação ao percentual de declividade flexível em torno de 20 e 45% que fica no “limbo” para classificar este indicador pelas considerações da EMBRAPA e da LUOS do município. Acima deste percentual, conferem-se características prejudiciais à qualidade ambiental do ponto de vista do relevo e das condições de se edificar em Santa Maria, a tabela 3.20 apresenta os índices parciais para o cálculo da declividade. O Mapa 3.9 demonstra a declividade em percentual relacionada à vegetação e dissecação do relevo.

Tabela 3.19 - Valores normalizados para classes de declividade

Classes de declividade Vegetação/dissecação do relevo	Valor normalizado
Muito Fraco – < 3%	1
Fraco – 3 a 8%	1
Médio – 8 a 20%	1
Forte – 20 a 45%	1
Muito Forte – 45% a 75%	0
Severamente Forte – > 75%	0



MAPA 3.9 - Declividade em percentual relacionada à vegetação e dissecação do relevo.

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
Município de Santa Maria - RS
Sistema de projeção: UTM
Sistema de referência: SIRGAS 2000
Fuso: 22S

3.3.2 Áreas de Conservação Natural e Áreas de Preservação Permanente

Na cidade de Santa Maria a LEI COMPLEMENTAR. N° 033 de 29 de dezembro de 2005 instituiu a em seu artigo de número dez, as áreas de preservação:

“ O território municipal terá áreas especiais naturais, definidas e delimitadas no ANEXO 12 (Mapa das Áreas Especiais Naturais), parte integrante da presente Lei, que estão classificadas em Áreas de Conservação Natural e Áreas de Preservação Permanente.

§ 1º. Áreas Especiais de Conservação Natural, particulares ou públicas, são aquelas onde podem conviver Homem e Ecossistemas, sem grandes impactos ou traumas ambientais, destinadas ao turismo ecológico, atividades culturais, educacionais, recreativas, de lazer e loteamentos, desde que respeitem os recursos naturais...”

“... 2) Área de Conservação Natural - Arroios Cadena-Cancela constituído pelo Arroio Cadena, seu tributário Arroio Cancela, Parque Itaimbé, Parque Municipal Ferroviário, Parque Medianeira e outras áreas verdes contíguas; ...

... § 2º. Áreas Especiais de Preservação Permanente são aquelas com inclinação igual ou superior a 45º (quarenta e cinco graus), cursos hídricos e suas margens contendo ou não matas ciliares, áreas vegetadas ou não no entorno de nascentes, topos de morros, como forma de proteger a água, o solo e toda ou qualquer cobertura vegetal com características originais da paisagem, conforme listagem a seguir:

1. Morro Mariano da Rocha situado na altura igual ou superior a cota 150,00m, localizada ao Sul da Rodovia RST-287 e a Sudeste da Rodovia BR-158;
2. Morro Cerrito situado na altura igual ou superior a cota 200,00m, localizada ao Norte da Rodovia RST-287 e a Sudeste da Rodovia BR-158;
3. Morro Cechella situado na altura igual ou superior a cota 190,00m, localizado a Sudoeste da Barragem do Vacacaí Mirim e a Leste da Rua Vereador Antonio Dias;
4. Barragem do Vacacaí-Mirim: a área compreendida pelo reservatório artificial de água e sua respectiva margem com largura mínima de 30 metros, em projeção horizontal, no entorno do reservatório artificial, medida a partir do nível máximo normal, conforme legislação específica;
5. Morro do Monumento ao Ferroviário situado na altura igual ou maior a cota 175,00, ao Norte da cidade;
6. Mananciais Hídricos constituídos por cursos d'água, suas margens, matas ciliares e qualquer tipo de vegetação natural, conforme legislação vigente específica;
7. Áreas naturais com declividade igual ou superior a 45º (trinta graus), conforme legislação específica.”

O anexo 12, referido no texto, apresenta as áreas de conservação natural e preservação permanente da cidade de Santa Maria, sub-bacia do Arroio Cadena e pode ser acessado no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA em www.santamaria.rs.gov.br).

Primeiramente surgiu a necessidade de delinear as áreas de preservação do entorno dos rios e córregos existentes na área de estudo para que fossem todas inseridas no trabalho. Sendo assim, foi realizado um levantamento de campo de toda a rede hidrográfica da sub-bacia. Na sequência, foi necessária uma classificação em ordem de hierarquização fluvial, para que fosse possível verificar o grau de influência em cada micro-bacia em termos de APPs. A sistemática utilizada foi a de Strahler (1964).

A tabela 3.21 apresenta a rede de rios da bacia do Arroio Cadena expressa em percentual do comprimento dos seus rios e na ordem de hierarquia segundo Strahler (1964). A tabela 3.29 representa uma parcela das principais nascentes localizadas na área de estudo por meio do levantamento de campo.

Tabela 3.20 - Percentual de extensão dos rios de acordo com a ordem de STRAHLER, 1964.

% de comprimento de rios e na Ordem de STRAHLER	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa .Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
1.o Ordem	53,3	44,8	58,1	51,4	61,1	67,5	46,1	33,2	61,9
2.o Ordem	46,7	22,8	19,2	48,6	23,9	17,3	30,2	9,3	17,3
3.o Ordem	0,0	15,7	14,0	0,0	14,9	13,4	8,1	0,0	20,9
4.o Ordem	0,0	16,8	8,8	0,0	0,0	1,7	0,0	9,7	0,0
5.o Ordem	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	47,8	0,0

Tabela 3.22 – Quantidade de nascentes localizadas na área de estudo.

Micro Bacias /n.º de nascentes	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro Nsa .Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Totais	13	22	34	7	32	27	55	64	13

Por meio da espacialização dos dados das tabelas 3.21 e 3.22 e de um processo de buffers os indicadores relativos às áreas de preservação permanente

após o levantamento dos mananciais dentro da área da bacia, foram enquadrados e representados segundo o Código Florestal, em seu art. 2º:

“As florestas e demais formas de vegetação natural situada:”

“[...] ao longo dos rios ou de qualquer curso d’água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

- 1) de 30 metros para os cursos d’água de menos de dez metros de largura;
- 2) de 50 metros para os cursos d’água que tenham de dez a 50 metros de largura;
 - b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d’água naturais ou artificiais;
 - c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d’água, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 metros de largura;
 - d) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d’água, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 metros de largura.”

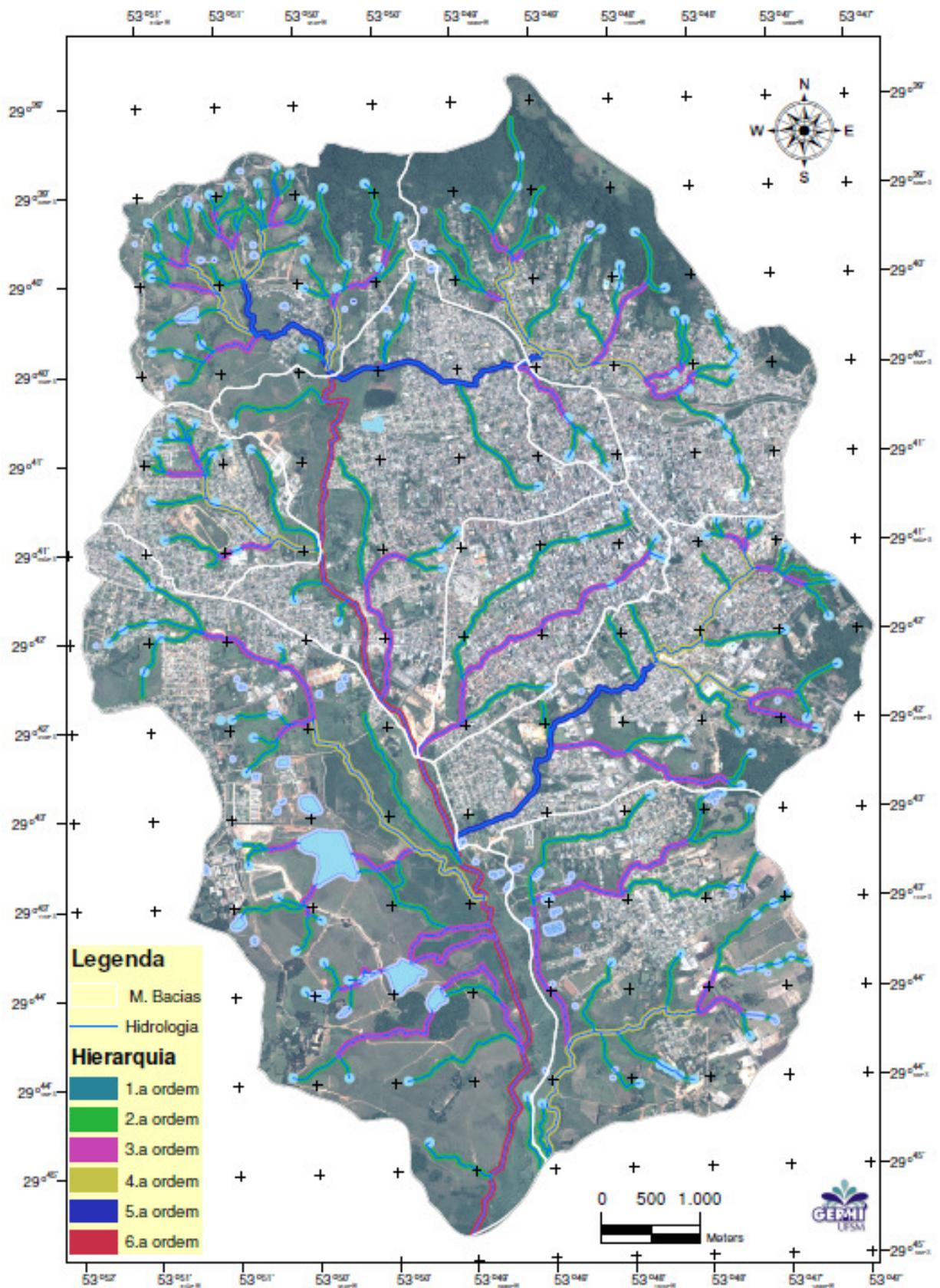
Para a atribuição de pesos na análise do sistema hídrico da sub-bacia, coube relacionar duas metodologias. A primeira trata da importância de cada manancial em relação à sua posição ordem fluvial. Para o estudo da sub-bacia do Arroio Cadena foi utilizado a ordem dos cursos d’água segundo Strahler (1964), com o intuito de avaliar o comprometimento da rede de drenagem da bacia de montante para jusante, ou seja, à medida que um rio é classificado como de 1.a ordem, mais próximo estará das nascentes e assim mais comprometida fica qualidade ambiental deste rio no caso de uma bacia hidrográfica urbana. Da mesma forma, à medida que uma área de preservação se situa mais próxima de uma nascente mais comprometida estará com a qualidade ambiental da região.

Em uma segunda etapa, ainda baseada na legislação local coube particularizar-se as demais áreas que estão contempladas na lei complementar nº 033. O anexo 12 trata das Áreas especiais naturais, segundo seu Artigo 10:

“Art. 10. O território municipal terá áreas especiais naturais, definidas e delimitadas no ANEXO 12 (Mapa das Áreas Especiais Naturais), parte integrante da presente Lei, que estão classificadas em Áreas de Conservação Natural e Áreas de Preservação Permanente”.

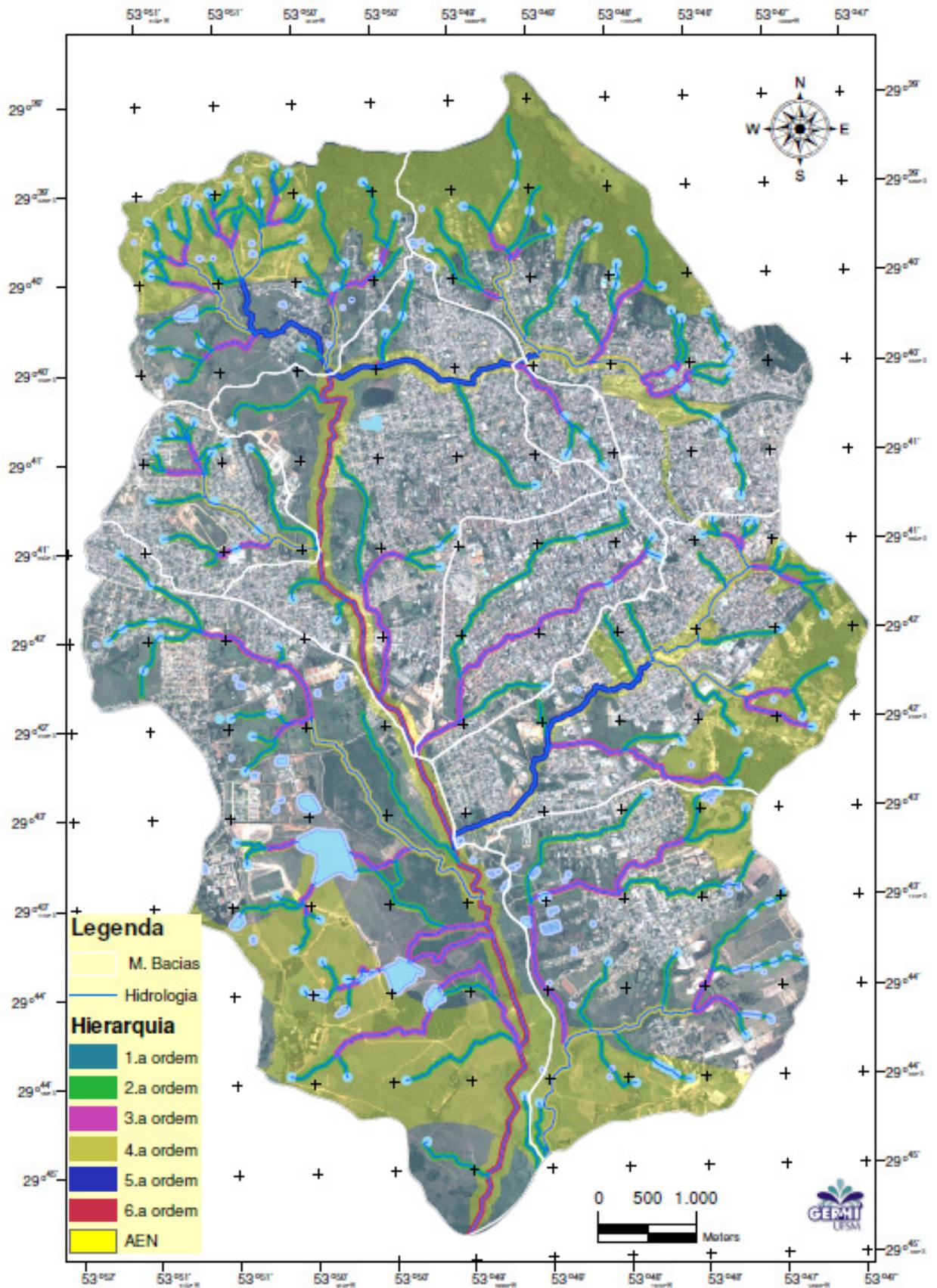
O Mapa 3.10 apresenta as regiões de APPs no entorno de rios e nascentes da sub-bacia do Arroio Cadena segundo Código Florestal.

O Mapa 3.11 representa as Áreas de Conservação Natural acrescido das Áreas de Preservação Permanentes, com a delimitação das micro-bacias segundo a LUOS.



MAPA 3.10 - Regiões de APPs no entorno de rios e nascentes. □

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
Município de Santa Maria - RS
Sistema de projeção: UTM
Sistema de referência: SIRGAS 2000
Fuso: 22S



MAPA 3.11 - Áreas de Conservação Natural e de Preservação Permanente

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Maria - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

3.4 Feições de Resposta

3.4.1 Redes de Água

À medida que uma região possui uma maior distribuição de redes de água e esgoto, melhores serão as condições de saneamento dentro da região e, por conseguinte melhor será a qualidade ambiental.

A tabela 3.22 apresenta a rede de abastecimento da sub-bacia do Arroio Cadena de acordo com as bitolas da rede em percentual de quilômetros.

Tabela 3.21 – Rede de Água da sub-bacia de acordo com a bitola as bitolas da rede em percentual de quilômetros

Rede de água M. Bacias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa .Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
32	0,00	1,46	1,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	1,28	2,10	0,00	1,94	3,32	4,93	8,88	2,20	4,06
50	16,93	23,16	65,09	49,27	9,04	0,00	58,55	18,60	66,32
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
75	22,79	9,73	4,09	14,76	12,98	18,74	5,73	20,95	2,37
100	28,89	26,08	0,00	15,67	24,85	23,78	11,85	12,22	7,19
125	0,96	8,21	0,00	1,52	3,14	1,55	0,00	1,43	0,00
150	4,17	3,56	4,69	0,00	7,75	3,40	7,91	9,46	7,29
200	5,46	7,70	3,36	0,00	5,66	6,14	3,79	8,66	3,55
250	4,45	6,21	0,00	2,37	9,10	2,21	0,00	2,38	0,00
300	2,17	10,72	0,00	0,00	20,30	5,48	3,29	0,00	2,90
350	12,44	1,09	0,00	4,31	3,87	6,58	0,00	5,56	2,41
400	0,44	0,00	20,29	8,69	0,00	9,68	0,00	8,11	3,66
450	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	2,18	0,00
500	0,00	0,00	0,92	1,46	0,00	14,33	0,00	0,00	0,00
550	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	8,26	0,00

3.4.2 Redes de Esgoto

Segundo as informações da CORSAN por meio da rede coletora pública, o esgoto sai das residências e chega à estação de tratamento, denominada ETE. O sistema é longo, pois o esgoto é recolhido por ramais prediais e levado para bem longe, o que exige a realização de grandes obras subterrâneas ao longo das ruas.

Na sequência, é preciso que cada morador peça a ligação da sua residência à rede coletora para contribuir com a saúde pública e a recuperação ambiental.

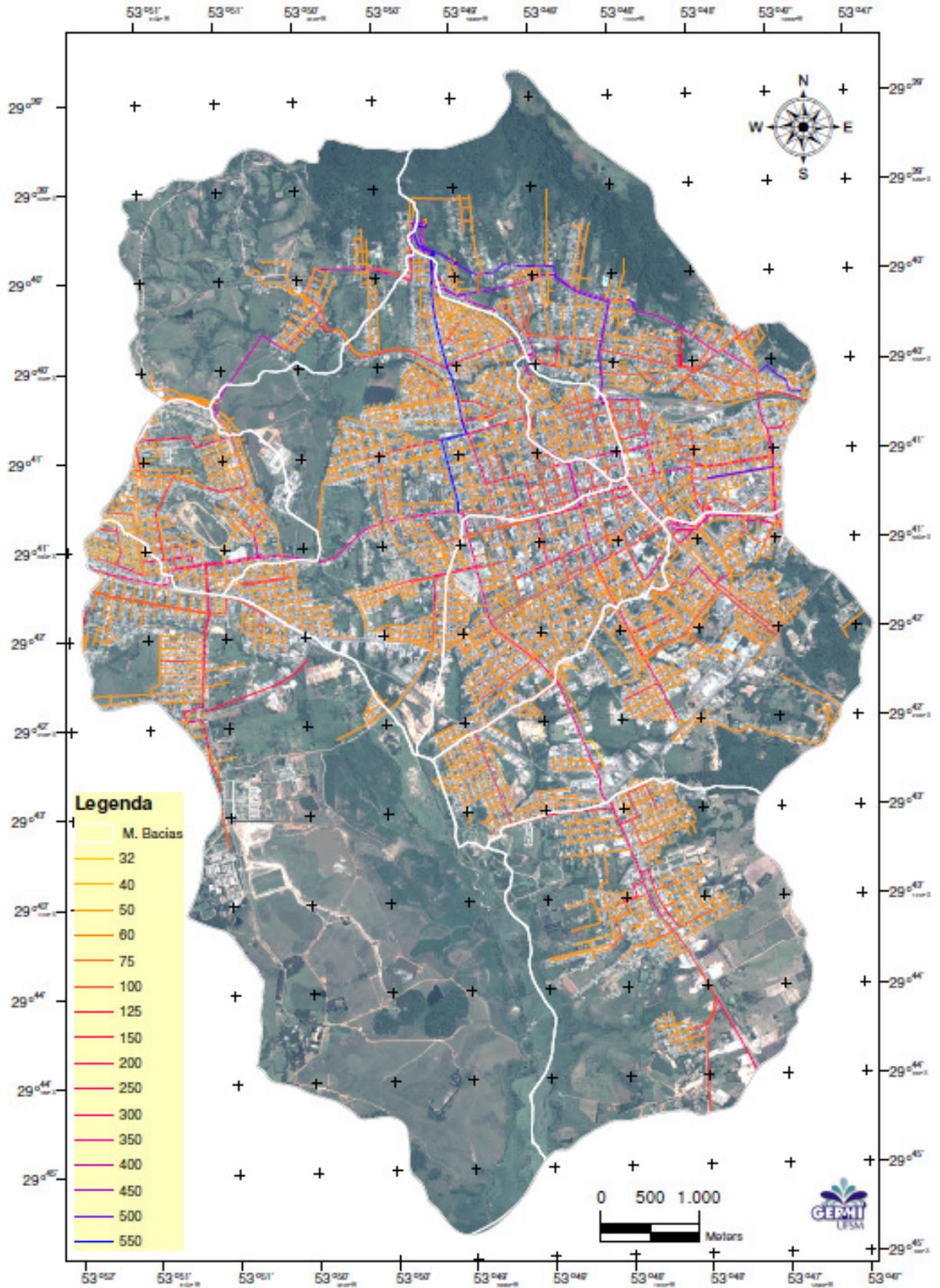
As redes de água e esgoto na região de estudo foram normalizadas em relação ao diâmetro das mesmas. A expansão urbana sobre uma determinada área está condicionada à existência e a capacidade das redes de água e esgoto. Um local que possui uma rede em extensão de bitolas menores acaba levando seus moradores ao uso de poços artesianos ou de direcionar o esgoto aos mananciais. Quanto maior a dimensão de uma dada rede em uma região, maior será a condição de obter-se o serviço para ampliação da mesma.

