


# Projeto ARC-TUB1



**IDENTIFICAÇÃO DE  
ÁREAS POTENCIAIS  
DE RESTRIÇÃO E  
CONTROLE DE  
CAPTAÇÃO E USO  
DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS NA  
PORÇÃO SUL DA  
UGRHI05**

Volume 1

Relatório Técnico

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
INSTITUTO GEOLÓGICO

Junho/2013

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS DE RESTRIÇÃO E  
CONTROLE DE CAPTAÇÃO E USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA  
PORÇÃO SUL DA UGRHI 05 - PROJETO ARC-TUB1  
RELATÓRIO TÉCNICO**

**Coordenação de Projeto:** Geraldo Hideo Oda

CONTRATO FEHIDRO 450/2006

INSTITUTO GEOLÓGICO

Junho/2013

## **Organização**

Geraldo Hideo Oda

Sibele Ezaki

Mara Akie Iritani

Denise Rossini Penteadó

## **Projeto gráfico, diagramação eletrônica e capa**

Sandra Moni de Souza

Este relatório está disponível na página do Instituto Geológico ([www.igeologico.sp.gov.br](http://www.igeologico.sp.gov.br))

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca / Mapoteca do Instituto Geológico

O1 Oda, Geraldo Hideo [et al.]

Identificação de áreas potenciais de restrição e controle de captação e uso das águas subterrâneas na porção sul da UGRHI05 – Projeto ARC-TUB1. Relatório Técnico / Mara Akie Iritani; Sibele Ezaki e Denise Rossini Penteadó. – Reimpressão. - São Paulo : SMA / IG, 2013.

2 v. : il. ; color.

Conteúdo: v. 1.Texto- v. 2. Mapas.

ISBN: 978-85-87235-20-6

1. Águas subterrâneas. 2. Hidrogeologia. 3. Proteção de aquíferos

CDD 551.49



## **Governo do Estado de São Paulo**

Governador      Geraldo Alckmin

## **Secretário de Estado do Meio Ambiente**

Secretário      Bruno Covas

## **Instituto Geológico**

Diretor Geral      Ricardo Vedovello

Diretor do Centro de  
Geologia e Meio Ambiente      Cláudio José Ferreira

Diretor do Centro de Estudos  
Geográficos da Paisagem      Gustavo Armani





## **FICHA TÉCNICA**

### **Diretoria do Núcleo de Hidrogeologia**

Luciana Martin Rodrigues Ferreira

### **Diretoria do Núcleo de Dinâmica de Uso e Ocupação Territorial**

Denise Rossini Penteadó

### **Equipe Técnica:**

#### **Coordenador Geral do Projeto**

Geraldo Hideo Oda – IG/SMA

#### **Pesquisadores**

Sibele Ezaki – IG/SMA

Mara Akie Iritani – IG/SMA

Denise Rossini Penteadó – IG/SMA

Cláudia Varnier – IG/SMA

Cláudio Guilherme (2008) – IG/SMA

Carla Veiga da Silva (2009-2010) – IG/SMA

#### **Estagiários**

Alexandre Henrique Silva, Felipe Silva Silles, Fernanda Etsumi Hobo, Fernanda Lima, Nádia Lucia Zuca, Diana Mayumi Takeuchi, Angela Yatsugafu, Jacqueline Silva Silles, Renan Penasso Pacheco

#### **Técnicos de Apoio**

Santo Duarte Camargo, Aparecido Magalhães

#### **Agente Técnico FEHIDRO**

Geól. Valdemir Poloneis Bernardi – DAEE

## **Colaboração**

CETESB – São Paulo

CETESB – Jundiaí

DAEE – Piracicaba

DAEE – Rio Claro

DAEE – Capivari

DAEE – Campinas

IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico

IG/SMA – Núcleo de Geoprocessamento

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LEBAC/UNESP-Rio Claro

Prefeitura Municipal de Rafard – Departamento de Águas

Prefeitura Municipal de Capivari – Secretaria de Planejamento

Prefeitura Municipal de Capivari – Secretaria de Desenvolvimento Econômico

Prefeitura Municipal de Salto – Secretaria de Obras e Serviços Públicos

Prefeitura Municipal de Indaiatuba – Departamento de Posturas

Prefeitura Municipal de Elias Fausto – Departamento de Obras Públicas

Prefeitura Municipal de Monte Mor – Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente

Prefeitura Municipal de Monte Mor – Departamento de Obras Públicas

SABESP Monte Mor

SABESP Elias Fausto

SAAE Indaiatuba

SAAE Capivari

SAE Salto

## APRESENTAÇÃO

O Instituto Geológico, desde sua vinculação à Secretaria do Meio Ambiente em 1986, vem consolidando sua pesquisa em Hidrogeologia com o desenvolvimento de estudos voltados à caracterização e proteção dos aquíferos do Estado de São Paulo.

A partir do estabelecimento da Política Estadual de Recursos Hídricos em 1991, as pesquisas desenvolvidas nesta área buscam contribuir para a gestão dos recursos hídricos, com pesquisas voltadas às prioridades estabelecidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos, enfocando a proteção da água subterrânea.

Este Relatório traz os resultados de um projeto que procura contribuir para o estabelecimento de áreas de proteção dos aquíferos da região de Indaiatuba a Capivari, região em pleno desenvolvimento econômico e conseqüentemente, com crescente demanda por recursos hídricos.

O Decreto Estadual nº 32.955/91 estabeleceu três categorias de áreas de proteção dos recursos hídricos subterrâneos: de proteção máxima, de restrição e controle e de proteção de poços e outras captações. As Áreas de Restrição e Controle (ARC) caracterizam-se pela necessidade de disciplina das extrações, pelo controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e por restrições a novas atividades potencialmente poluidoras.

Os procedimentos para a implantação destas áreas ARC foram estabelecidos pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, através da Deliberação CRH nº 52/2005. Tendo como referência este instrumento legal, alguns estudos e projetos de pesquisa vêm sendo desenvolvidos com o intuito de implantar ARC, nas suas três classes, potenciais (ARC-PO), prováveis (ARC-PR) e confirmadas (ARC-PO), conforme a necessidade, bem como indicar as medidas de restrição e controle do uso e captação da água subterrânea.

O trabalho realizado pelo Instituto Geológico na porção sul da UGRHI 05 (Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí) objetivou identificar Áreas Potenciais de Restrição e Controle (ARC-PO), tendo sido selecionada uma região em franca expansão urbana e industrial, mas também com características agropecuárias, identificada preliminarmente como potencialmente crítica no que se refere ao abastecimento público por água subterrânea em função da densidade de poços tubulares e ao volume de água extraída.

Por se tratar de um dos primeiros estudos a definir ARC-PO, teve o mérito de desenvolver uma metodologia de pesquisa que servirá de base para outros trabalhos e a partir do qual poderá ser aperfeiçoada.

Deve-se destacar, também, a importância deste trabalho pela contribuição técnica para disciplinar o uso e exploração da água subterrânea no contexto do planejamento municipal. O levantamento e tratamento de dados e informações geológicas e sobre a água subterrânea devem auxiliar os responsáveis técnicos municipais e órgãos gestores na proteção do recurso.

Ricardo Vedovello  
Diretor do Instituto Geológico

Bruno Covas  
Secretário de Estado do Meio Ambiente

## RESUMO

A região entre Indaiatuba e Capivari apresenta crescente demanda por água subterrânea, decorrente do crescimento populacional e econômico. A procura por este recurso intensificou-se nas duas últimas décadas passando a constituir fator condicionante (ou limitante) para o desenvolvimento econômico e bem-estar social.

Neste cenário, este projeto teve como objetivo, realizar uma avaliação hidrogeológica visando à identificação das Áreas Potenciais de Restrição e Controle que possam apresentar problemas de superexploração ou potencial de contaminação das águas subterrâneas conforme estabelece a Deliberação CRH nº 52, de 15 de abril de 2005.

A área de estudo envolveu os municípios de Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard e Salto, localizados na porção sul da UGRHI 05, que se inserem em parte das bacias hidrográficas dos rios Capivari e Jundiá numa área de 1342 km<sup>2</sup>.