A rede de esgoto da sub-bacia do Arroio Cadena está representada na tabela 3.23.

Tabela 3.22 - Rede de esgoto da sub-bacia de acordo com a bitola e extensão em cada micro-bacia.

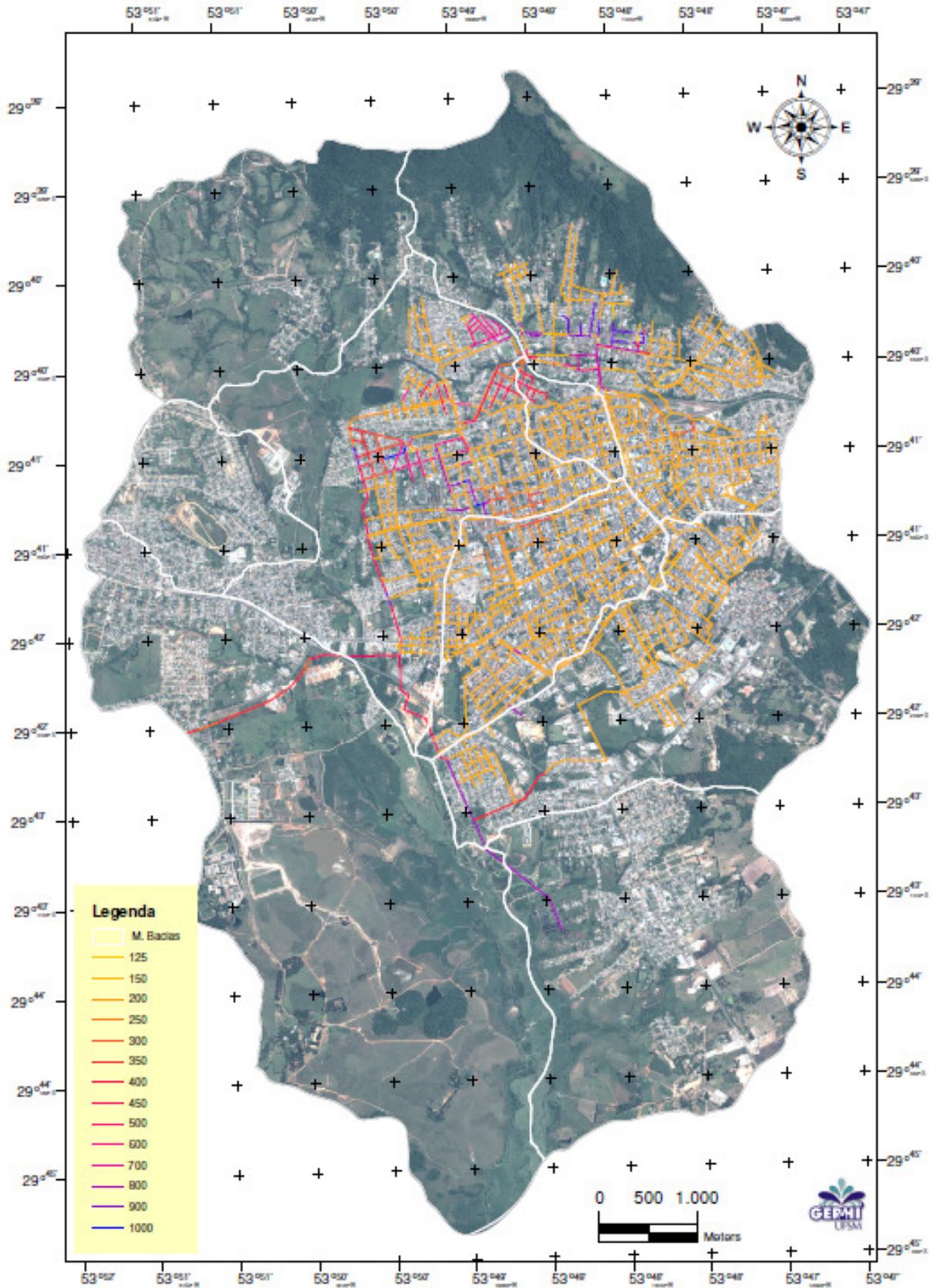
M. Bacias Rede de esgoto em km	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa .Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
125	0,90	0,00	33,33	0,00	1,02	2,60	0,00	3,55	0,00
150	85,27	0,00	0,00	100,00	73,33	84,69	0,00	86,75	98,99
200	3,18	0,00	66,67	0,00	0,00	3,09	0,00	0,36	0,77
250	1,49	0,00	0,00	0,00	0,87	0,75	0,00	0,74	0,03
300	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22	0,00	0,74	0,20
350	3,18	0,00	0,00	0,00	0,87	1,41	0,00	0,00	0,00
400	0,28	0,00	0,00	0,00	1,26	2,67	0,00	0,87	0,00
450	2,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500	0,00	0,00	0,00	0,00	3,92	0,00	0,00	0,00	0,00
600	0,00	0,00	0,00	0,00	3,68	3,56	0,00	0,00	0,00
700	0,00	0,00	0,00	0,00	7,70	0,00	47,51	0,00	0,00
800	0,00	0,00	0,00	0,00	3,78	0,00	52,49	1,40	0,00
900	1,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,57	0,00
1000	0,34	100,00	0,00	0,00	3,58	0,00	0,00	0,00	0,00

Os Mapas 3.12 e 3.13 representam a distribuição das redes de água e de esgoto da sub-bacia agregando as áreas limites de suas micro-bacias.



MAPA 3.12 - Rede de Água

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
Município de Santa Maria - RS
Sistema de projeção: UTM
Sistema de referência: SIRGAS 2000
Fuso: 22S



3.4.3 Legislação territorial

Na lei complementar nº 033/12/2005 apresenta-se as modalidades de parcelamento do solo. A Tabela 3.24 representa os critérios de parcelamento do solo por uso urbanístico intitulado “Critérios de Parcelamento do Solo Urbano por Zoneamento Urbanístico”, onde estão representadas as áreas com definições específicas de regramento para a expansão dentro da área da bacia. A tabela apresenta a possibilidade de expansão em quantidade de área, de acordo com o tipo de empreendimento seja em loteamentos ou condomínios fechados. No que tange à qualidade ambiental este tipo de procedimento visa regradar as condições de ocupação do espaço urbano direcionando a medidas resposta ao sistema.

Tabela 3.23 - Critérios de Parcelamento do Solo Urbano por zoneamento urbanístico – LUOS

Zonas	Superfície mínima para novos loteamentos (ha)	Superfície máxima para condomínios fechados (ha)
1.1	Sem novos loteamentos	Sem novos condomínios
1.2	1	Sem novos condomínios
10.2	2	2 uso comercial e industrial
14	Sem novos loteamentos	1
15	uso recreativo	uso recreativo
16	1	1
17.2	3	3
17.4	3	3
18.3	Sem novos loteamentos	3
18.2	Sem novos loteamentos	3
19	Agrovila	Agrovila
2	Sem novos loteamentos	Sem novos condomínios
3	1	Sem novos condomínios
4	1	1
5	1	1
6	1	1,5
7	1	1,5
8	1	1
9.1	2	1
9.2	2	1
nc	Fora do perímetro	Fora do perímetro

No que tange ao parcelamento do solo. A tabela 3.25, demonstra os Critérios de Parcelamento do Solo Urbano por Zoneamento Urbanístico, com definições específicas de regramento para a expansão dentro da área da bacia. A tabela apresenta a possibilidade de expansão em quantidade de área, de acordo com o tipo de empreendimento, seja em loteamentos ou condomínios fechados.

O critério para atribuir e normalizar pesos neste caso, do ponto de vista da qualidade ambiental foi majorado de acordo com os índices de zoneamento da prefeitura municipal na seguinte ordem de valores:

- Sem novos loteamentos ou condomínios – 1,0;
- Uso recreativo – 1,0;
- Agrovila – 1,0; Até 1 ha. – 0,9;
- Até 1,5 ha. – 0,8;
- Até 2 ha. – 0,7;
- Até 3 ha. – 0,6;
- Até 2 ha. uso comercial e industrial – 0,5

Tabela 3.24 - Critérios de Parcelamento do Solo Urbano por Zoneamento Urbanístico com pesos normalizados.

Zonas	superfície mínima para novos loteamentos (ha)	superfície máxima para condomínios fechados (ha)	Peso normalizado
1.1	Sem novos loteamentos	Sem novos condomínios	1,0
1.2	1	Sem novos condomínios	0,95
10.2	2	2 uso comercial e industrial	0,6
14	Sem novos loteamentos	1	0,95
15	uso recreativo	uso recreativo	1,0
16	1	1	0,9
17.2	3	3	0,6
17.4	3	3	0,6
18.3	Sem novos loteamentos	3	0,85
18.2	Sem novos loteamentos	3	0,85
19	Agrovila	Agrovila	1,0
2	Sem novos loteamentos	Sem novos condomínios	1,0
3	1	Sem novos condomínios	0,95
4	1	1	0,9
5	1	1	0,9
6	1	1,5	0,85
7	1	1,5	0,85
8	1	1	0,9
9.1	2	1	0,8
9.2	2	1	0,8
nc	Fora do perímetro	Fora do perímetro	0

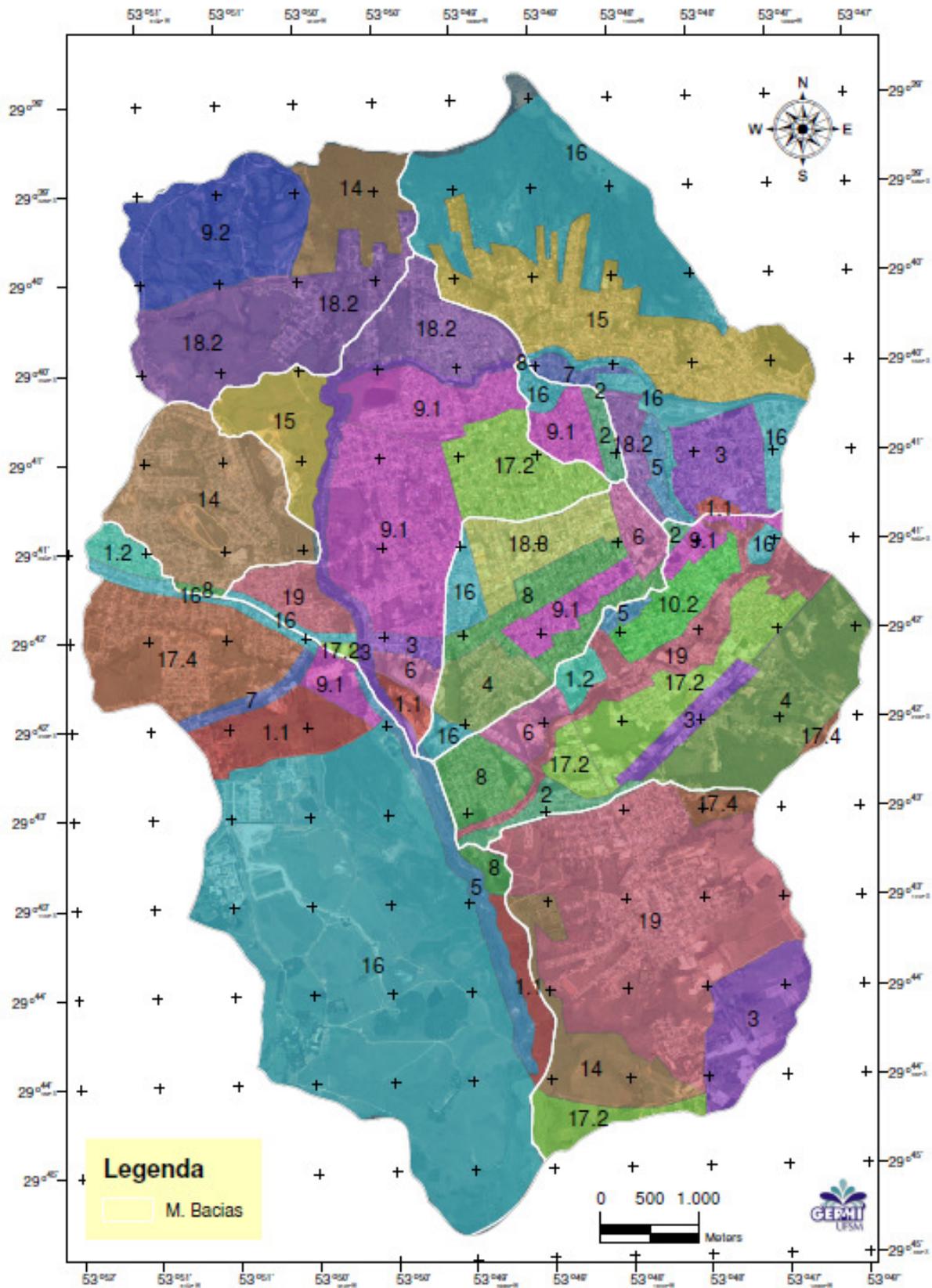
A tabela 3.26 demonstra o percentual das áreas dos critérios de parcelamento do solo urbano por zoneamento urbanístico atingidas pela mancha urbana, utilizadas para o cálculo dos percentuais de cada classificação da LUOS do município em cada micro-bacia da sub-bacia do Arroio Cadena.

Tabela 3.26 Critérios de Parcelamento do Solo Urbano por zoneamento Urbanístico em quantidades de área.

% Áreas em Zoneamento Urbanístico	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa .Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
1.1	2,47	0,48	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,55	0,00
1.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,48	0,00
10.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,54	0,00	3,83	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,96	0,00	0,00	0,00
16	0,34	0,74	0,00	0,00	5,66	0,00	0,03	0,73	0,00
17.2	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	1,25	0,07	2,77	0,00
17.4	0,00	1,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00
18.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00
18.2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,92	0,00	0,00	5,53	0,00	0,87	0,00	0,00	0,00
3	3,26	0,49	0,00	11,59	0,00	0,00	0,00	4,12	0,00
4	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,13	0,00
5	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	2,62	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00
7	2,31	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,00
8	0,00	0,00	0,00	4,22	0,00	0,45	0,00	3,42	0,00
9.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,22	0,00
9.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00
nc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	1,03	0,00	0,00

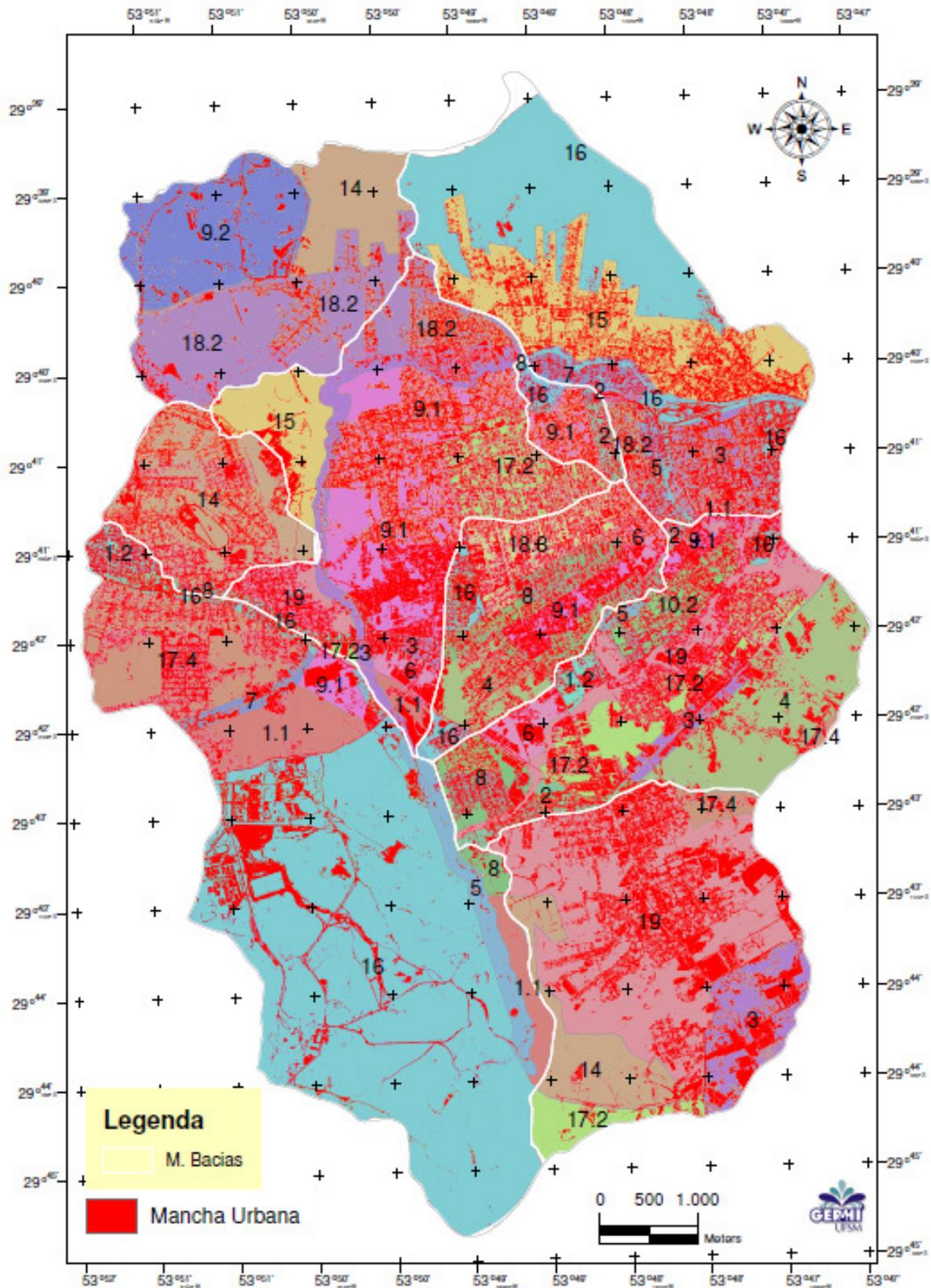
O Mapa 3.14 demonstra a distribuição das áreas de zoneamento urbanístico urbano da sub-bacia.

O Mapa 3.15 demonstra a distribuição das áreas de zoneamento urbanístico urbano da sub-bacia atingidas pela mancha urbana.



MAPA 3.14 - Áreas de Zoneamento Urbanístico.

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
Município de Santa Marta - RS
Sistema de projeção: UTM
Sistema de referência: SIRGAS 2000
Fuso: 22S



MAPA 3.15 Áreas de Zoneamento Urbano atingidas pela mancha urbana.

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Maria - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Anexo 4 apresenta uma sequência de cálculo de um indicador para ilustrar o processo de obtenção dos mesmos. Nesta explanação foi usada a feição malha viária do indicador de pressão. Na sequência será apresentado os índices calculados para os indicadores do modelo. Os indicadores serão apresentados com uma descrição sucinta de sua implicação sobre a qualidade ambiental

4.1 Índices parciais de Pressão

Suas mudanças no meio causam problemas urbano-ambientais.

4.1.1 Uso do solo

A tabela 4.1 apresenta os valores dos índices de qualidade ambiental parciais calculados a partir dos coeficientes de aproveitamento para o uso do solo das micro-bacias da sub-bacia do Arroio Cadena de acordo com o artigo 6º da LUOS e a classificação da Comissão Nacional de Classificação – CNAE 1.0/CNAE-Fiscal.

À medida que a quantidade de unidades de cada categoria aumenta, ocorre uma maior pressão sobre a micro bacia, não favorecendo a qualidade ambiental.

Tabela 4.1 - Índices de qualidade ambiental parciais para o uso do solo.

Uso do solo Micro-bacias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índice parcial	0,78	0,93	0,92	0,26	0,93	0,60	0,96	0,49	0,86

4.1.2 População

A tabela 4.2 apresenta os valores dos indicadores de qualidade ambiental parciais para população residente nas micro-bacias da sub-bacia do Arroio Cadena baseado nos setores censitários do IBGE.

Como a pressão antrópica em uma bacia compromete a qualidade ambiental utilizou-se a condição de Lima (2007), que representa uma relação inversa.

Quanto mais concentrada uma população em uma área, maior a pressão antrópica e mais prejudicial fica a qualidade ambiental, o indicador população é representado de maneira inversa.

Tabela 4.2 - Índices de qualidade ambiental parciais para pressão antrópica

Pop. Micro-bacias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índice parcial	0,31	0,85	0,89	0,07	0,97	0,78	0,94	0,92	0,74

4.1.3 Sistema viário

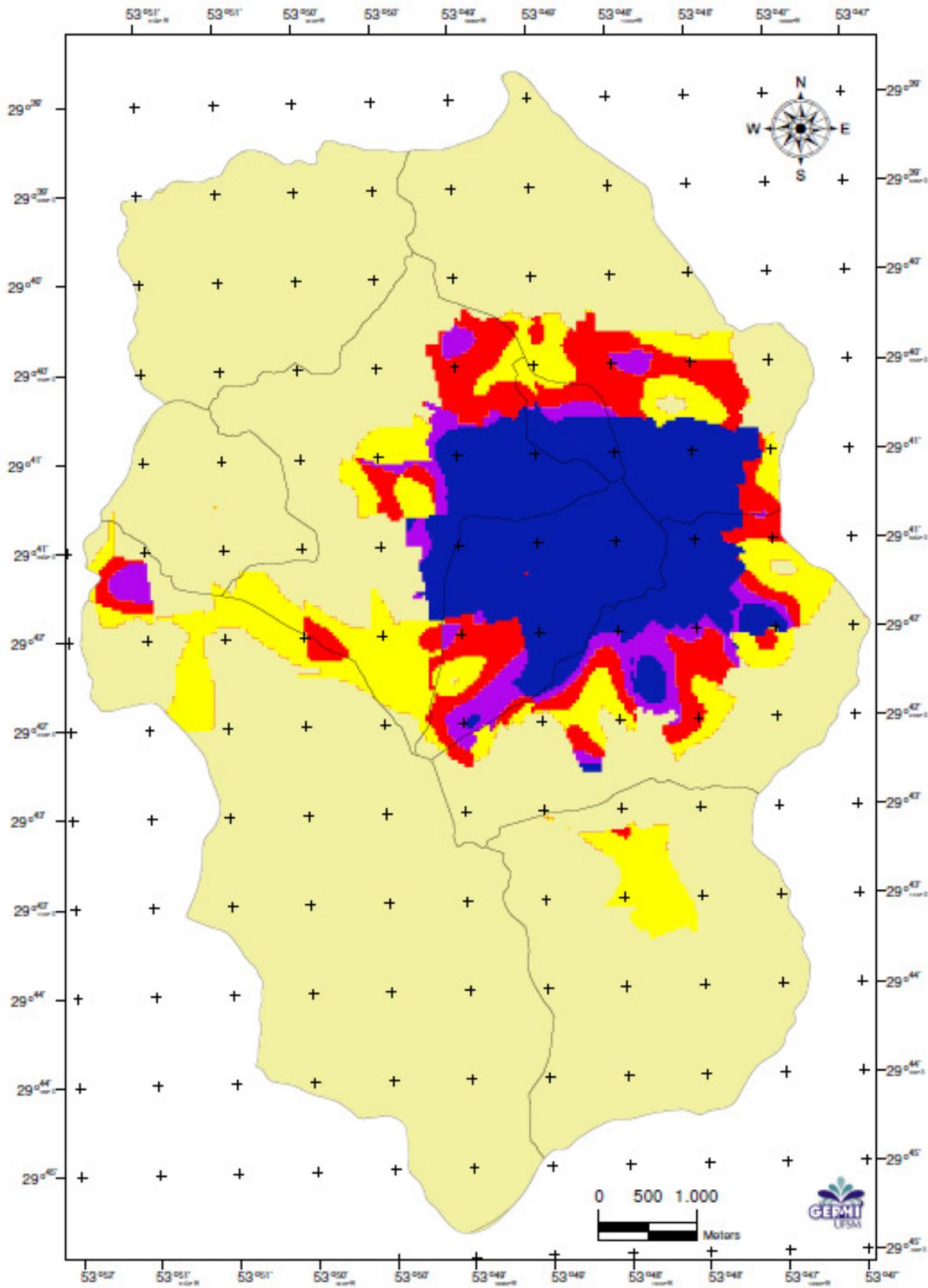
A tabela 4.3 apresenta os valores calculados da correlação dos índices parciais de cada micro-bacia em km² em relação à extensão de vias de acordo com o volume máximo de tráfego/dia normalizado baseados no Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte (DNIT). A qualidade ambiental é favorecida pela distribuição equilibrada de vias dos diversos tipos, porém quanto mais saturada a malha viária da micro bacia, maior a pressão.

Tabela 4.3 - Índices de qualidade ambiental parciais para densidade viária

Sistema Viário	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índice parcial	0,60	0,60	0,97	0,33	0,89	0,72	0,93	0,75	0,45

O mapa 4.1 demonstra espacialmente o indicador de pressão da micro bacia por meio da Álgebra de Mapas⁹. No mapa, os semitons do amarelo para os semitons da tonalidade azul escura demonstra a melhor para a pior condição da qualidade ambiental em relação ao indicador.

⁹ O conceito de modelação cartográfica ou álgebra de mapas foi desenvolvido por Dana Tomlin em 1983 com o Map Analysis Package (um software SIG raster). Um modelo cartográfico pode ser visualizado como uma coleção de mapas registrados numa base cartográfica comum, em que cada mapa é uma variável sujeita a operações matemáticas tradicionais.



Legenda

M. Bacias	Favorável Moderada	Desfavorável Moderada
Favorável	Moderada	Desfavorável

MAPA 4.1 - Pressão

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Maria - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

4.2 Índices parciais de Estado

São as características físicas do ambiente que sofrem as pressões.

4.2.1 Cobertura do solo

A tabela 3.8 apresenta os valores dos índices calculados de qualidade ambiental parciais para as micro-bacias da sub-bacia do Arroio Cadena baseado na imagem reclassificada do satélite QuickBird. quanto maior a distribuição das áreas de vegetação, melhor o estado e mais favorecida fica a qualidade ambiental.

Tabela 4.4 - Índices de qualidade ambiental para tipos de cobertura do solo

Tipo de cobertura Micro-bacias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índice Parcial	0,47	0,47	0,83	0,17	0,63	0,25	0,47	0,14	0,33

4.2.2 Geologia

4.2.2.1 Permeabilidade

A tabela 3.14 demonstra os índices parciais calculados para a feição Permeabilidade das formações baseados em MACIEL FILHO (1990) e U.S. BUREAU OF PLANT INDUSTRY AND AGRICULTURAL ENGINEERING. Uma formação mais permeável é mais suscetível à infiltração da água e portanto, mais favorável à qualidade ambiental e ao estado.

Tabela 4.5 – Índices parciais de Permeabilidade das formações

Formações Micro-bacias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índices parciais	0,02	0,03	0,08	0,01	0,13	0,61	0,39	0,04	0,01

4.2.2.2 Resistência erosão

A tabela 4.6 apresenta os índices para as formações segundo o critério do especialista, normalizados. As micro bacias que apresentam maior quantidade de área com formações resistentes à erosão apresentarão índices mais próximos à unidade e um melhor valor de estado.

Tabela 4.6 – Índices parciais de Resistência à Erosão

Formações Micro-bacias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índices parciais	0,03	0,07	0,08	0,01	0,12	0,57	0,43	0,08	0,02

4.2.2.3 Vulnerabilidade à poluição

A tabela 3.12 apresenta os índices parciais calculados para vulnerabilidade à poluição. Na obtenção de indicadores, quanto maior a vulnerabilidade à poluição, pior o estado.

Tabela 4.7 – Índices parciais segundo a vulnerabilidade à poluição.

Formações Micro-bacias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índices parciais inversos	0,88	0,72	0,80	0,98	0,72	0,57	0,43	0,70	0,91

4.2.3 Pedologia

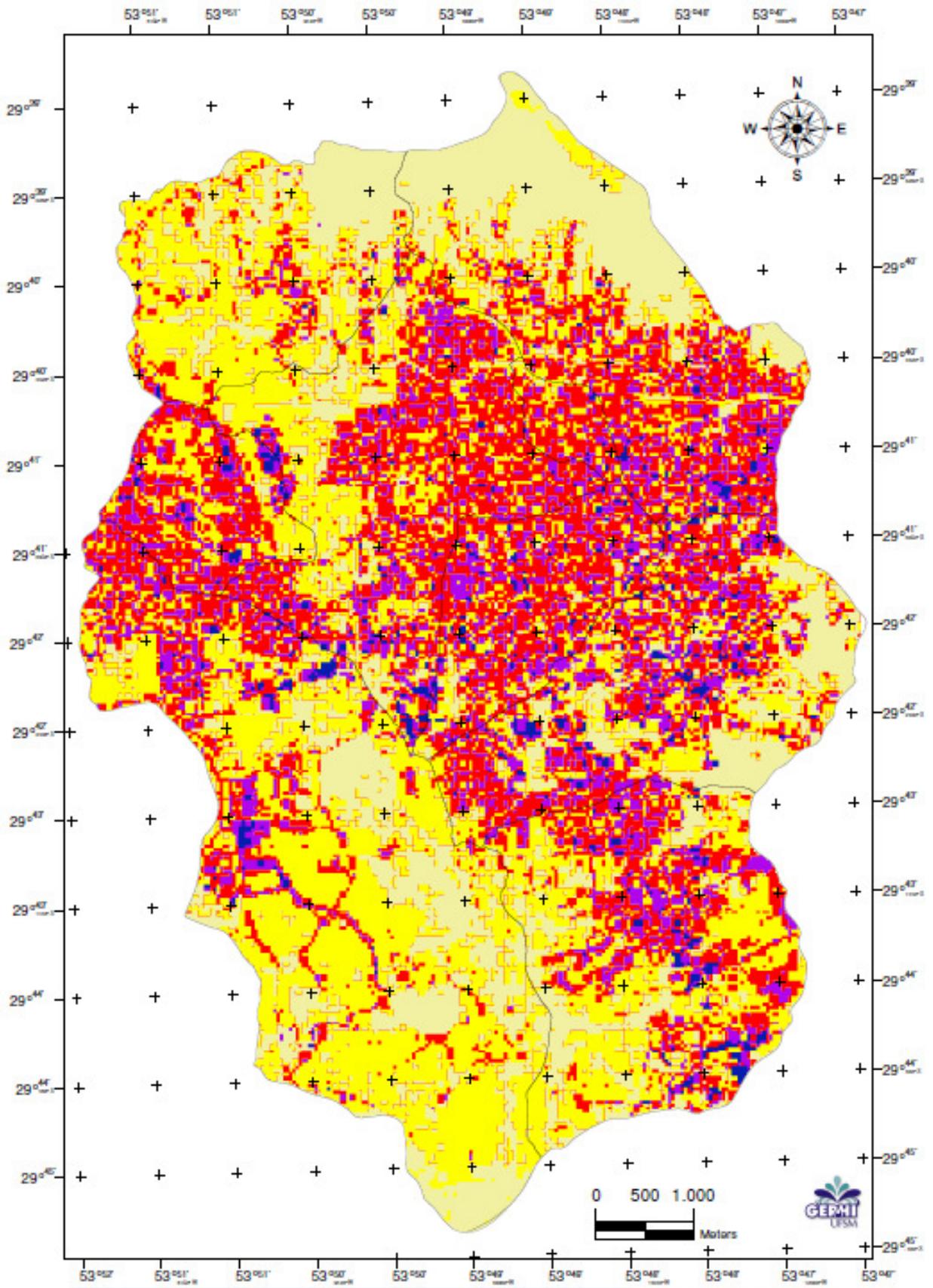
A tabela 4.8 apresenta os índices parciais calculados para as características da pedologia dos solos da sub-bacia Vulnerabilidade/Estabilidade – tipos de solos. o mais vulnerável/estável recebe o menor valor e prejudica o estado.

Tabela 4.8 Índices parciais calculados para Vulnerabilidade/Estabilidade da sub-bacia.

Tipos de solos Micro-bacias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índices parciais	0,77	0,78	0,80	0,76	0,75	0,73	0,90	0,82	0,69

Por meio de uma análise particularizada da tabela 3.24, pode-se verificar uma aproximação entre os índices parciais em relação à vulnerabilidade/estabilidade das sub-bacias. Esta condição se conforma devido à grande variedade de solos na área da sub-bacia, gerando uma característica moderadora e similar dentre as bacias, para o caso da vulnerabilidade/estabilidade.

O mapa 4.2 demonstra em semitons do amarelo para azul escura a melhor para a pior condição da qualidade ambiental em relação ao indicador.



Legenda

-
- M. Bacias
 Favorável Moderada
 Desfavorável Moderada
- Favorável
 Moderada
 Desfavorável

MAPA 4.2 - Estado

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Maria - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

4.3 Índices parciais de impacto

É o resultado da situação em que o Estado foi exposto.

4.3.1 Áreas de risco

Quanto mais áreas estiverem na faixa de 0 a 30% menor será o impacto, tabela 4.9.

Tabela 4.9 Índices parciais para declividade da sub-bacia.

Declividade%	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índices parciais	0,97	0,93	0,92	0,96	0,34	0,91	0,98	0,97	0,96

4.3.2 Áreas de Conservação Natural e Áreas de Preservação Permanente

A tabela 3.29, apresenta os índices referentes aos arroios e nascentes. Quanto mais nascentes e rios de 1.a e 2.a ordem em extensão mais favorável a qualidade ambiental e menor o impacto.

Tabela 4.10 Índices parciais para as áreas de preservação permanente

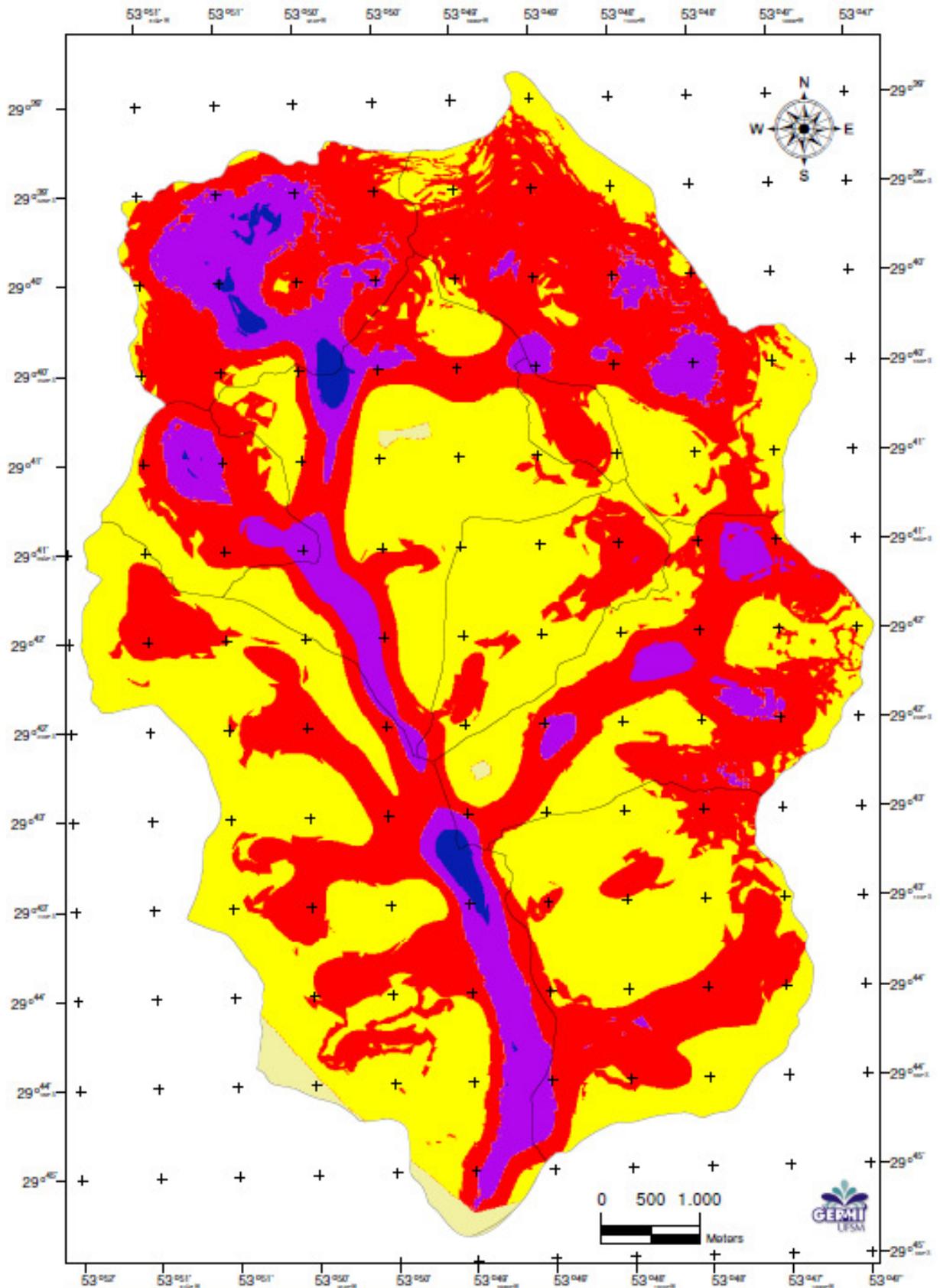
APP Micro-bacias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índices parciais	0,12	0,34	0,40	0,00	0,37	0,33	0,70	0,47	0,12

O índice de áreas especiais naturais está apresentada na tabela 4.11. quanto mais áreas especiais naturais em extensão mais favorável a qualidade ambiental e menor o impacto.

Tabela 4.11 - Índices parciais para as áreas especiais naturais

AEN Micro-bacias	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índices parciais	0,01	0,64	0,70	0,41	0,33	0,51	0,40	0,34	0,13

O mapa 4.3 demonstra em semitons do amarelo para azul escura a melhor para a pior condição da qualidade ambiental em relação ao indicador.