Os principais sistemas aquíferos explorados na região são o Tubarão e o Cristalino, este último aflorante apenas na porção leste da área estudada.

Os municípios de Capivari, Monte Mor, Rafard e Elias Fausto apresentam maior utilização das águas para abastecimento público, sendo que os dois últimos dependem 100% da água subterrânea do Aquífero Tubarão. Porém, constatou-se um crescente uso da água subterrânea pelo setor privado (vazão explorada de 22.812.810,6 m<sup>3</sup>/ano por 76% dos poços), superando os volumes explorados para abastecimento público (vazão explorada de 7.157.376,0 m<sup>3</sup>/ano por 24% dos poços).

Este estudo levantou 1262 poços tubulares e, a partir desses dados, foram realizadas análise estatística, avaliação da geometria dos aquíferos e do fluxo da água subterrânea e zoneamento da produtividade potencial. A caracterização hidroquímica foi baseada na análise química da água coletada em poços selecionados no cadastro.

O mapeamento do uso do solo foi realizado através de geoprocessamento de imagens de satélite e ortofotos, para uma escala de apresentação de 1:100.000.

A avaliação do perigo potencial de contaminação da água subterrânea foi determinada a partir do cruzamento da classificação da carga potencial contaminante das atividades cadastradas e da vulnerabilidade natural dos aquíferos.

A avaliação integrada dessas informações serviu de base para identificar algumas áreas críticas em relação a potenciais problemas de rebaixamento da superfície potenciométrica decorrente de exploração intensiva, interferência de poços e contaminação da água subterrânea.

Tendo como base as definições estabelecidas na Deliberação CRH nº 52/2005, delimitaram-se 10 Áreas Potenciais de Restrição e Controle (ARC-PO-1 a ARC-PO-10).

Na região central da área urbana de Capivari identificaram-se potenciais problemas relacionados ao rebaixamento da superfície potenciométrica (ARC-PO-1 e ARC-PO-2) e interferência de poços (ARC-PO-7).

Também em Indaiatuba e Salto, em regiões com grandes loteamentos, foram identificados potenciais problemas de interferência de poços. Em Indaiatuba destacam-se as ARC-PO-3 e ARC-PO-4 na região a leste da rodovia SP-075 e a ARC-PO-5, ao norte, próximo ao limite com Campinas. Em Salto, destaca-se a ARC-PO-6 que abrange parte de loteamentos implantados

na região noroeste do município, próximo ao limite com Elias Fausto, que, por não serem atendidos pela rede pública, induzem cada propriedade a buscar soluções de abastecimento, levando a uma alta densidade de poços na região.

Potenciais problemas relacionados à contaminação da água subterrânea foram identificados principalmente em Salto e Indaiatuba, onde existem distritos industriais bem consolidados, localizados próximos a áreas urbanas com alta densidade de ocupação, que foram delimitadas como Áreas Potenciais de Restrição e Controle. Em Indaiatuba destacam-se a ARC-PO-8, com grande extensão em área e grande concentração de atividades com elevada carga potencial contaminante, e a ARC-PO-9, inserida na porção norte da área urbana densamente ocupada. Em Salto, delimitou-se a ARC-PO-10 localizada na porção sudeste da área urbana. Outros distritos industriais localizados em áreas menos adensadas ou outras concentrações de indústrias com elevada carga potencial contaminante não foram, neste momento, identificadas como ARC-PO, porém devem ser monitoradas e incluídas nesta categoria no futuro, caso necessário.