Legenda

 M. Bacias	 Favorável Moderada	 Desfavorável Moderada
 Favorável	 Moderada	 Desfavorável

MAPA 4.3 - Impacto

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Maria - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

4.4 Índices parciais de Resposta

Os indicadores de resposta correspondem às ações para resolver ou mitigar os problemas do ambiente.

4.4.1 Rede de Água

A tabela 4.12 apresenta os valores dos índices parciais para a rede de água da sub-bacia baseados na bitola e extensão das redes de água.

Tabela 4.12 - Índices parciais para a rede de água da sub-bacia

Rede de água	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índices parciais	0,22	0,16	0,06	0,34	0,10	0,31	0,04	0,23	0,28

4.4.2 Rede de esgoto

A tabela 4.13 apresenta os valores dos índices parciais para a rede de esgoto baseados na bitola das. O peso também é diretamente proporcional ao diâmetro.

Tabela 4.13 - Índices parciais para a rede de esgoto da sub-bacia.

Rede de esgoto	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosário	Bairro Santa Marta
Índices parciais	0,34	0,15	0,01	0,01	0,42	0,22	0,20	0,26	0,08

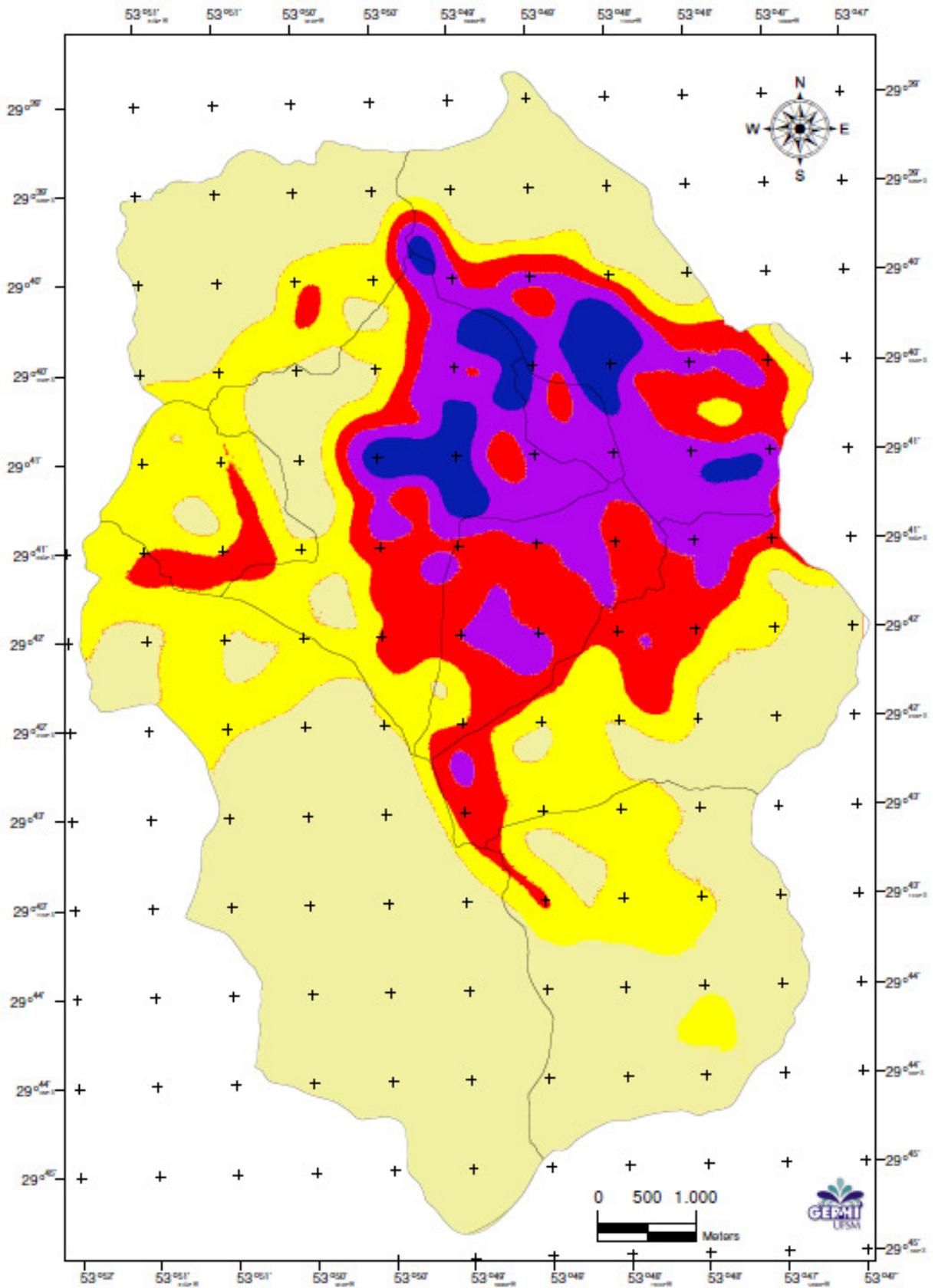
4.4.3 Legislação territorial

A tabela 4.14 apresenta os índices parciais para parcelamento do solo urbano. Quanto mais áreas de acordo com a em lei melhor será a resposta.

Tabela 4.14 Índices parciais para os critérios de parcelamento do solo urbano por zoneamento urbanístico da sub-bacia.

Z.U.	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosario	Bairro Santa Marta
Índice parcial	0,14	0,11	0,00	0,17	0,10	0,25	0,13	0,33	0,00

O mapa 4.4 demonstra em semitons do amarelo para azul escura a melhor para a pior condição da qualidade ambiental em relação ao indicador resposta.



Legenda

- M. Bacias
- Favorável Moderada
- Desfavorável Moderada
- Favorável
- Moderada
- Desfavorável

MAPA 4.4 - Resposta

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Maria - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S

A tabela 4.15 apresenta uma compilação dos índices parciais e Indicadores de pressão, estado, impacto e resposta de diagnóstico da qualidade ambiental da sub-bacia do Arroio Cadena bem como o valor final do índice de qualidade ambiental.

Tabela 4.15 - Índices e Indicadores de diagnóstico da qualidade ambiental da sub-bacia do Arroio Cadena

Iqa - Índice de qualidade Ambiental	Indicadores do modelo PEIR1	Dados analisados	Dados Primários	Aldeia	Cancela	Caturrita	Escola	Lorenzi	Dores	Quarteis	Rosario	Marta
	Pressão	Uso do Solo	Espacialidade do uso do solo	0,78	0,93	0,92	0,26	0,93	0,60	0,96	0,49	0,86
		População	Densidade demográfica	0,31	0,85	0,89	0,00	1,00	0,78	0,94	0,92	0,74
		Sistema Viário	Densidade do Sistema Viário	0,60	0,60	0,97	0,33	0,89	0,72	0,93	0,54	0,45
	Índice parcial de pressão			0,56	0,79	0,93	0,19	0,94	0,70	0,94	0,65	0,69
	Estado	Cobertura do solo	Espacialidade da cobertura do solo	0,47	0,47	0,83	0,17	0,63	0,25	0,47	0,14	0,33
		Geologia	Permeabilidade	0,02	0,03	0,08	0,01	0,13	0,61	0,39	0,04	0,01
			Resistência à Erosão	0,03	0,07	0,08	0,01	0,12	0,57	0,43	0,08	0,02
			Vulnerabilidade à Poluição	0,88	0,72	0,80	0,98	0,72	0,57	0,43	0,70	0,91
	Pedologia	Vulnerabilidade/Estabilidade	0,77	0,78	0,80	0,76	0,75	0,73	0,90	0,82	0,69	
	Índice parcial de estado			0,44	0,42	0,52	0,39	0,47	0,55	0,52	0,35	0,39
	Impacto	Áreas de Risco	Declividade	0,97	0,93	0,92	0,96	0,34	0,91	0,98	0,97	0,96
		Áreas de Preservação	Áreas de Preservação Permanente	0,12	0,34	0,40	0,00	0,37	0,33	0,70	0,47	0,12
Áreas Especiais Naturais			0,00	0,64	0,70	0,41	0,33	0,51	0,40	0,34	0,13	
Índice parcial de impacto			0,36	0,63	0,67	0,46	0,35	0,58	0,69	0,59	0,40	
Resposta	Redes de Saneamento	Densidade rede de água	0,22	0,16	0,06	0,34	0,10	0,31	0,04	0,23	0,28	
		Densidade rede de esgoto	0,34	0,15	0,01	0,01	0,42	0,22	0,20	0,26	0,08	
	Legislação territorial	Zonas de expansão urbana	0,14	0,11	0,00	0,17	0,10	0,25	0,13	0,33	0,00	
Índice parcial de resposta			0,23	0,14	0,02	0,17	0,21	0,26	0,13	0,27	0,12	
Iqa - sub-bacias			0,40	0,48	0,50	0,30	0,55	0,45	0,57	0,47	0,40	
Iqa			0,46									

4.5 Diagnóstico da qualidade ambiental das micro-bacias

Os resultados obtidos por meio deste estudo foram divididos em três partes distintas. A primeira apresenta os índices do modelo PEIR de maneira sucinta com os valores condicionados a cada micro-bacia. Na segunda etapa apresenta-se um estudo dos índices parciais do modelo em relação ao desempenho dos indicadores dentro do computo geral dos resultados de cada indicador. Finalmente decorre-se sobre a carta de qualidade ambiental da sub-bacia do Arroio Cadena. Por meio de um mapa ilustrativo agora apresentando as zonas de maior e menor comprometimento da qualidade ambiental.

4.5.1 Micro bacia Sanga da Aldeia

A micro-bacia apresentou um Iqa de 0,40. Com base em seu diagnóstico individual verifica-se que seu indicador de pressão apresentou um valor mediano (0,56) devido à ocupação populacional, bastante vantajosa ao Iqa (0,78). Esta condição está associada à característica da bacia estar localizada ao longo de bairros residenciais como o bairro Nonoai e parte do bairro Medianeira com uma distribuição homogênea da população em sua área.

Possui uma qualidade de estado bastante moderada, com uma influência mais favorecida pela cobertura do solo e pelo indicador de Vulnerabilidade/Estabilidade. Porém é prejudicado pelas baixas condições de permeabilidade das formações presentes e ao caráter erosivo do solo. Em contra ponto, sua capacidade geológica é boa em relação à vulnerabilidade à poluição, que torna a bacia, do ponto de vista exposto, moderadamente condicionada a empreendimentos que possam ser planejados não comprometendo as condições de estado mais frágeis da micro bacia.

As condições de impacto da bacia são favoráveis no que tange às áreas de risco, haja vista as áreas planas da mesma. Necessita um planejamento providencial em relação às áreas de preservação permanentes e especiais naturais devido à quase inexistência das mesmas dentro do perímetro da micro-bacia.

Apresenta uma condição bastante comprometedoras em relação ao saneamento (água e esgoto) devido ao seu baixo índice de resposta, haja vista, que

o índice de pressão “população” apresenta-se bastante significativo apesar de bem distribuído. Porém a legislação apresentou um índice baixo de no que tange ao ordenamento territorial devido a um baixo fator de regramento da expansão urbana, necessitando de uma reavaliação nas diretrizes da lei inerente.

4.5.2 Micro bacia Arroio Cancela

A bacia apresentou um Iqa de 0,48. Seu índice de pressão é bastante favorável à qualidade ambiental da região, isto se deve em parte às condições de uso do solo, por apresentar uma distribuição espacial mais rarefeita das unidades residenciais, de serviços e comércio por unidade de área. Ocorre também, proporcionalmente a este fato uma densidade demográfica mais atenuada devido à presença de alguns vazios urbanos ao longo da rodovia que corta a micro-bacia.

A densidade viária apresentou índice idêntico ao da micro-bacia da Sanga da Aldeia, embora nesta região ocorra uma maior extensão de vias locais e estradas, vias estas de menor fluxo do tráfego urbano e menos propícias aos assentamentos organizados.

O índice de estado apresentou uma relação de espacialidade de cobertura do solo mediano, prejudicado principalmente pelas características geológicas de permeabilidade e resistência à erosão.

A área constituída na micro bacia apresenta condomínios de verticais de classe média com problemas de expansão sobre as áreas de APP refletindo seu baixo índice nesta categoria. As áreas especiais naturais estão situadas ao longo dos morros ao leste da micro bacia onde a declividade e a existência da vegetação de grande porte ainda é verificada.

Dentro das condições de resposta as configurações da drenagem urbana e de saneamento em esgoto, a área tem uma distribuição deficitária em adutoras de maior diâmetro de água e de escoamento do esgoto. Esta condição remete a uma necessidade de ampliação das redes em detrimento do aumento da expansão urbana no local. Aliado a esta condição, o zoneamento urbano na mesma apresenta a maioria de suas áreas em disponibilidade para condomínios de 2 e 3 hectares (Zonas 16 e 17), e pouco direcionados à parques e áreas de lazer (Zona 1).

4.5.3 Micro bacia bairro Caturrita

A micro-bacia da Caturrita demonstrou um índice favorável em relação à pressão (0,93), por apresentar menor impacto da urbanidade (espacialidade do uso do solo, densidade demográfica e densidade do sistema viário).

As condições de estado podem ser relacionadas proporcionalmente aos índices pressão da micro bacia, haja vista que a cobertura do solo presente, não só em relação às matas de árvores frondosas ao longo do morro das antenas em sua porção norte, mas também em relação aos grandes espaços com árvores de médio e pequeno porte e matas ciliares do entorno dos riachos da região. A questão problemática está relacionada às formações geológicas, principalmente aos baixos valores para os indicadores de permeabilidade e resistência à erosão. Os índices parciais de resposta para região estão entre os mais comprometedores em relação a proximidade de redes de saneamento e pela pequena quantidade de áreas de regramento em relação ao zoneamento urbano.

4.5.4 Micro bacia Escola

Esta micro bacia apresentou o pior desempenho na quase totalidade dos indicadores. Está totalmente prejudicada em relação aos indicadores de pressão (0,19). Demonstra baixíssima cobertura do solo, com características pouco profícuas ambientalmente, já que apresenta níveis pobres em relação à cobertura do solo, bem como a inexistência de áreas de preservação permanente. O reflexo destas constatações além das expostas nos indicadores leva esta micro bacia a um Iqa de 0,30, o mais baixo constatado no estudo.

4.5.5 Micro bacia Lorenzi

A micro bacia da Vila Lorenzi apresenta uma grande quantidade de áreas fora dos limites da expansão urbana e, assim como a micro bacia da Caturrita, concerne indicadores de pressão favoráveis à qualidade ambiental em termos dos indicadores de pressão.

O índice de densidade demográfica desta micro bacia é favorável ao seu Iqa e está relacionado à possibilidade de planejamento adequado em relação à

valorização da cobertura do solo. A qualidade ambiental da mesma pode ser incrementada com um direcionamento qualitativo das prerrogativas de projetos para os condomínios no local, valorizando o zoneamento (não contemplado em lei para uma área considerável da bacia) por meio de regras que efetivamente ampliem as áreas de preservação permanente e áreas especiais naturais.

4.5.6 Micro bacia Nossa Senhora das Dores

A micro bacia do Bairro Nossa Senhora das Dores apresentou um índice de qualidade ambiental mediano na avaliação geral da sub-bacia. Seu diagnóstico ao nível individual apresenta algumas constatações expressas nos indicadores que foram também verificadas nos trabalhos de campo, tais como o uso do solo, na sua totalidade residencial, envolvendo área imobiliária nobre da região com uma densidade média de ocupantes por lote de 4,33 hab./lote. A cobertura do solo é favorecida pelas áreas verdes das encostas do morro Chechela, além de possuir uma aptidão geológica e pedológica favorável do ponto de vista ambiental, principalmente em relação às características superficiais da camada do solo.

Sua declividade apresentou um índice de 0,91 devido ao fato que a concentração das áreas em declive estarem confinadas a uma pequena região ao norte da micro bacia. Em relação ao índice parcial de resposta pode-se verificar que o valor pequeno refere-se ao distanciamento das redes de saneamento, porém esta condição é favorecida em parte devido à proximidade dos reservatórios principais de água e da altura em nível de cota da ETE.

4.5.7 Micro bacia da Área dos Quartéis

A micro bacia da área dos Quartéis apresentou o melhor índice de qualidade ambiental entre as micro bacias e o melhor índice parcial em relação à pressão junto com a micro bacia da Lorenzi. A espacialidade da cobertura do solo revelou-se mediana, devido à característica de concentração das unidades habitacionais ao longo das rodovias.

As características da geologia com índice na casa de 0,40 necessitam de uma avaliação acentuada no trato com a permeabilidade, resistência à erosão e

vulnerabilidade à poluição na adequação dos empreendimentos existentes e futuros devido ao comprometimento do aquífero local.

A análise pedológica com base nos preceitos de especialistas revelou um grau satisfatório do binômio Vulnerabilidade/Estabilidade na região. O índice de resposta em relação à densidade das redes de água e esgoto são baixos, e necessitam de estudos de ampliação dos mesmos.

4.5.8 Micro bacia Bairro Nossa Senhora do Rosário

A micro bacia do bairro Nossa Senhora do Rosário apresenta características semelhantes à micro bacia Nossa Senhora Dores, porém neste caso a micro bacia está situada entre as cinco bacias à montante do Arroio Cadena recebendo as diversas contribuições de redes de esgoto não tratados.

A micro bacia possui aproximadamente a metade da área central da cidade, com uma espacialidade mediana do uso do solo devido à distribuição das unidades habitacionais e da população localizada próxima ao centro. A cobertura do solo é prejudicada devido ao intenso aumento das áreas edificadas ao longo da micro bacia além de uma condição de permeabilidade reduzida e da resistência a erosão bastante baixa, apesar da formação apresentar uma vulnerabilidade à poluição adequada. O solo superficial corrobora de maneira a mitigar o impacto antrópico verificado pelo bom desempenho do indicador de pedologia. O indicador de resposta se manifesta de maneira pouco eficiente, devido principalmente ao estado de avanço da urbanidade sobre zonas proibitivas de expansão urbana.

4.5.9 Micro bacia Bairro Santa Marta

Esta micro bacia sofreu no passado a ocupação desordenada de suas áreas. A partir de então à medida que foram sendo executadas disputas sobre a área até a distribuição efetiva da posse das áreas entre os moradores vem sofrendo uma urbanização significativa.

O uso do solo por se tratar de um bairro residencial com uma população homogeneamente distribuída e um sistema viário praticamente formado de vias locais e estradas apresenta-se moderadamente adequado à qualidade ambiental, sem carregamento perceptível.

Por meio de seus indicadores de estado verificou-se que a cobertura do solo é prejudicada, isso se deve em parte pelo fato do local anteriormente tratar-se de uma fazenda de plantação de grãos, que à medida que as pessoas foram ocupando, por conta própria foram arborizando o entorno de suas casas, sem um projeto paisagístico elaborado, bastante perceptível no mapa da região.

As formações geológicas compreendidas na região possuem características de permeabilidade e resistência à erosão bastante frágeis além de uma relação Vulnerabilidade/Estabilidade do solo moderada, isto foi averiguado in loco durante o trabalho de campo pela formação de voçorocas em locais onde o solo descoberto sofre a ação da chuva.

A área da região é moderadamente plana, favorecendo o índice de impacto da sub-bacia. O avanço das edificações sobre as áreas de preservação permanente e a qualificação da região na zona 9.1, aberta à implantação de condomínios de 1 a 3 hectares demonstrado no micro-indicador de zoneamento, é o reflexo desta constatação.

Como se trata de uma região que está recebendo infra-estrutura por meio de obras civis em projeto ou em andamento, apresenta baixos índices de densidade de redes de água e esgoto.

4.6 Desempenho dos indicadores

O desempenho dos indicadores para a sub-bacia do Arroio Cadena foi analisado a partir de um conceito gráfico do modelo PEIR, o gráfico de radar. Um gráfico de radar compara os valores agregados de várias séries de dados. Neste gráfico, cada categoria tem seu próprio eixo de valor, a partir de um centro comum. Linhas fazem a conexão de todos os valores da mesma seqüência. Na análise da qualidade ambiental, equivale dizer que se um dado fator “puxa” seu índice para a parte mais externa do gráfico mais “favorável” ou melhor será o desempenho do índice de qualidade ambiental. A tabela 4.16 apresenta uma compilação dos valores de índices parciais dos indicadores PEIR em cada micro bacia e do índice de qualidade ambiental geral da sub-bacia.

Tabela 4.16 - Compilado dos valores de índices parciais dos indicadores PEIR, do índice de qualidade ambiental de cada micro bacia e do índice de qualidade ambiental geral da sub-bacia.

Indicadores do modelo PEIR	Sanga da Aldeia	Arroio Cancela	Bairro Caturrita	Bacia Escola	Vila Lorenzi	Bairro N.Sa. Dores	Área Quartéis	Bairro Rosário	Bairro Santa Marta
Índice parcial de pressão	0,56	0,79	0,93	0,19	0,94	0,7	0,94	0,65	0,69
Índice parcial de estado	0,44	0,42	0,52	0,39	0,47	0,55	0,52	0,35	0,39
Índice parcial de impacto	0,36	0,63	0,67	0,46	0,35	0,58	0,69	0,59	0,40
Índice parcial de resposta	0,14	0,11	0,00	0,17	0,10	0,25	0,13	0,33	0,00
Iqa Micro bacias	0,23	0,14	0,02	0,17	0,21	0,26	0,13	0,27	0,12
Iqa Sub-bacia	0,46								

Da tabela 4.6 pode ser extraído os gráficos de radar representativos de cada indicador em relação às unidades representativas das micro-bacias.

A figura 4.1 representa o gráfico ilustrativo do Índice Parcial de Pressão (IPP), nota-se que as micro-bacias da caturrita e Lorenzi apresentam a melhor condição em relação ao indicador da micro bacia Escola. Seu desempenho em relação a uso do solo, população e sistema viário são mais sensíveis, pois o uso do solo é praticamente saturado, a população encontra-se adensada e o sistema viário sub-dimensionado.

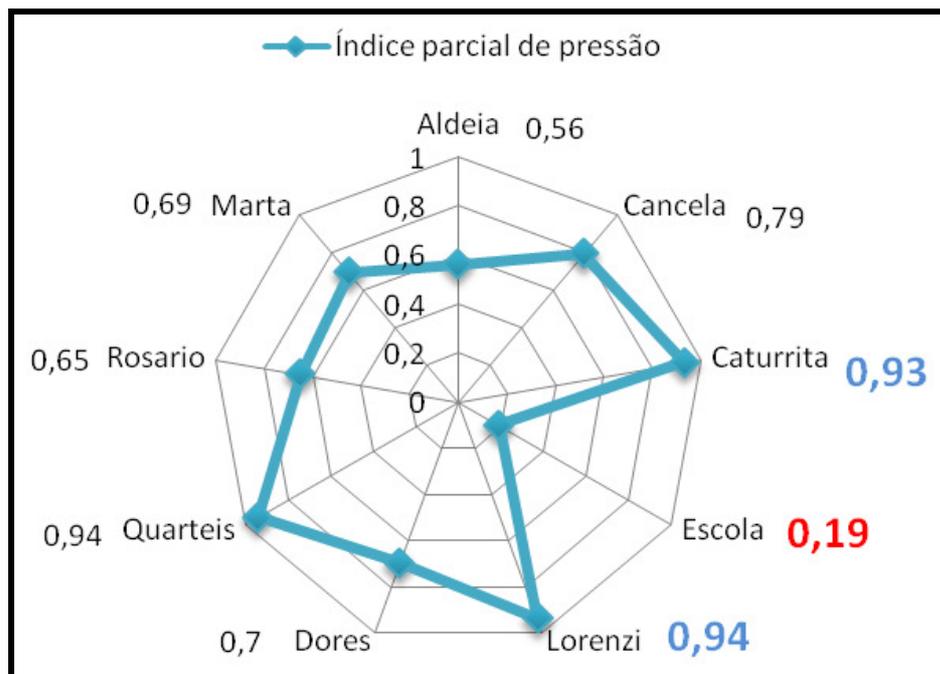


Figura 4.1 - Índice parcial de pressão

No gráfico de estado representado na figura 4.2, pode-se verificar que os índices mensurados das micro bacias Caturrita e Quartéis apresentaram a melhor avaliação, apesar de medianos, em relação ao índice parcial de estado (IPE). Seu desempenho ficou mais fraco devido aos valores indicadores da espacialidade da cobertura do solo baixa nas micro bacias Escola e Rosário e a permeabilidade nas micro bacias do Cancela, Caturrita e Escola. A Resistência à Erosão ficou acima da média em relação à Vulnerabilidade à Poluição e a Vulnerabilidade/Estabilidade. A micro bacia Escola apresentou-se como a mais desfavorável nesta analogia.

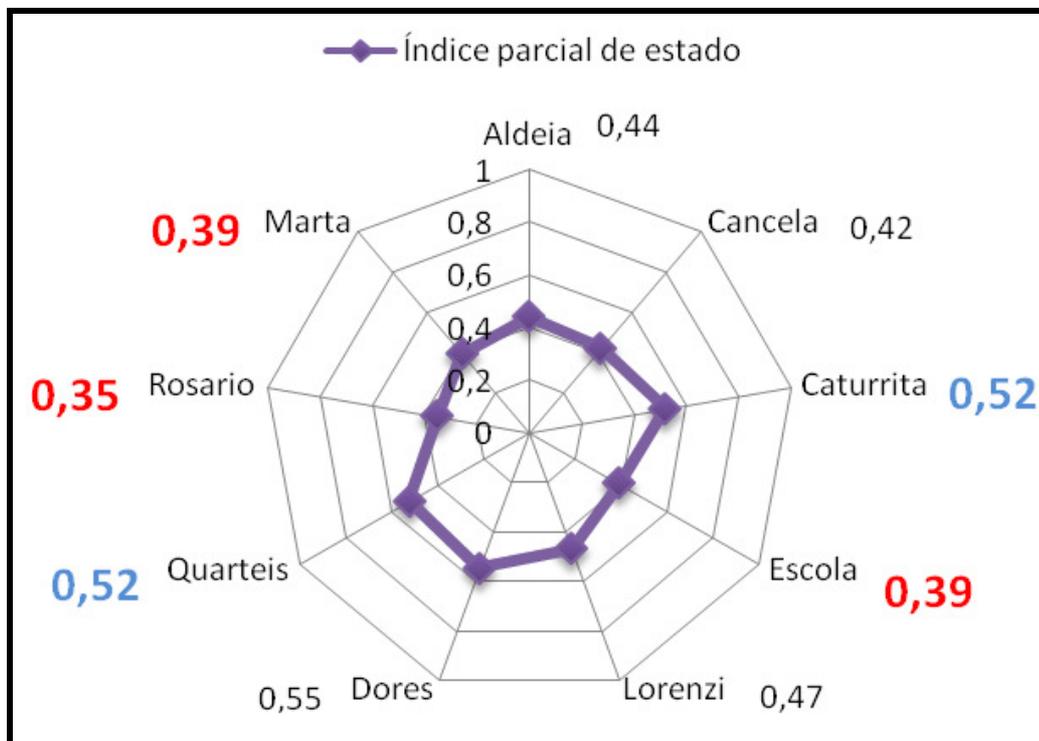


Figura 4.2 - Índice parcial de estado

Nos Índices Parciais de Impacto (IPI) a representatividade das áreas de risco e de preservação favoreceram ao desempenho do indicador de qualidade ambiental em duas micro bacias; Quartéis e Caturrita, principalmente pela característica do relevo plano. Em contraponto as micro-bacias Santa Marta, Rosário e Escola mostraram uma tendência de involução moderada no desempenho do índice de qualidade ambiental. A figura 4.3 ilustra estes valores.

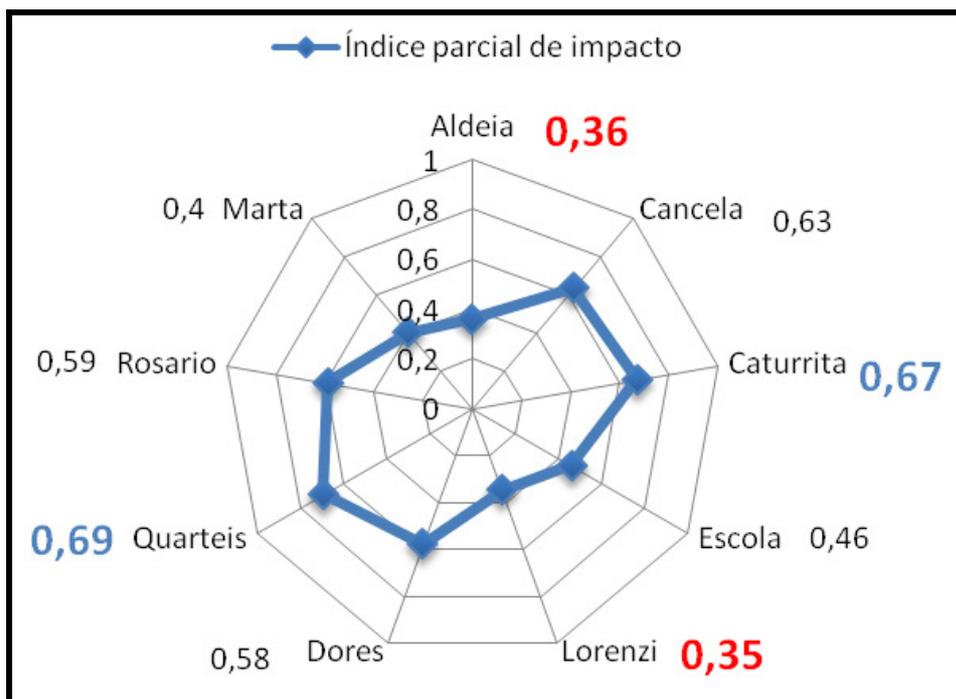


Figura 4.3 - Índice Parcial de Impacto

O Índice Parcial de Resposta (IPR), é o mais significativo do ponto de vista da tomada de decisão. A figura 4.4 demonstra claramente que este indicador de menor desempenho.

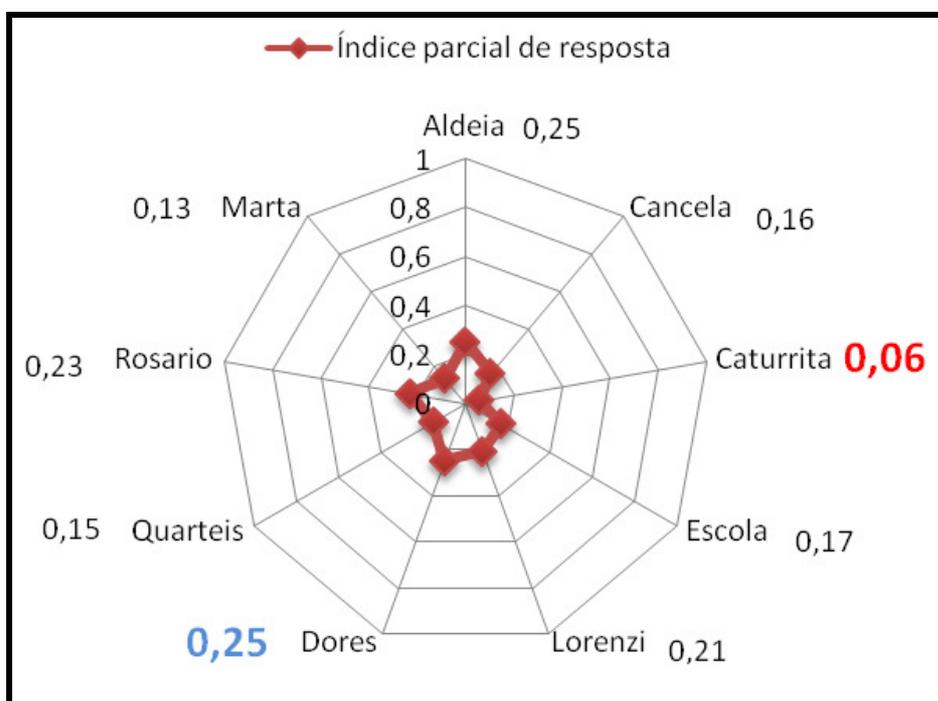


Figura 4.4 - Índice Parcial de Resposta

Em uma última análise do desempenho dos fatores incluídos na pesquisa, o rebatimento dos gráficos de radar da figura 4.5 mostra o índice parcial de resposta como o de menor desempenho no para o modelo PEIR aplicado.

Analisando-se do ponto de vista do conceito das matrizes PEIR, esta configuração apresentada pela sub-bacia do Arroio Cadena requer um aprimoramento na tomada de decisão em relação ao resgate da qualidade ambiental da região, principalmente por ações de incremento ao saneamento em todas as micro bacias da região, uma maior eficácia no trato da expansão urbana e no cumprimento da legislação territorial.

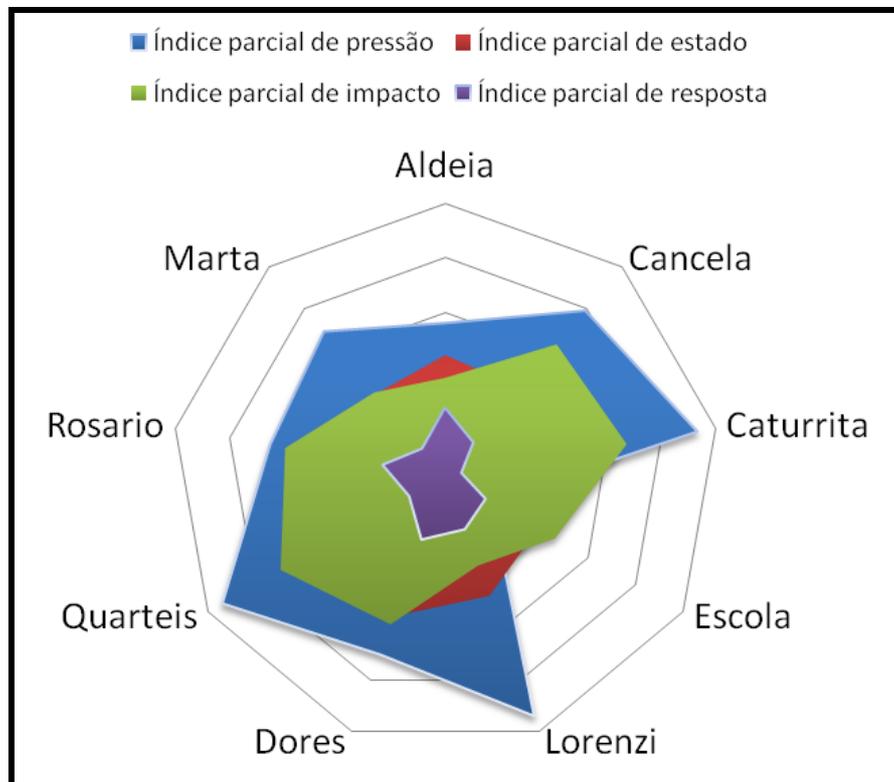


Figura 4.5 - Significância dos Indicadores Ambientais da sub-bacia

Ao final, obteve-se um valor adimensional de 0,46 como índice global da qualidade ambiental da bacia. Este número significa que, após toda a análise permitida pelo modelo, em uma escala de 0 a 1 sob a forma normalizada dos indicadores, baseando-se no conhecimento técnico científico dos estudos, pode-se afirmar que esta sub-bacia apresenta uma qualidade ambiental beirando à mediana, porém com sérias necessidades de adequação no trato com a qualidade ambiental da sub-bacia.

Cabe ainda ressaltar que este valor pode ser interpretado como ponto de partida para uma análise temporal do comportamento da região quando se pretende vislumbrar, por exemplo os reflexos de uma tomada de decisão em escala de sub-bacia, verificando-se até mesmo previamente, qual intervenção será mais benéfica à região de estudo.

4.7 Carta de Qualidade Ambiental

A carta de qualidade ambiental resultou da sobreposição das feições dos indicadores, com isso a área que apresentou mais atributos negativos possui baixa qualidade ambiental em relação as que apresentaram menos atributos. A soma dos atributos negativos e positivos refere-se aos indicadores de menor e maior contribuição à qualidade ambiental.

Por meio da sobreposição dos atributos gerados no estudo nas diversas facetadas dos prognósticos dos indicadores em um SIG com a ferramenta LEGAL9 do software SPRING gerou-se a carta de Qualidade ambiental da sub-bacia.

Nessa integração, não houve a intenção de aplicar nenhum valor quantitativo aos atributos, além dos já formatados pelas análises dos especialistas, ou seja, nenhum atributo possuiu um peso maior que o outro. Este procedimento, A carta síntese, ou seja, de qualidade ambiental foi definida pelo cruzamento dos indicadores do modelo PEIR por meio da Álgebra de Mapas.

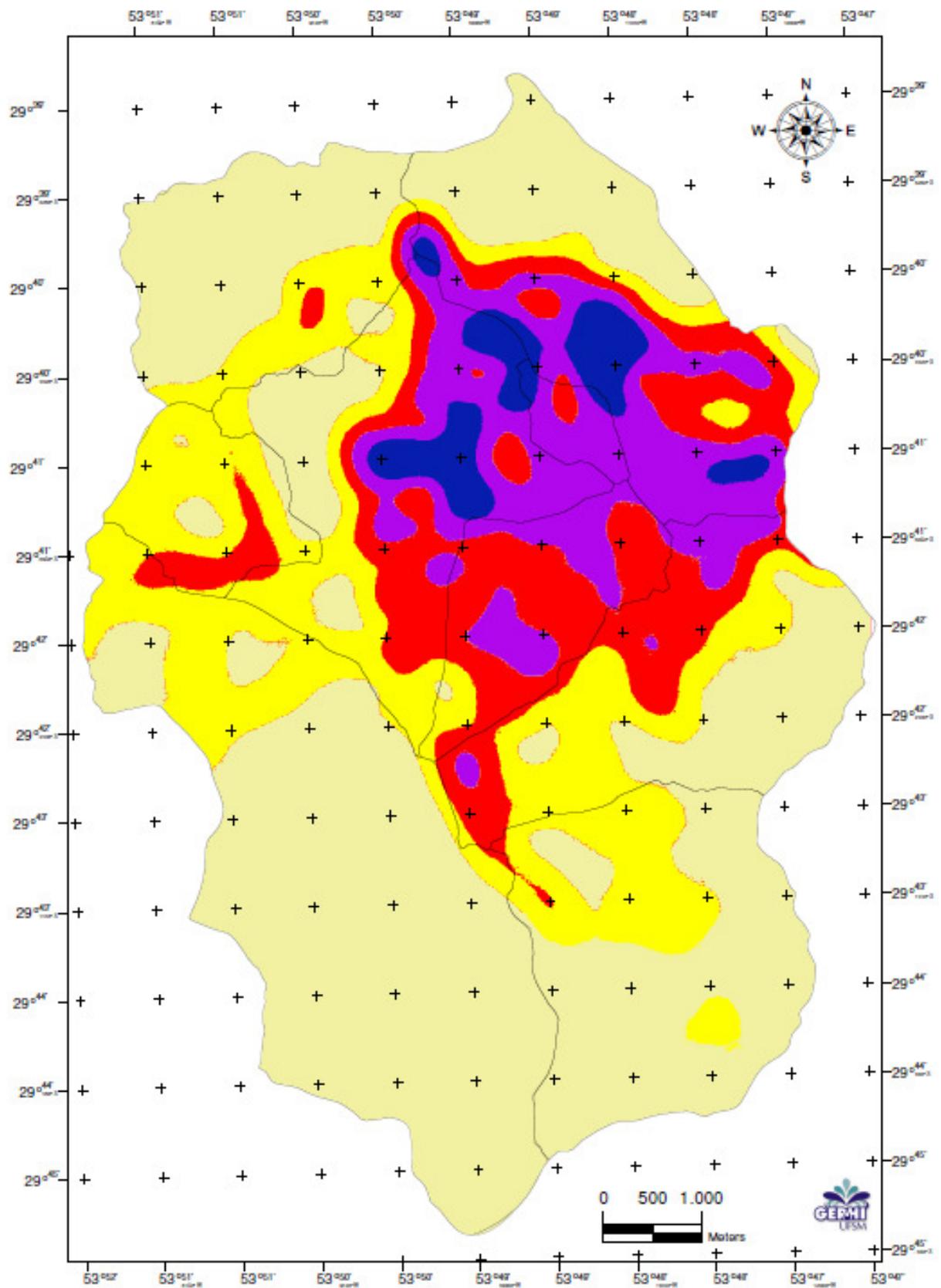
O mapa 4.5 apresenta um roll de graus de intensidade do índice de qualidade ambiental em ordem crescente da qualidade ambiental na área de estudo, baseado no índice de qualidade ambiental. Esta característica de análise revela uma avaliação em consonância com a necessidade de tomada de decisão em escala de controle. No mapa em semitons do amarelo para os semitons da tonalidade azul escura demonstra a condição da melhor para pior qualidade ambiental. A área considerada de baixa qualidade ambiental apresentou uma quantidade maior de atributos negativos, assim como a área classificada de boa qualidade ambiental apresentou nenhum, um ou poucos atributos negativos.