Na priorização dos futuros estudos detalhados, conforme estabelece a Deliberação CRH nº 52/2005, propõe-se que a maior prioridade seja dada às áreas ARC-PO-1, que contém a ARC-PO-7, e as ARC-PO-8 a ARC-PO-10.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. JUSTIFICATIVA .....	1
3. OBJETIVOS .....	4
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	4
4.1. Localização .....	4
4.2. Aspectos Sócio-econômicos .....	5
4.3. Geologia .....	8
4.4. Hidrogeologia Regional .....	11
5. CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS .....	12
5.1. Banco de Dados.....	12
5.2. Coleta de Dados em Campo .....	12
5.3. Consolidação das Informações .....	15
5.4. Tratamento de Dados.....	19
6. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA.....	21
6.1. Uso e Exploração das Águas Subterrâneas .....	21
6.1.1. Uso da Água.....	22
6.1.2. Vazões Explotadas.....	25
6.2. Geometria dos Aquíferos .....	27
6.2.1. Contorno Estrutural do Topo do Embasamento Cristalino .....	31
6.3. Produtividade.....	33
6.3.1. Vazão .....	34
6.3.2. Capacidade Específica .....	35
6.3.3. Mapa de produtividade similar.....	39
6.3.4. Condutividade hidráulica e Transmissividade.....	43
6.4. Fluxo da Água Subterrânea .....	45
6.5. Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos .....	51
6.5.1. Considerações sobre as porções profundas dos aquíferos.....	55
6.6. Qualidade das Águas Subterrâneas .....	57
6.6.1. Amostragem .....	57
6.6.2. Tratamento de dados .....	59
6.6.3. Hidroquímica.....	59
6.6.4. Análise Isotópicas.....	64

6.6.5. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas.....	67
7. CLASSIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA.....	74
7.1. Sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra .....	75
7.2. Área Urbana ou Edificada.....	91
7.3. Expansão das Áreas Urbanas.....	94
8. FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO.....	97
8.1. Fontes Pontuais de Poluição .....	97
8.1.1. Levantamento .....	97
8.1.2. Localização .....	99
8.1.3. Consolidação dos dados .....	101
8.1.4. Definição do sistema de classificação da potencial carga pontual de contaminação .....	105
8.1.5. Classificação das potenciais fontes pontuais de contaminação .....	108
8.2. Fontes Difusas de Poluição.....	114
8.2.1. Levantamento e localização .....	114
8.2.2. Definição do sistema de classificação da carga difusa de contaminação .....	115
8.2.3. Classificação das potenciais fontes difusas de contaminação .....	117
8.3. Perigo Potencial de Poluição .....	119
8.3.1. Perigo potencial em relação às fontes pontuais de poluição .....	121
8.3.2. Perigo potencial em relação às fontes difusas de poluição .....	124
9. ÁREAS POTENCIAIS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE.....	128
9.1. Identificação das Áreas Potenciais de Restrição e Controle .....	128
9.1.1. Potencial rebaixamento da superfície potenciométrica.....	128
9.1.2. Problema de interferência de poços .....	132
9.1.3. Contaminação da água subterrânea.....	136
9.2. Priorização das Áreas Potenciais de Restrição e Controle .....	140
10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	141
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
12. LISTA DE PUBLICAÇÕES VINCULADAS AO PROJETO.....	150

## Lista de Figuras

1. Fluxograma para o estabelecimento de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas (Deliberação CRH nº 52, de 15/04/2005) .....	3
2. Localização da área de estudo.....	5
3. Mapa geológico da área de estudo .....	10
4. Articulação de folhas topográficas 1: 10.000 e 1: 50.000 .....	14
5. Evolução das perfurações de poços .....	16
6. Poços por aquífero .....	18
7. Mapa de localização dos poços tubulares classificados por sistema aquífero .....	20
8. Mapa de localização dos poços de abastecimento público da área estudada .....	23
9. Localizações dos perfis geológicos (litoestratigráficos) .....	28
10. Perfil geológico 7440-B, trecho ao longo da UTM 7440 (Anexo 2) .....	29
11. Perfil geológico 7450-B, trecho ao longo da UTM 7450 (Anexo 2) em Elias Fausto .....	30
12. Perfil geológico 7455-A, trecho ao longo da UTM 7455 (Anexo 2) em Capivari .....	30
13. Perfil geológico 7460, trecho ao longo da UTM 7460 (Anexo 2) em Monte Mor .....	31
14. Mapa de contorno do topo do Embasamento Cristalino com base em informações de poços tubulares.....	32
15. Contorno da altitude do Embasamento Cristalino extraído de Vidal (2002) .....	33
16. Mapa de poços classificados por vazão .....	35
17. Mapa de poços classificados por capacidade específica .....	37
18. Mapa de capacidade específica.....	38
19. Mapa de porcentagem de arenito nos poços do Sistema Aquífero Tubarão .....	39
20. Mapa de espessura de arenito nos poços do Sistema Aquífero Tubarão.....	40
21. Mapa de produtividade similar .....	41
22. Mapa potenciométrico da região entre Indaiatuba e Capivari.....	46
23. Mapa potenciométrico de Capivari-Rafard (poços até 1990).....	48
24. Mapa potenciométrico de Capivari-Rafard (poços de 1991 a 2010) .....	49
25. Sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero (adaptado de Foster & Hirata, 1993).....	52
26. Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos da área estudada (extraído de DAEE/UNESP, 2010) .....	54
27. Mapa de profundidades do nível d'água dos aquíferos da região estudada .....	56
28. Localização dos poços tubulares profundos amostrados .....	60