À medida que o mapa apresenta o grau de controle da pressão exercida e do grau de resposta necessária, apresenta também a relação de comprometimento dos impactos resultantes da tomada de decisão. Os locais identificados no mapa com semiton azul denotam maior atenção ao controle ambiental pelos órgãos do

legislativo e do executivo municipal. Na maioria das áreas observadas os quesitos responsáveis pela resposta se fizeram muito baixos, denotando fragilidade dos mecanismos de controle ambiental. Uma faixa tênue, porém não menos importante, é expressa na micro-bacia do bairro Santa Marta, onde a condição de resposta é fraca, resultado de um planejamento não efetivo em vista à ocupação desordenada ocorrida no local sobre áreas de APP. Já a região central da sub-bacia apresenta um comprometimento severo, que nada mais é do que uma tradução da urbanização concentrada na área. Cabe aqui ressaltar que embora a cidade seja considerada de médio porte, bem aquém em extensão das metrópoles, demonstra, pelo estudo que apresenta, com base nas suas características ambientais, problemas tão complexos quanto.

4.8 As incertezas no modelo PEIR

O Mapa 4.6 apresenta um tratamento de interpolação e geração de uma grade regular ou retangular a partir das feições resultantes da carta de qualidade ambiental. Nos pontos mais próximos, os valores conhecidos foram extrapolados (valores constantes) até metade da distância entre ele e seus vizinhos. Esta configuração associa faixas tênues de incertezas em modo gráfico.

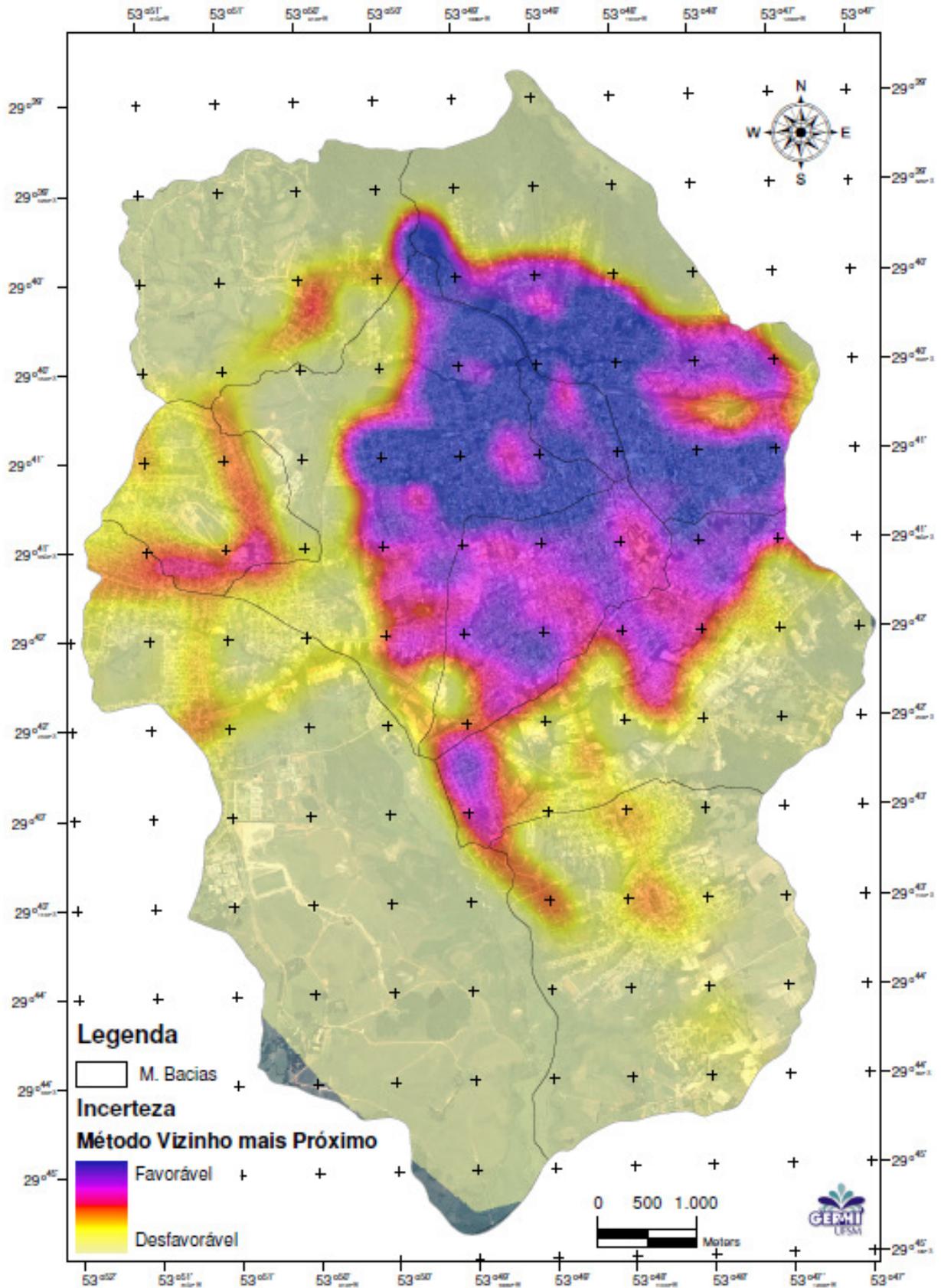


MAPA 3.18 - Carta de Qualidade Ambiental

Legenda

Favorável Moderada	Desfavorável Moderada
Favorável	Desfavorável
Moderada	

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
 Município de Santa Marta - RS
 Sistema de projeção: UTM
 Sistema de referência: SIRGAS 2000
 Fuso: 22S



MAPA 4.6 - Carta de Qualidade Ambiental

Imagem do sensor remoto QUICKBIRD
Município de Santa Maria - RS
Sistema de projeção: UTM
Sistema de referência: SIRGAS 2000
Fuso: 22S

5 CONCLUSÕES

O modelo PEIR demonstrou-se bastante conciso no aprimoramento do estudo da qualidade ambiental para a sub-bacia urbana por meio do uso de técnicas de quantificação dos indicadores PEIR. O diagnóstico bilateral entre as ações antrópicas e o meio ambiente, relacionados à qualidade ambiental urbana, em um primeiro momento estiveram dissociados entre cada micro bacia, mas ao final foram aglutinadas de maneira a expor o real peso de cada uma no computo geral do índice de qualidade ambiental. Os índices de confrontação de pressão, estado, resposta e impacto à medida dos dados subsidiários existentes foram ao nível deste estudo, bastante competentes, haja vista que sua inclusão no que tange à maneira que foi organizada, tornou o entendimento do assunto bastante conciso e facilitado.

Por meio do estudo foi possível verificar que o comprometimento da qualidade ambiental de uma região ao contrário do que se pode pensar não está somente relacionado à falta de cobertura vegetal ou ao aumento das aglomerações urbanas.

Neste estudo algumas condições das características naturais mostraram que uma área com cobertura vegetal densa pode apresentar um índice de qualidade ambiental comprometido, por exemplo, devido às vulnerabilidades das formações.

Como recomendações para futuros trabalhos, relacionados à metodologia desenvolvida nessa pesquisa, sugere-se ampliar o entendimento dos temas ambientais por meio de pesquisas que incluam o meio rural, na chamada zona de transição ou zona de expansão urbana.

Constatou-se que o tema qualidade ambiental urbana é bastante complexo, bem como seus indicadores, pois neles estão contidos fatores subjetivos, que levam em conta a percepção que o indivíduo tem em relação ao seu ambiente e ao seu próprio modo de vida.

O resultado do diagnóstico da qualidade ambiental da sub-bacia do Arroio Cadena apresenta uma grande variedade de analogias que podem ser ampliados em vários outros temas, como o índice de qualidade de vida, que envolve também o fator ambiental.

As decisões que afetam os processos ambientais são consideradas grandes desafios da humanidade devido ao fato de conjugarem diversos atributos que vão desde a sua complexidade, a incerteza e valores conflitantes, conhecimento incerto e incompleto, grande quantidade de pessoas envolvidas, ligações e desvios dos

processos, gestão multidimensional e pressão temporal. Deste modo, o processo de tomada de decisão eficiente sobre os aspectos ambientais requer não apenas bases eficientes de ciência ambiental, mas também um melhor entendimento da interação homem-ambiente e o desenvolvimento e implementação dos processos que integrem ciências exatas e os efeitos sobre as pessoas e suas decisões. Neste sentido, estudos como esse fornecem uma base de conhecimento essencial, mas poucas vezes apreciada, para tomada de decisão nas cidades. Estas metodologias podem ajudar os tomadores de decisão a entender as conseqüências ambientais das suas opções e as conseqüências humanas dos processos e políticas ambientais de forma mais acertada e democrática.

6 REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas. Ateliê Editorial. São Paulo. 2003.

AGENDA 21 - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992: Rio de Janeiro). Brasília: Senado Federal Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996. 585 p.

ALMEIDA, S. R. (coordenador). Planejamento Ambiental: Caminho para Participação Popular e Gestão Ambiental para Nosso Futuro Comum: Uma Necessidade, Um Desafio. Biblioteca Estácio de Sá. Rio de Janeiro. 1993.

ALTEGG, H.; ROTH, I; SCHELLER, A. Monet measuring sustainable development: final report methods and results. Neuchâtel: Swiss Federal Statistical Office, 2004. Disponível em: <<http://www.bfs.admin.ch>>. Acesso em: abr. 2008

AMBIENTE BRASIL <http://www.ambientebrasil.com.br/>, acessado em outubro de 2009.

BASTOS, C. A. B. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. Porto Alegre, 1999. 269 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BELL S.; MORSE, S. Measuring Sustainability. London, Earthscan, 2003.

BELLEN, H. M. V. Indicadores de Sustentabilidade: Uma Análise Comparativa. Rio de Janeiro: ed.FGV, 2007. 256 p.

BERGER, R. Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização. 2000. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

BIRKHOLZ, L. B., BRUNA, C. G. (org.), et al. Questões de Organização do Espaço Regional. Nobel. Edusp. 1983. São Paulo.

BRAGA, Tania Moreira, Índices de sustentabilidade municipal: o desafio de mensurar / Tania Moreira Braga et al. - Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2003. 22p. (Texto para discussão ; 225)

BRIASSOULIS, H. Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches. Tese (Doutorado). University of Aegean, Lesvos, Grécia, 2000. Disponível em <<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acesso em: 22 mar 2007.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. (2000) Introdução ao Geoprocessamento. in: CÂMARA, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V; Paiva, J. A.; D'Alge, J. C. L. (orgs.) Geoprocessamento: teoria e aplicações. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>>. 5p.

CARLOS, A. F. A., LEMOS, A.I.G. (orgs.) Dilemas Urbanos: Novas abordagens sobre a cidade. Editora Contexto. São Paulo. 2003

Carta Topográfica de Santa Maria – SE (Folha SH.22–V–C–IV/1–SE)

CARVALHO, P. F., BRAGA, R. (org.) Perspectivas de Gestão Ambiental em Cidades Médias. Rio Claro. UNESP - IGCE – Laboratório de Planejamento Municipal – DETLAM. 2001.

CHORLEY, R.J. (1962) Geomorphology and general systems theory. U.S. Geology

COOKE, R.M. Experts in uncertainty: opinion and subjective probability in Science. New York: Oxford University Press, 1991. 317p.

CORRÊA, Michele de Almeida; TEIXEIRA, Bernardo Arantes do Nascimento. Indicadores de sustentabilidade para gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré – SP. Disponível em: <[HTTP://hygeia.fsp.usp.br/siades/documentos/Publicacoes/artigo](http://hygeia.fsp.usp.br/siades/documentos/Publicacoes/artigo) 12f.pdf> Acesso em: 24 out 2008.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. 2001. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial. São José dos Campos. SAE/INPE. (INPE-8454-RPQ/722).

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ Filho, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; Curso de sensoriamento remoto aplicados ao zoneamento ecológico-econômico [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8 Salvador, 1996. Anais. São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científica.

DAHL, A. L. The big picture: comprehensive approaches. In: MOLDAN G.; BILHARZ, S. (Eds.) Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1997.

DESERTLINKS e DIS4ME. <http://www.unibas.it/desertnet/dis4me.htm>. Acesso em: nov. de 2008.

DUIJVENBOODEN, W. VAN and WAEGENINGH, H.G. van, (eds.), (1987) Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings/Inf. N. 38 of the

International Conference held in the Netherlands, in 1987, TNO Committee on Hydrological Research. http://www.dha.lnec.pt/nas/textos/novidades/drastic_e.html. Acesso em: 24 mai. 2007.

DUVIGNEAUD, P. (1996) - A Síntese Ecológica. Instituto Piaget, Lisboa, , 787 p. (2ª. ed).

EEA, 1999 - Environment in the European Union at the turn of the century. EEA, Environmental assessment report, n. 2: 447 pp.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses : MDT / Universidade Federal de Santa Maria. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. – 6. ed. rev. e ampl. – Santa Maria: Ed. da UFSM, 2006. 67 p. ISBN: 85-7391-074-7.

FAO e LIASA <<http://bibdigital.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/bibdigital@80>> Acesso em: 22 dez. 2008.

FAUSTINO, J. Planificación y Gestión de Manejo de Cuencas. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FAZLOLLAHI, B.; PARIKH, M. A.; VERMA, S.. Adaptive decision support systems.

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. Estudos desenvolvidos FEEMA, suplemento 2 Rio de Janeiro, 1987.

FEEMA, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente “VOCABULÁRIO BÁSICO DE MEIO AMBIENTE”. FEEMA, Rio de Janeiro:, 1990. 2ª ed. 246 p.

FELDMAN, F. Entendendo o meio ambiente. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1997.

FERSON, S.; GINZBURG, L.R. Different methods are needed to propagate ignorance and variability. Reliability Engineering and System Safety. 54 (1996) 133-144

FRAG_RIO – Relatório Desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise da viabilidade de hidrelétricas, tendo como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Médio e Alto Rio Uruguai, RS e SC. UFSM – UNIPAMPA.

GDRC. Notes on "Quality of Life". (2002) The Global Development Research Center. 2002. Disponível em <www.gdrc.org/uem/qol-define.html>. Acesso em: 22 abril. 2008.

GEO cidade de São Paulo: panorama do meio ambiente urbano / SVMA, IPT. – São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente; Brasília: PNUMA, 2004.

GEO_Cidade de São Paulo: Panorama do Meio Ambiente Urbano/SVMA, IPT – São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente; Brasília : PNUMA, 2004.

GLAZOVSKAYA, M.A. Methodological guidelines for forecasting the geochemical susceptibility of soils to technogenic pollution. Technical Paper 22, International Soil Reference and Information Center, 1990.

GONÇALVES, J. et al. Proposta para um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. Direção Geral do Ambiente, 2000.

GOUZEE, N., MAZIJN, B. & BILLHARZ, S. (1995). Indicators of Sustainable Development for Decision-Making. Report of the Workshop of Ghent, Belgium, 9-11 January 1995, Submitted to UN Commission on Sustainable Development. Federal Planning Office of Belgium, Brussels.

GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. da. Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

HARDOY, Jorge E.; MITLIN:Diana; SATTERTHWAITTE, David. Environmental Problems in Third World Cities. Londres, Earthscan Publications, 1992. 464p. IPP, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos.

HOOVER, E. M.; GIARRATANI, F. An introduction to regional economics. New York(1984).

HORBERRY, J. 1984. Status and applications. for EIA for development, Gland, conservation for development centre, 86p.

HORTON, R. E. (1945) - "Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Ass. Bull., 56, p. 275-370.

IBGE; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. BRASIL. censo 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.org.br/>>. 2002, acesso em 22 mar. 2007.

JANUZZI, Paulo de Martino. Indicadores sociais no Brasil: conceitos, fontes de dados e aplicações. Campinas: Alínea, 2001.

KLIMESOVÁ, D.; OCELÍKOVÁ, E. Spatial data uncertainty management. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXXVII (2008) 209-212.

LEI COMPLEMENTAR. N° 033 de 29 de dezembro de 2005, Instituiu a Lei de Uso e Ocupação do Solo, Parcelamento, Perímetro Urbano e Sistema Viário do Município de Santa Maria.

LIMA, Jaqueline de Oliveira, ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL PARA O MUNICÍPIO DE MORRINHOS. X EREGEIO SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA. UFG Catalão (2007), GO.

LOMBARDO, M. A. Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

LOYOLA, M. P. Exploring the Use of Buffer Analysis for the Identification of Impacted Areas in Environmental Equity Assessment. Cartography and Geographic Information Systems, v.24, n.3, p.145-157, 1997

MAACK, R. Geografia Física do Estado do Paraná. José Olímpio Editora. 2ª Edição. Rio de Janeiro.Curitiba. 1981.

Maciel Filho, Carlos Leite; Carta Geotécnica de santa Maria. Imprensa Universitária – UFSM 1990.

MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. Indicadores ambientais e recursos hídricos: Realidade e perspectiva para o Brasil a partir da experiência francesa. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. Indicadores ambientais e recursos hídricos: Realidade e perspectiva para o Brasil a partir da experiência francesa. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MARZALL, Kátia; ALMEIDA, Jalcione. O estado da arte sobre indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas. Disponível em: <<http://www.ivides.org/atlas/agoecossistemas.pdf>>. Acesso em: 02 out 2008.

MCCARTHY, 1988, A. Monet measuring sustainable development: final report methods and results. Neuchâtel: Swiss Federal Statistical Office, 2004. Disponível em:<<http://www.bfs.admin.ch>>. Acesso em: abr. 2008

MCQUEEN, D.; NOAK, H. Health Promotion Indicators: Current Status, issues and problems. Health Promotion. 3, 117-125, 1988.

MIRANDA, Aline Branco de; TEIXEIRA, Bernardo Arantes do Nascimento. Princípios específicos de Sustentabilidades para Sistemas Urbanos de

Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário. Florianópolis: ECOURBS, 2002

MUNN, R.E.. Environmental Impact Assessment, SCOPE(1975)

NEWMAN, L. J. 1985. Ultisol-dominated landscapes in the Amazon basin of southeastern Peru. Master's thesis. Department of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh, USA. pages.

NILSSON, J.; GRENNFELT, P. (eds.). Critical loads for sulphur and nitrogen Milijorapport. Nordic Council of Ministers, 15, Copenhagen. 1998.

NUCCI, J. C. Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano. São Paulo: Humanistas/FFLCH-USP, 2001. 236p.

OECD, 1993 - Coastal Zone Management - Integrated Policies. OECD, Paris: 19-124

OSORIO Filho, Benjamin Dias; Reichert, José Miguel; Reinert, Dalvan José, Collares, Gilberto L.; Vohleberg, Emerson V.; Sequinatto, Leticia, José Perazza, Efrain Solano; QUALIDADE FÍSICA DO SOLO DE MICROBACIA HIDROGRÁFICA NO PLANALTO MÉDIO – RS, UFSM/DS, 97105-900 Santa Maria-RS. *agronomiabf@zipmail.com.br*. Financiado por RS-Rural/Fepagro.

PALMEIRA, A. F., CREPANI, E., MEDEIROS, J.S. de, Uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para geração do mapa de vulnerabilidade à perda de solos para o município de Paragominas (Estado do Pará). In: VIII Simpósio de Geologia da Amazônia (VIII SGA), CDROM 2003, Manaus.

PANG, A. Visualizing Uncertainty in Geo-spatial Data (2001).

PEARSON, J. M.; SHIM, J.P. An empirical investigation into decision support systems capabilities: A proposed taxonomy. Information e Management 27, 1994.

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídrico, 2004-2007 (2005). Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, Departamento de Águas e Energia Elétrica. Disponível em: <www.sigrh.sp.gov.br> Acesso em: 24 out 2008.

PNUD. Programa Das Nações Unidas para o Desenvolvimento; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada; Fundação João Pinheiro; Fundação Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística (1998) Desenvolvimento Humano e Condições de Vida: Indicadores Brasileiros. Brasília.

POPULATION RESOURCES ENVIROMENT AND DEVELOPMENT DATABANK: (PRED BANK version 3.0). [New York]: United Nations, Population Division, 2002. (ESA/P/WP, 170).

PRONK, Jan e UL HAQ, Mahbub 1992. "Sustainable Development- From Concept to Action." El informe de La Haya Ministerio de Cooperación para el Desarrollo, La Haya y PNUD, Nueva York

RAMBO, B. A Fisionomia do Rio Grande do Sul. Unisinos, São Leopoldo, 1994, p.408-413.

REDE DAS ÁGUAS; http://www.rededasaguas.org.br/bacia/bacia_02.asp, Acesso em: 15 de jan.de 2009.

RIBEIRO, H.; VARGAS, H. C.(2003) Qualidade Ambiental Urbana: Ensaio de uma Definição. in Vargas, H. C.; Ribeiro, H. (org.) Novos Instrumentos de Gestão Ambiental Urbana. Edusp, São Paulo.

RIBEIRO, S. C. Fatores Sócio-Ambientais na Aceleração de Processos Erosivos em Áreas Urbanas: O Bairro Seminários, Crato / CE. In: Revista do Departamento de Geografia. X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. UERJ. Rio de Janeiro. 2003. Disponível em <<http://www.cibergeo.org/xsbgfa/cdrom/eixo3/4.4/133/133.htm>> Acesso em: 15 de jun. de 2004.

ROGER, R.; GUMUCHDJIAN, P. Cidades para um pequeno planeta. 1. ed.Barcelona:GG,2001.

ROSA, F. de A. PEDRON, R. S. D. DALMOLIN, P. MIGUEL, R. S. SANA, E. L. Poelking LEVANTAMENTO SEMIDETALHADO DE SOLOS EM AMBIENTES URBANOS: CASO DO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA – RS.

ROSS J.L.S & MOROZ, I.C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: :FFLCH-USP, IPT, FAPESP. Mapas e Relatório. 69p. 1997.

ROSS, J. L. S. Análise empírica das fragilidades dos ambientes naturais e antropizados. Rev. do Depto. de Geog. FFLCH-USP, 8, 1994.

RUHOFF, Anderson Luis; PENNA, Bernardo Sayão e Souza; GIOTTO Enio; Pereira Rudiney Soares ; “Lógica Fuzzy e Zoneamento ambiental da Bacia do Arroio Grande”, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, giotto@ccr.ufsm.br.

SACHS, Ignacy. Desenvolvimento sustentável, bio-industrialização descentralizada e novas configurações rural-urbanas. Os casos da Índia e do Brasil. In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (Orgs.). Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental. São Paulo: Cortez, 1997.

SACHS, Ignacy. Desenvolvimento sustentável, bioindustrialização descentralizada e novas

SAMSON, S.; RENEKE, J.; WIECEK, M.M. A review of different perspectives on uncertainty and risk and an alternative modeling paradigm. *Reliability Engineering and System Safety*. 94 (2009) 558– 567.

SANTOS, M. O Espaço do Cidadão. Nobel. 4ª Edição. 1998. São Paulo.

SANTOS, M., SILVEIRA, M.L. O Brasil: Território e sociedade no início do século XXI. Record. 4ª Edição. Rio de Janeiro. 2002.

SCHMIDLIN, Dirley. Sensoriamento remoto: captura da informação espacial. *Revista Fator GIS, Curitiba-PR*, n. 5, p. 19, abr./maio/jun. 1994.

SILVA, D. S. (2002) – À espera da cheia? Paradoxos da modificação do ambiente por via da tecnologia, Lisboa, ISCTE.

SILVEIRA, A. L., LOUZADA, J. A., e Beltrame, L. (1993). Infiltração e armazenamento no solo. In "Hidrologia: ciência e aplicação", Vol. 1. Tucci, C. E. M., Porto Alegre. pp.335-372

SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral; SILVEIRA, André Luiz da; Seleção Ambiental de Barragens – Ed. UFSM, 2005. Santa Maria.

SILVEIRA, Geraldo Lopes da; Relatório Bacia Escola Urbana. UFSM, 2008. Santa Maria.

SOUZA, E. R. de; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte*, v.21, n.207, p.15-20, nov./dez. 2000.

STRAHLER, A. N. (1964) - "Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks". Section 4-II of *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Co., New York Survey. Prof. Paper (500-B):1-10..

TUCCI, C.E.M. Regionalização de vazões. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2002.

TURNER, B. L. II; MEYER, B. L. "Global land use and land cover change: An overview". In: MEYER, W. B.; TURNER, B. L. II. (Ed.). *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994.

UNCHS; The State of the World's Cities 2001, Nairobi: UNCHS. ISBN 9211314763. Web: <http://www.unchs.org/Istanbul+5/statereport.htm>. Acesso em: 14 jan. 2009.

VAZ, Cezar Augusto B.; SILVEIRA, Geraldo Lopes da; Cruz, Jussara Cabral; Bertoldo, Felipe, Flain, Cristiano Patta, Avaliação do Custo de Retirada de Edificações de Área de Preservação Permanente como o uso de Sistema de Informações Geográficas. Anais IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, 2008.

VIEIRA, P. F.; WEBER, J."Configurações rural-urbanas. Os casos da Índia e do Brasil. (Orgs.).Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios paa a pesquisa ambiental". São Paulo: Cortez, 1997.

VILLELA, S. M. & MATTOS, A. (1979) - Hidrologia Aplicada, Ed. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 245 p.

WIENS, S., RAULI, F. de C., ARAÚJO, F. T. Indicadores. In: SILVA, CL; MENDES, (Org.). Desenvolvimento Sustentável: um modelo analítico integrado e adaptativo. ed. Rio de Janeiro, 2006, v. 1, p. 145.

XAVIER; Da SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. Sistemas de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA LATINO - AMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 4., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 2., 1993, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 1993. p. 609-628.

ANEXO 1 - O projeto FRAG-RIO

1.1 O modelo de fragilidades ambientais FRAG-RIO¹⁰

O modelo de fragilidades ambientais é um modelo espacialmente distribuído, a partir da elaboração de mapas básicos e temáticos, que combinados e classificados com relação a maior potencialidade de geração de gerar impactos ou sofrer impactos, dão origem a mapas de fragilidades ambientais. Ou seja, o modelo tem por objetivo gerar um zoneamento ambiental, considerando os aspectos agro-econômico-ecológico-antrópicos de uma bacia hidrográfica, que é utilizado como instrumento “auxiliar” para a tomada de decisão sobre “quais áreas” apresentam maior potencial para a implementação de empreendimentos.

A padronização envolve a transformação das escalas das variáveis, de tal forma que todas as variáveis sejam expressas no mesmo intervalo de grandeza, por exemplo, entre zero e um. Essa transformação pode ser feita de muitas maneiras (a partir de diferentes funções) e, geralmente, é efetuada de forma diferente para cada variável, sendo comum a interpolação linear.

Mapa de Fatores

Os mapas de fatores são mapas cujos valores espacializados variam de zero (restrição absoluta) a 1 (um) (sem restrições). A fim de otimizar o armazenamento das informações e o processamento no software de geoprocessamento, a escala utilizada é a de bytes, com 256 valores (0 a 255).

Os mapas de fatores são aqueles que representam geo-campos que hierarquizam cada célula do mapa de acordo com uma variável indicadora de algum processo relevante para o processo de tomada de decisão. Expressam as fragilidades (ou favorabilidades em escala pré-definida e igual para todas as

¹⁰O Projeto FRAG-RIO é uma pesquisa constante do Convênio Referência 0374/08, celebrado entre a FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS – FINEP e a Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência – FATEC (como instituição conveniente), tendo como instituições executoras a Universidade Federal de Santa Maria e a Universidade Federal do Pampa, e como instituição apoiadora, o CNPq. Este projeto visa o desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise da viabilidade de hidrelétricas, tendo como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Médio e Alto Rio Uruguai, RS e SC. Este relatório compreende os estudos referentes ao Alto Rio Uruguai.

variáveis) ambientais. São obtidos a partir do cruzamento de informações referentes a cada tema, devidamente valorados em escala comum.

1.1.1 Mapa de Restrições

Os mapas de restrições têm somente dois tipos de áreas: região sem restrições e outra zona com restrição absoluta, ou seja, áreas que não poderão, em hipótese alguma, receber a locação das intervenções objeto das análises. Deste modo, são apresentados em escala booleana, ou seja, valor 0 (zero) para as áreas onde não podem ser localizados os empreendimentos e 1 (um) para os locais onde podem ser localizados.

1.1.2 Mapa Síntese

Os mapas síntese expressam o resultado final do cruzamento das informações que sintetizam o grau de fragilidades ambientais.

O equacionamento deve ser desenvolvido pixel a pixel em ambiente de geoprocessamento e de forma georreferenciada.

Um primeiro modelo a ser utilizado é a soma ponderada dos mapas de fatores (que contém as notas de fragilidades ou favorabilidades):

$$VA = \sum(Fi*pi) = F1*p1 + F2 * p2 + \dots + Fn * p \quad \text{Eq 2.1}$$

Sendo F o fator ou aspecto considerado; p , a ponderação do fator; e n , o número de fatores considerados. Em uma valoração padronizada de 0 a 1 para VA, o somatório de ($p1 + p2 + \dots + pn = 1$).

O cruzamento de diferentes mapas que espacializam os critérios de valoração (mapas de fatores, F) caracteriza uma análise de multicritério para tomada de decisão. É claro que o equacionamento para o VA, conforme apresentado na equação anterior, pode envolver outras operações além do somatório (Σ), como o produtório (π), além de operações lógicas, estatísticas e multivariadas.

$$VA = F1 * F2 * \dots * Fn \quad \text{Eq 2.2}$$

1.1.3 Níveis de Decisão - Bloco X Aspecto X Variável

O princípio da parcimônia ensina que se deve utilizar o menor número possível de variáveis no modelo. Isto significa que, das variáveis indicadoras de algum processo ambiental importante, somente uma será aplicada, tanto em função da disponibilidade de dados como do valor indicativo da variável.

Porém, uma análise ambiental deve considerar na modelagem tanto aspectos do meio físico, como do biótico e do antrópico. O modelo está organizado em três níveis de modelagem: o mapa síntese é resultante de uma ponderação entre Blocos das fragilidades dos Meios Físico, Biótico e Antrópico. Cada bloco é formado por aspectos relevantes indicativos de processos geradores de impacto: das obras no meio e do meio nas obras. Cada aspecto é o resultado do equacionamento de variáveis indicadoras de estado, mapeáveis na escala do estudo (nesse caso 1:250.000) em 100% da área do estudo. O resultado dos cruzamentos das variáveis são mapas sínteses dos aspectos. O resultado do cruzamento dos diferentes aspectos gera um mapa síntese do bloco e finalmente, do cruzamento dos diferentes blocos, obtém-se o mapa síntese do modelo. Figura 2.1.

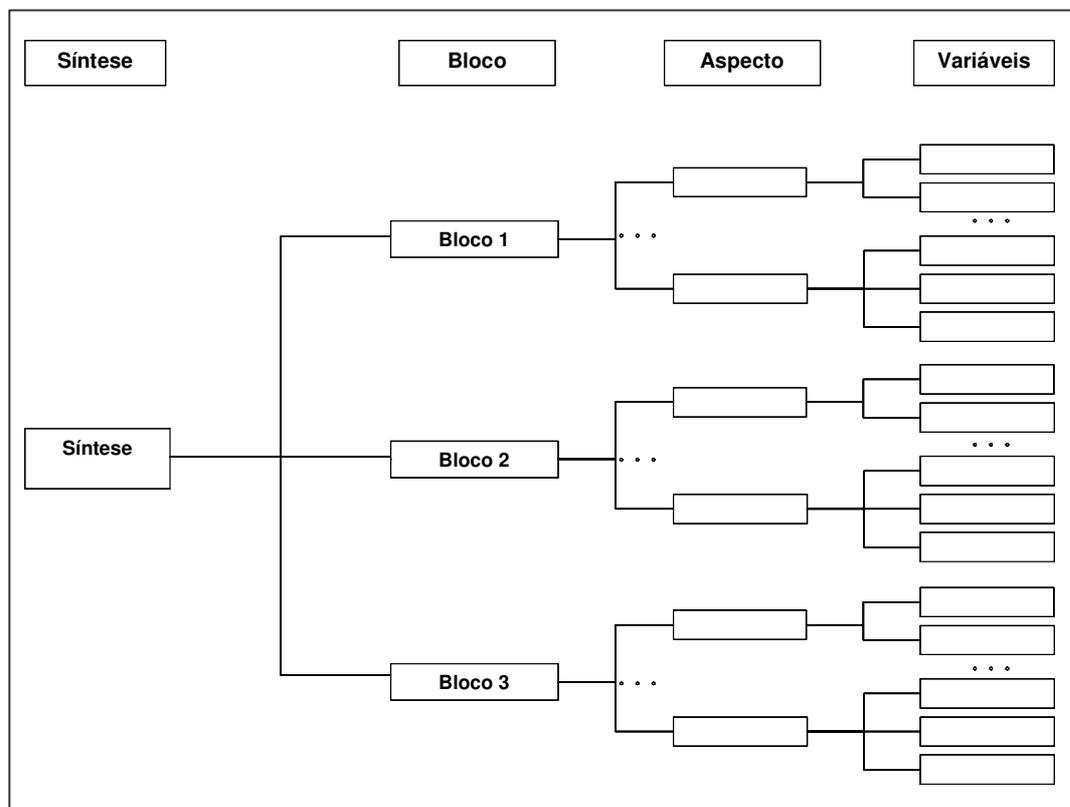


Figura 2.1 – Níveis de decisão do Modelo

ANEXO 2 - Caracterização da bacia hidrográfica

A caracterização da bacia hidrográfica é um instrumento importante para o conhecimento de uma região, principalmente quando a unidade de referência é a própria bacia.

Baseado na seqüência de Cruz (2006), e na metodologia de Christofolletti, A. (1980), torna-se providencial demonstrar os parâmetros básicos de análise das características físicas da sub-bacia por meio de parâmetros lineares. Concomitantemente, as características da rede de drenagem tornam-se necessárias para fundamentar um estudo completo da mesma delineando um enfoque associado intrinsecamente ao relevo.

Segundo Cruz (2006), a caracterização da bacia hidrográfica define objetivamente as medidas, gráficos e índices fisiográficos mais difundidos na literatura científica que podem ser estabelecidos por meio de cartas que contém curvas de nível (topografia) e a rede de rios (hidrografia). Portanto, o ponto de partida para extrair as informações fisiográficas é a individualização da bacia hidrográfica.

Christofolletti, A. (1980), refere que o estudo do sistema de drenagem de uma bacia, quando se trata de planejamento urbano pode tornar-se complexo à medida que os especialistas envolvidos direcionam sua análise. Partindo-se da análise linear básica da bacia hidrográfica podem-se averiguar vários índices e relações, medidos ao longo das linhas de escoamento, que serviram de base para a compreensão das características de área de estudo, a seguir apresentadas.

2.1 Características Geométricas

A bacia hidrográfica é individualizada por uma linha que passa pelo cume das elevações definidas pela topografia regional. Esta linha que passa pelo cume das elevações – chamada de divisor de águas – corta a rede fluvial somente no exutório da bacia hidrográfica.

O divisor de águas pode ser definido sobre uma carta plani-altimétrica da região de modo a separar a bacia em estudo das bacias contíguas ou vizinhas. Também pode ser definido a partir de uma informação de modelo numérico de terreno existente na região. A figura 1.1 apresenta em vista uma bacia com a

representação de seu divisor de águas, talvegues formadores e exutória, em corte à direita a representação da composição da mesma.

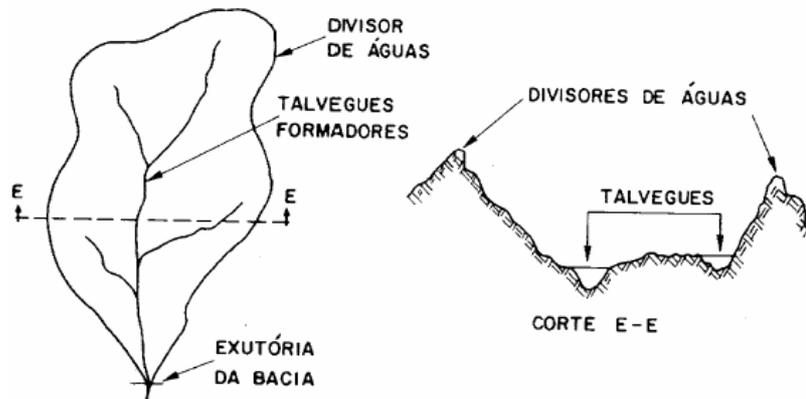


Figura 1.1- Vista de uma bacia com a representação de seu divisor de águas, talvegues formadores e enxutório, à direita a representação em corte da mesma.

2.1.1 Área (A) e perímetro (P) da Bacia

Área da bacia é medida em planta da superfície contribuinte à seção exutório da bacia, ou ainda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal. É dada em unidade de área: m^2 , km^2 , ha. É o comprimento da linha de contorno da bacia em planta (divisor de águas, linha divisora de água que delimita a bacia). A sub-bacia do Arroio Cadena, conforme apresentado anteriormente possui uma área de 6.408,50 ha. e um perímetro de 36.357,00 m.

2.1.2 Comprimento da bacia

Várias são as definições a propósito do comprimento da bacia, acarretando diversidade no valor do dado a ser obtido. Entre elas podemos mencionar:

1. Distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro, que assinala equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele, o ponto mencionado representa, então, a metade da distância correspondente ao comprimento total do perímetro;
2. Maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro;
3. Em cada confluência, a partir da desembocadura, seguir o canal fluvial montante situado em posição altimétrica mais baixa até atingir a nascente do segmento de primeira ordem localizada em posição altimétrica mais baixa, no conjunto da bacia;

4. Curso de água mais longo, da desembocadura da bacia até determinada nascente, medida como a soma dos comprimentos dos seus ligamentos.

Para o estudo proposto da sub-bacia do Arroio Cadena, o uso da magnitude é critério prático em vista do funcionamento hidrológico da bacia, direciona-se então a atenção aos três últimos critérios. O terceiro critério exige determinação precisa das cotas altimétricas e oferece vantagens para a análise das características topográficas. O quarto critério, o do curso de água mais longo, também é prático e se inter-relaciona com a análise dos aspectos morfométricos e topológicos das redes de drenagem. Os resultados obtidos por meio dos diversos critérios apresentaram diferenças pequenas.