29. Classificação hidroquímica de águas dos aquíferos conforme Diagrama de Piper .....	63
30. Classificação hidroquímica de águas de poços tubulares profundos nos municípios estudados .....	64
31. Correlação isotópica entre os isótopos D e $^{18}\text{O}$ .....	65
32. Correlação entre $\delta\text{D}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para o Aquífero Cristalino .....	66
33. Correlação entre $\delta\text{D}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para o Aquífero Tubarão e poços mistos .....	66
34. Localização dos poços com resultado de ferro total e respectiva faixa de concentração ....	68
35. Localização dos poços com resultados de manganês .....	70
36. Localização de poços com resultado de flúor .....	71
37. Mapa de concentração de total de sólidos dissolvidos em poços profundos .....	72
38. Mapa de concentração de nitrato em poços profundos .....	74
39. Mapa de Uso e Cobertura da Terra da região que abrange os Municípios de Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard e Salto (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007; SPOT, 2007) .....	77
40. Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Capivari (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007; SPOT, 2007) .....	80
41. Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Elias Fausto (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007; SPOT, 2007) .....	82
42. Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Indaiatuba (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007; SPOT, 2007) .....	84
43. Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Monte Mor (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007; SPOT, 2007) .....	86
44. Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Rafard (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007; SPOT, 2007) .....	88
45. Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Salto (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007; SPOT, 2007) .....	90
46. Mapa de Uso e Ocupação do Solo Urbano da região que abrange os Municípios de Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard e Salto (SP) - 2007 .....	93
47. Mapa de Expansão Urbana da região que abrange os Municípios de Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard e Salto (SP) - 1987 a 2007 .....	96
48. Localização dos empreendimentos cadastrados .....	100
49. Distribuição dos empreendimentos por grupo de atividade e por município .....	101
50. Tipos de atividade do grupo das indústrias de transformação .....	103
51. Tipos de atividade do grupo de comércio e serviço .....	104
52. Tipo de atividade das áreas contaminadas nos municípios .....	109

53. Distribuição das cargas pontuais de contaminação por município e grupo de atividade ...	110
54. Distribuição das cargas pontuais de contaminação por tipo de atividade para os grupos: Indústrias de transformação, Comércio e serviços e Resíduos e efluentes .....	111
55. Localização e classificação das potenciais fontes pontuais de contaminação .....	113
56. Classificação das fontes potenciais difusas de contaminação da água subterrânea proveniente dos sistemas de saneamento .....	118
57. Concentrações de N-NO <sub>3</sub> - acima de 3 mg/L em relação às potenciais fontes difusas de contaminação.....	118
58. Classificação das potenciais fontes difusas de contaminação da água subterrânea proveniente da prática agrícola.....	119
59. Esquema conceitual para avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea (Foster <i>et al.</i> , 2006) .....	120
60. Sistema de classificação do perigo potencial de contaminação da água subterrânea frente às fontes potenciais pontuais .....	121
61. Perigo potencial de contaminação da água subterrânea frente às fontes potenciais pontuais existentes .....	123
62. Sistema de classificação do perigo potencial de contaminação da água subterrânea frente às fontes potenciais difusas.....	124
63. Perigo potencial de contaminação da água subterrânea imposta pelos sistemas de saneamento na área urbana .....	126
64. Perigo potencial de contaminação da água subterrânea na área rural frente à atividade agrícola.....	127
65. Densidade de poços .....	130
66. Áreas Potenciais de Restrição e Controle considerando o potencial problema de rebaixamento da superfície potenciométrica.....	131
67. Estimativa do cone de rebaixamento em função do tempo, com base na equação de Cooper-Jacob, considerando os parâmetros medianos do Sistema Aquífero Tubarão .....	132
68. Áreas Potenciais de Restrição e Controle considerando o potencial problema de interferência de poços na região de Indaiatuba e Salto.....	134
69. Áreas Potenciais de Restrição e Controle considerando o potencial problema de interferência de poços na região de Capivari .....	135
70. Áreas Potenciais de Restrição e Controle considerando o potencial problema de contaminação da água subterrânea na região de Indaiatuba e Salto .....	137
71. Perigo potencial de contaminação por fontes pontuais e a relação com as classes de uso urbano.....	139

## Tabelas

1. Número de estabelecimentos e de pessoal ocupado - 2003.....	5
2. População rural, urbana e total.....	6
3. Evolução do número de estabelecimentos .....	7
4. Índices socioeconômicos.....	8
5. Usos público e privado das águas subterrâneas.....	15
6. Data de perfuração dos poços.....	15
7. Perfuradoras mais atuantes por municípios.....	17
8. Profundidade dos poços por município.....	17
9. Poços por aquífero e por município .....	18
10. Volume de água produzida (superficial e subterrânea) por município.....	21
11. Distribuição de poços por tipo de uso da água e por município.....	22
12. Médias de vazão outorgada (m <sup>3</sup> /ano) por finalidade de uso e por aquífero explotado obtidas a partir do Cadastro de Outorga do DAEE .....	25
13. Estimativa de vazões explotadas (m <sup>3</sup> /ano) para abastecimento público e uso privado nos municípios estudados .....	26
14. Estimativa de vazões explotadas (m <sup>3</sup> /ano) por aquífero explotado nos 6 municípios .....	26
15. Estimativa de vazões explotadas (m <sup>3</sup> /ano) para abastecimento público e uso privado por aquífero.....	27
16. Estimativa de vazões explotadas (m <sup>3</sup> /ano) por finalidade de uso da água .....	27
17. Vazão dos poços por município.....	34
18. Vazão dos poços por aquífero .....	35
19. Capacidade específica dos poços por município .....	36
20. Capacidade específica dos poços por aquífero.....	36
21. Capacidade específica média (m <sup>3</sup> /h/m) por aquífero e por feição geomorfológica .....	37
22. Condutividade hidráulica e transmissividade do Aquífero Tubarão por município .....	44
23. Valores médios de condutividade hidráulica e de transmissividade do Aquífero Tubarão ..	45
24. Poços com indicação de queda de nível estático .....	50
25. Classes de profundidade de nível da água subterrânea adotadas por DAEE/UNESP (2010) no mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos .....	53
26. Profundidades médias e medianas dos níveis d'água dos aquíferos.....	55
27. Valores de vulnerabilidade definidos para o Aquífero Tubarão .....	56
28. Dados dos poços tubulares amostrados e resultados físico-químicos, químicos e isotópicos das águas subterrâneas da região estudada .....	61