A medição no modelo digital direto, foi utilizada para obter o comprimento da bacia, conforme linha em azul nas perspectivas da sub-bacia e suas curvas de níveis, apresentadas na figura 1.2, optou-se pelo uso da magnitude dando-se prioridade ao funcionamento hidrológico da bacia. Sendo assim usou-se a alternativa “b”, pela maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro. Obteve-se o valor de 12.040,36 m.

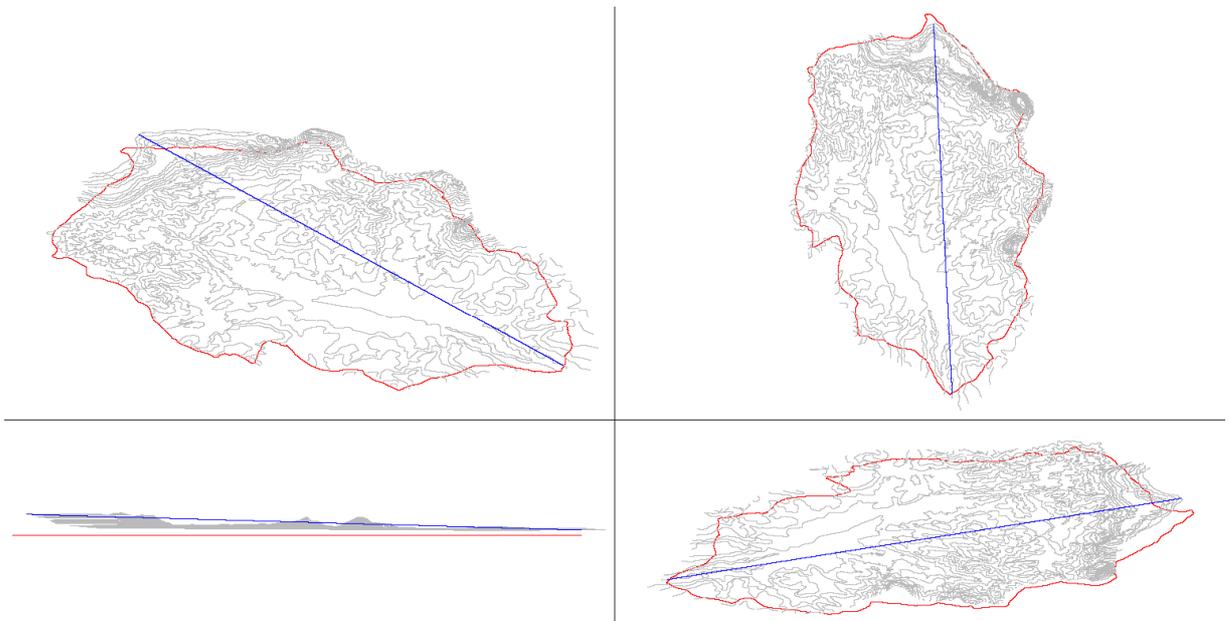


Figura 1.2 – Comprimento da sub-bacia.

2.1.3 Forma da bacia

A forma da bacia uma característica importante devido ao tempo de concentração, ou seja, o tempo a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo.

A fim de determinar a caracterização da forma das bacias, foram propostos vários processos. David R. Lee e G. Tomas Salle (1970, apud CHRISTOFOLETTI,1980) expuseram o método de estabelecer a forma de uma bacia ou de qualquer outro fato que seja delimitado. Após a delimitação da bacia, independentemente da escala, traça-se uma figura geométrica (círculo, retângulo, triângulo) que possa cobrir da melhor maneira possível a referida bacia hidrográfica. A seguir, relaciona-se a área englobada simultaneamente pelas duas com a área total que pode pertencer à bacia e ou à figura geométrica, obtendo-se um índice de forma.

Aplica-se então a equação:

$$I_f = 1 - \frac{\text{área}(B \cap F)}{\text{área}(B \cup F)}$$

Eq 1.1

Sendo que I_f é o índice de forma; B é a área da bacia; F é a área da figura geométrica. Para esse método, quanto menor for o índice, mais próxima da figura geométrica respectiva estará a forma da bacia. A figura 1.3 demonstra graficamente este procedimento, sendo que a forma da bacia é inerente a uma elipse.

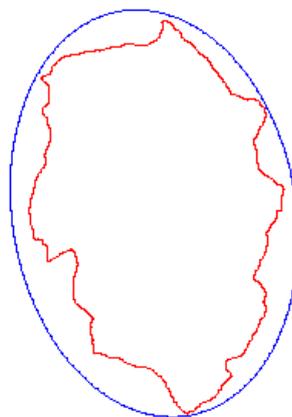


Figura 1.3 – Forma geométrica da sub-bacia

Para o índice de forma obteve-se o valor adimensional de 0,29. Esta bacia possui o formato elipsoidal.

2.1.4 Índice entre o comprimento e a área da bacia

Obtém-se o índice dividindo-se o diâmetro da bacia pela raiz quadrada da área, conforme a equação:

$$Ico = \frac{D}{\sqrt{A}}$$

Eq 1.2

Sendo que *Ico* o índice entre o comprimento e a área, *D* o diâmetro da bacia, e *A* a área da bacia.

Este índice apresenta significância para descrever e interpretar tanto a forma como o processo de alargamento ou alongamento da bacia hidrográfica. A sua significação advém do fato de podermos utilizar figuras geométricas simples como ponto de referência. Quando o valor do *Ico* estiver próximo de 1,0, a bacia apresenta forma semelhante ao quadrado; quando o valor for inferior ao da unidade, a bacia terá forma circular, e quando maior for o valor, acima da unidade, mais alongada será a forma da bacia.

Para o índice entre o comprimento e a área obteve-se o valor adimensional de 3,57. Esta bacia possui o formato alargado.

2.1.5 Densidade de rios

É a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão, como, por exemplo, o quilômetro quadrado. Esse índice foi primeiramente definido por Horton (1945), sendo calculado pela equação:

$$D = \frac{N}{A}$$

Eq 1.3

Sendo D é a densidade de rios, N é o número total de rios ou cursos de água e A é a área da bacia considerada.

Para a densidade de rios calculou-se o valor adimensional de 0,0021. Apresentando um valor muito baixo, entre o número de rios e a área da bacia, denotando comportamento hidrográfico de baixa capacidade de gerar novos cursos de água. Mais agravado ainda na sub-bacia em estudo devido à canalização dos mesmos.

2.1.6 Coeficiente de Compacidade ou Índice de Gravelius (K_g)

É um índice de forma que relaciona o perímetro da bacia com o perímetro do círculo de mesma área. O índice forma $K < 1,0$ menor que (um), corresponde a uma bacia circular. Quanto mais o valor encontrado se afastar da unidade mais diferente do círculo será a bacia. Se os outros fatores que influenciam a formação do hidrograma fossem iguais, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da forma circular for à bacia. Dado pela equação:

$$K_g = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Eq 1.4

Sendo P o perímetro da bacia e A o perímetro de um círculo de mesma área. Para a sub-bacia obteve-se o valor adimensional de 1,91, o que configura a esta sub-bacia uma característica alongada e, portanto menos acentuada, por exemplo, à propensão de enchentes.

2.1.7 Índice de conformação ou fator de forma (I_c)

O índice de conformação ou fator de forma, K_f , é a relação entre a área da bacia hidrográfica e o quadrado de seu comprimento axial, medido ao longo do curso d'água principal, desde a foz até a cabeceira mais distante, próxima do divisor de águas da bacia.

Então:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Eq 1.5

Sendo L o comprimento axial da bacia, ou comprimento total do curso d'água principal, em km e A área de drenagem da bacia, em km².

O índice de conformação relaciona a forma da bacia com um retângulo. Numa bacia estreita e longa, a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo, ao mesmo tempo, toda sua extensão, é menor que em bacias largas e curtas. Desta forma, para bacias de mesmo tamanho, será menos sujeita a enchentes aquela que possuir menor fator de forma.

Se $K_f < 1$, a bacia é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma. Isso se dá porque a bacia é estreita e longa. Portanto, analogamente ao índice anteriormente descrito, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, causando a chegada da água ao mesmo em tempos diferentes. Além disso, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão. Se $K_f > 1$, a bacia é mais vulnerável a enchentes.

O fator de forma da sub-bacia para uma área de de 64.085 m² e para o comprimento do rio principal de 14.584,00 m demonstra um valor de 0,30 e uma relação que indica uma menor probabilidade de enchentes.

2.1.8 Tempo de concentração

De uma maneira geral, o tempo de concentração de uma bacia qualquer depende de parâmetros como: área da bacia, comprimento e declividade do canal mais longo, forma da bacia, declividade média dos terrenos, rugosidade do canal e recobrimento vegetal. Diversas equações empíricas vêm sendo empregadas para avaliação do tempo de concentração, a mais usual trata-se Equação do Califórnia Culvert Practice, Califórnia Highways and Public Works. Dada por:

$$t_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Eq 1.6

Onde t_c refere-se ao tempo de concentração em minutos, L o comprimento do talvegue em km e H a diferença de nível entre o ponto mais afastado da bacia e o ponto considerado, em metros.

Para a sub-bacia do Arroio Cadena o tempo de concentração calculado é de 153 minutos.

1.2 Características da Rede de Drenagem da Bacia Hidrográfica

1.2.1 Densidade de Drenagem (Dd)

É o comprimento total de todos os cursos d'água da bacia dividido pela sua área contribuinte. Pode ser dado em km/km². A densidade de drenagem varia diretamente com a extensão do escoamento superficial e, portanto, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia.

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Eq 1.7

Onde Dd significa a densidade da drenagem, L é o comprimento total dos canais e A é a área da bacia.

Segundo Strahler (1964), a densidade de drenagem pode ser ponderada como uma expressão da proximidade dos canais. Vilella e Mattos (1975) admitem que ela varie de 0,5 km/km² para bacias de drenagem pobre, a 3,5 km/km² ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas. De acordo com Strahler (1964), foram feitas medições deste índice nos Estados Unidos nas mais variadas condições geológicas e climáticas. Os valores mais baixos variaram de 3 a 16 mi/mi² (1,9 a 10 km/km²) em regiões de rochas resistentes ou resistência moderada e climas mais úmidos para as densidades maiores. Os valores mais altos que chegaram a 400 mi/mi² (250 km/km²) foram encontrados em regiões áridas de argila mole.

Segundo Linsley et al. (1975), uma densidade de drenagem alta reflete uma bacia altamente dissecada, que responde de maneira relativamente rápida a uma determinada quantidade de chuva, enquanto uma densidade de drenagem baixa reflete uma bacia de drenagem pobre com respostas hidrológicas lentas. Conforme os autores, densidades de drenagens baixas são observadas normalmente em solos

mais resistentes à erosão ou muito permeáveis e onde o relevo é suave. Valores altos podem ser esperados em bacias cujos solos são facilmente erodidos ou relativamente impermeáveis, as declividades são altas e as coberturas de vegetação são ralas. Segundo Christofolletti (1974), o cálculo da densidade de drenagem é importante nas análises de bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios, ou seja, conforme aumenta o valor da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos cursos d'água das bacias de drenagem.

Sendo Dd a Densidade de drenagem, L comprimento total de rios da bacia medido em 144 km, para a área da bacia 64,085 km², obteve-se o valor de 2,25 km/km².

ANEXO 3 - Quadro uso e ocupação LUOS – Santa Maria

ANEXO 4 - Sequência de cálculo de um indicador ambiental

4.1 Os pesos dos indicadores de qualidade ambiental

Os índices do modelo são obtidos para diferentes funções, através do produtório entre o valor e o peso atribuído pelo especialista.

Tabela 4.1 – Tipo e quilometragem de vias por micro bacia

km vias	Aldeia	Cancela	Caturrita	Escola	Lorenzi	Dores	Quarteis	Rosario	Marta	Totais
Área km ²	3,80	8,14	5,98	0,75	8,73	9,17	16,05	8,76	2,67	64,08
Locais e Estradas	13,7	30,77	11,93	3,65	25,75	44,7	19,76	57,22	23,1	230,69
Coletoras	5,47	1,66	0	3,57	0	11,3	1,83	17,8	8,66	50,29
Arteriais	5,65	1,47	0	5,2	0	1,89	0	18,66	0,76	33,63
Estruturais	4,06	8,83	0	0	1,76	2,09	6,72	1,57	0	25,03

O primeiro processo é o de normalização de forma que a Norma de avaliação (V_i ou V_n) represente o índice de naturalidade, tendo representatividade numa escala que varie de 0 a 1.

$$V_n = \frac{(I_m - I_{\min})}{I_{\max} - I_{\min}} \quad \text{Eq. 4.1}$$

Sendo V_n a norma de avaliação, I_m o valor do indicador de medida, I_{\min} o valor do indicador mínimo, I_{\max} o valor do indicador máximo.

Os valores de 0 a 1 representam, respectivamente, o pior e o melhor ponto de vista da qualidade ambiental, independente das medidas absolutas que serão usadas para cada indicador.

O primeiro passo é transformar os dados em índices mensuráveis e que se correspondam, Como exemplo vejamos a relação entre as vias locais e estradas da micro bacia do Rosário:

$$\frac{\text{km via}}{\text{Área micro bacia}} = \frac{57,22 \text{ km}}{876,29 \text{ ha}} = 0,065 \text{ km/ha.}$$

Tem-se os valores totais máximos e mínimos, Tabela 4.2:

Tabela 4.2 – Valores Totais, máximos e mínimos das classificações de vias

Km vias /área M. B.	Aldeia	Cancela	Caturrita	Escola	Lorenzi	Dores	Quarteis	Rosario	Marta	Totais	Máx	Min
Loc. Est.	0,036	0,036	0,020	0,048	0,029	0,049	0,012	0,065	0,086	0,036	0,086	0,012
Coletoras	0,014	0,014	0,000	0,047	0,000	0,012	0,001	0,020	0,032	0,014	0,047	0,000
Arteriais	0,015	0,015	0,000	0,069	0,000	0,002	0,000	0,021	0,003	0,015	0,069	0,000
Estrutural	0,011	0,011	0,000	0,000	0,002	0,002	0,004	0,002	0,000	0,011	0,011	0,000

Obtém-se os valores de V_n para a feição malha viária

Seguindo o mesmo exemplo:

$$V_n = \frac{0,065 - 0,012}{0,086 - 0,012} = 0,72$$

Tabela 4.3 – Valores de V_n para a classificação das vias

V_n	Aldeia	Cancela	Caturrita	Escola	Lorenzi	Dores	Quarteis	Rosario	Marta
Locais e Estradas	0,32	0,32	0,10	0,48	0,23	0,49	0,00	0,72	1,00
Coletoras	0,31	0,31	0,00	1,00	0,00	0,26	0,02	0,43	0,69
Arteriais	0,22	0,22	0,00	1,00	0,00	0,03	0,00	0,31	0,04
Estruturais	1,00	1,00	0,00	0,00	0,19	0,21	0,39	0,17	0,00

Os índices de pressão, estado impacto e resposta são obtidos para diferentes funções, aplicando-se a equação:

$$I_{pn} = \frac{\sum_1^i V_i \cdot W_i}{n}$$

Eq 4.2

Em que I_{pn} é o Índice de naturalidade, V_i a Norma de valor de indicadores individuais, W_i o Peso do indicador e n o número de indicadores.

Na sequência os valores de V_n são submetidos aos pesos normativos ou segundo o especialista $V_n \times W$:

$$I_{pn} = \frac{\sum_1^i V_i \cdot W_i}{n}$$

Temos então a composição $V_i \times W_i$ da tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Composição $V_i \times W_i$

$V_i \cdot W_i$	Aldeia	Cancela	Caturrita	Escola	Lorenzi	Dores	Quarteis	Rosario	Marta	Peso do especialista
Locais e Estradas	0,32	0,32	0,10	0,48	0,23	0,49	0,00	0,72	1,00	0,336
Coletoras	0,31	0,31	0,00	1,00	0,00	0,26	0,02	0,43	0,69	0,296
Arteriais	0,22	0,22	0,00	1,00	0,00	0,03	0,00	0,31	0,04	0,214
Estruturais	1,00	1,00	0,00	0,00	0,19	0,21	0,39	0,17	0,00	0,154

Obtem-se os índices parciais para cada tipo de via em cada micro bacia da feição malha viária, tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Índices parciais para cada tipo de via

Iparcial	Aldeia	Cancela	Caturrita	Escola	Lorenzi	Dores	Quarteis	Rosario	Marta
Locais e Estradas	0,32	0,32	0,10	0,48	0,23	0,49	0,00	0,72	1,00
Coletoras	0,31	0,31	0,00	1,00	0,00	0,26	0,02	0,43	0,69
Arteriais	0,22	0,22	0,00	1,00	0,00	0,03	0,00	0,31	0,04
Estruturais	1,00	1,00	0,00	0,00	0,19	0,21	0,39	0,17	0,00

Do somatório dos índices parciais da feição obtém-se o índice parcial do indicador, tabela 4.6.

$$I_{pn} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot W_i}{n}$$

Tabela 4.6 - Índice parcial do indicador

In	Aldeia	Cancela	Caturrita	Escola	Lorenzi	Dores	Quarteis	Rosario	Marta
Locais e Estradas	0,11	0,11	0,03	0,16	0,08	0,17	0,00	0,24	0,34
Coletoras	0,09	0,09	0,00	0,30	0,00	0,08	0,01	0,13	0,20
Arteriais	0,05	0,05	0,00	0,21	0,00	0,01	0,00	0,07	0,01
Estruturais	0,15	0,15	0,00	0,00	0,03	0,03	0,06	0,03	0,00

Quando o índice necessitar de uma inversão a correção dos valores dá-se mediante a seguinte forma:

$$I_{ri} = 1 - \text{valor calculado}$$

Eq 4.3

Sendo I_{ri} o índice de relação inversa. Os índices ficam corrigidos e as áreas de maior qualidade ambiental passam a ter os valores mais próximos a 1. Obtém-se a tabela 4.7 dos índices parciais e parciais inversos do índice parcial.

Tabela 4.7 dos índices parciais e parciais inversos do índice parcial.

In	Aldeia	Cancela	Caturrita	Escola	Lorenzi	Dores	Quarteis	Rosario	Marta
índice parcial	0,40	0,40	0,03	0,67	0,11	0,28	0,07	0,46	0,55
Índice parcial inverso	0,60	0,60	0,97	0,33	0,89	0,72	0,93	0,54	0,45

Sendo assim quando o valor máximo do intervalo ($Imáx$) corresponder à melhor situação do grau naturalidade, tem-se que: $V_n = 1$. Quando o valor máximo do intervalo ($Imáx$) corresponder a pior situação da qualidade ambiental, tem-se que: $V_n = 0$.

Os índices de pressão, estado, impacto e resposta são obtidos para cada função por meio da média ponderada final dos indicadores parciais.

$$I_{pn} = \frac{\sum^i V_i \cdot W_i}{n}$$

Como exemplo tem-se o cálculo do índice parcial de pressão para as micro bacias do Rosário e Escola Urbana:

$$IPP = \frac{0,49 + 0,92 + 0,54}{3} = 0,65$$

Micro bacia do Rosário

$$IPP = \frac{0,26 + 0 + 0,33}{3} = 0,19$$

Micro bacia Escola

A Tabela 4.7 demonstra o cálculo do indicador de pressão do modelo

A Tabela 4.7 - Cálculo do indicador de pressão do modelo

Indicador	Dados analisados	Dados Primários	Aldeia	Cancela	Caturrita	Escola	Lorenzi	Dores	Quarteis	Rosario	Marta
Pressão	Uso do Solo	Espacialidade do uso do solo	0,78	0,93	0,92	0,26	0,93	0,60	0,96	0,49	0,86
	População	Densidade demográfica	0,31	0,85	0,89	0,00	1,00	0,78	0,94	0,92	0,74
	Sistema Viário	Densidade do Sistema Viário	0,60	0,60	0,97	0,33	0,89	0,72	0,93	0,54	0,45
Índice parcial de pressão			0,56	0,79	0,93	0,19	0,94	0,70	0,94	0,65	0,69

Segue assim, da mesma maneira a sequência de cálculo dos outros indicadores.