29. Dados estatísticos dos isótopos estáveis de oxigênio e hidrogênio para águas dos Aquíferos Cristalino e Tubarão .....	65
30. Classes de uso e cobertura da terra na escala regional .....	75
31. Área e porcentagem em área das classes de uso e cobertura da terra da região estudada em 2007 .....	76
32. Área e porcentagem em área das classes de uso e cobertura da terra por município em 2007 .....	78
33. Descrição das classes de atributo do uso “Área Urbana ou Edificada” .....	91
34. Descrição do atributo Densidade de Ocupação.....	91
35. Número de empreendimentos fornecidos pela CETESB, após a eliminação de registros duplicados (data de referência: abril/2010) .....	98
36. Número de empreendimentos locados em cada município.....	100
37. Grupos de atividades dos empreendimentos cadastrados .....	102
38. Número de empreendimentos por tipos de atividades relacionados ao grupo de Resíduos e efluentes .....	105
39. Sistema POSH de classificação de fontes pontuais de contaminação (Fonte: Foster <i>et al.</i> , 2006, corrigido com base em Foster <i>et al.</i> , 2002) .....	106
40. Número de empreendimentos classificados de acordo com o potencial de contaminação da água subterrânea .....	108
41. Sistema POSH de classificação de fontes difusas de contaminação (Fonte: Foster <i>et al.</i> , 2006, corrigido com base em Foster <i>et al.</i> , 2002) .....	115
42. Sistema POSH-IG para classificação das fontes difusas de contaminação relacionadas a sistemas de saneamento em área urbana.....	116
43. Sistema POSH-IG aplicado para classificação das fontes difusas de contaminação existentes na área rural, com base nas unidades do mapa de uso do solo .....	117
44. Prioridade de estudo detalhado das Áreas Potenciais de Restrição e Controle delimitadas neste estudo .....	140
45. Resumo das Áreas Potenciais de Restrição e Controle delimitadas neste estudo.....	143
46. Resumo de recomendações para as áreas com alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea .....	144

## **Anexos (Vol.2)**

ANEXO 1. Lista de Poços .....	7
ANEXO 2. Perfis geológicos (litoestratigráficos) da região entre Indaiatuba e Capivari .....	36
ANEXO 3. Lista de atividades consideradas potencialmente contaminadoras do solo e da água subterrânea.....	37
ANEXO 4. Peso por tipo de atividade utilizada na pontuação do Critério Principal do Sistema de Priorização do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB 2001) .....	39
ANEXO 5. Sistema de classificação POSH-IG aplicado para as potenciais fontes pontuais de contaminação.....	40
ANEXO 6. Cadastro das Potenciais Fontes Pontuais de Contaminação .....	43
ANEXO 7. Distâncias indicativas mínimas para delimitação de Áreas de Restrição e Controle (ARC) frente às atividades com potencial de contaminação extraído da Deliberação CRH nº 52/2005 .....	124
ANEXO 8. Localização das Áreas Potenciais de Restrição e Controle .....	125

## 1. INTRODUÇÃO

O Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (IG/SMA) desenvolveu, na década de 90, estudos hidrogeológicos e ambientais de caráter sistemático e básico, na escala semi-regional (1: 50.000), com a finalidade de subsidiar o planejamento territorial de uma faixa que se estende desde a região sul de Sorocaba até o norte de Campinas, abrangendo cerca de 3.000 km<sup>2</sup>, e envolvendo o cadastramento de mais de 2.500 poços dos aquíferos Tubarão e Cristalino: Folha 1:50.000 de Salto de Pirapora (1990); municípios de Sorocaba (IG, 1990); Itu (IG, 1991); Campinas (IG, 1993); e porção Média da Bacia do Rio Piracicaba (IG, 1995). Esta abordagem enfatizou a caracterização dos aquíferos, quanto ao comportamento hidrodinâmico, a disponibilidade hídrica, a vulnerabilidade e a aspectos qualitativos.

A região a sul de Campinas, que se estende de Indaiatuba a Capivari, contudo, não foi contemplada nos referidos estudos, constituindo uma lacuna em termos de trabalhos técnicos entre Itu e Campinas. Visando integrá-la às demais regiões para aprofundar o conhecimento sobre comportamento hidrogeológico dos Sistemas Aquíferos Tubarão e Cristalino e, visando, também, ao atendimento à Resolução CRH nº 52, de 15/04/2005 sobre identificação de áreas de restrição e controle de uso da água subterrânea, teve-se como proposta, avaliar as condições de exploração e de produtividade dos aquíferos, bem como a situação de proteção das águas subterrâneas.

Dessa forma, este projeto não se restringiu apenas à caracterização hidrogeológica, mas também enfocou a execução da primeira etapa de identificação de Áreas Potenciais de Restrição e Controle, servindo como um estudo piloto que, no futuro, poderá ser estendido para o restante da UGRHI 5.

O estudo da região de Indaiatuba (entre Itu e Campinas) envolveu, num primeiro momento, o levantamento e análise estatística de dados de poços tubulares, seguindo para uma segunda fase de estudo da geometria dos aquíferos, do comportamento hidrodinâmico e da caracterização hidroquímica, bem como a análise do uso e ocupação da terra. Estes resultados fundamentaram a terceira fase de trabalho, que consistiu na definição do modelo hidrogeológico conceitual e na identificação de áreas potenciais de restrição e controle (ARC-PO), conforme instituído pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Governo do Estado de São Paulo, através da Deliberação CRH nº52, de 15/04/05.

## 2. JUSTIFICATIVA

A região de Indaiatuba apresenta crescente demanda por água subterrânea, decorrente do crescimento populacional, da expansão industrial, constatada pela instalação de novas unidades, e da ampliação do mercado imobiliário com seus inúmeros loteamentos urbanos e chácaras de lazer. Indaiatuba e Monte Mor, inseridos na Região Metropolitana de Campinas, apresentaram uma das maiores taxas de crescimento populacional no período de 1991/2000 da

UGRHI 5 (Irrigart, 2004), estimulando o processo de urbanização. Salto, com aproximadamente 100.000 habitantes, tem também se tornado um núcleo urbano expressivo na porção sul da UGRHI 5, influenciado pelo crescimento econômico no eixo entre a Região Metropolitana de Campinas e Sorocaba.

A água subterrânea dos aquíferos Tubarão e Cristalino, existente nesta região, não é mais considerada uma fonte alternativa de abastecimento e a procura por este recurso intensificou-se na última década passando a constituir fator condicionante (ou limitante) para o estabelecimento de determinadas atividades (industriais, agrícolas, lazer etc.), desenvolvimento econômico e bem-estar social. Alia-se a isto, o fato dos corpos d'água superficiais considerados mananciais de abastecimento público encontrarem-se em situação de degradação, com registros de perda de qualidade e conseqüente diminuição do potencial de aproveitamento.

Municípios como Elias Fausto e Rafard são totalmente dependentes da água subterrânea, em especial do Sistema Aquífero Tubarão, para o abastecimento público. Em Capivari, a água subterrânea também tem participação significativa no abastecimento da população.

A falta de conhecimento do comportamento dos aquíferos nestas regiões dificulta o planejamento para o uso racional, a proteção de áreas de recarga e a identificação de áreas críticas em relação à qualidade da água subterrânea. Trabalhos técnicos referentes a estes assuntos são ainda escassos. Dentre os trabalhos técnicos sobre hidrogeologia na área, podem ser citados os de DAEE (1981a, b), Oda *et al.* (1993), Vidal (2002), Oda *et al.* (2005), Varnier *et al.* (2005) e Neves (2005).

De forma dispersa e pontual, há conhecimento sobre problemas existentes de rebaixamento do nível d'água ou de qualidade de água. Um exemplo é encontrado nos municípios de Capivari e Rafard, onde o Instituto Geológico realizou, entre as décadas de 1960 a 2000, inúmeras perfurações e construções de poços, gerando valiosas informações hidrogeológicas, mas que também indicam rebaixamentos preocupantes dos níveis potenciométricos.

Cabe aqui salientar que existe suspeita que o Aquífero Tubarão pode estar, localmente, sofrendo superexploração, tendo em vista os rebaixamentos contínuos verificados nos municípios de Capivari e Rafard.

Este cenário aponta para a necessidade de estudos hidrogeológicos que sirvam de base para a identificação de áreas críticas que necessitem de instrumentos e ações visando a proteção das águas subterrâneas de forma a garantir seu uso pelas gerações futuras.

Neste sentido, a Resolução CRH nº 52, de 15/04/05 é um instrumento que deve ser utilizado para a proteção das águas subterrâneas, pois, permite a implantação de Áreas de Restrição e Controle em áreas críticas que evidenciem efeitos negativos da exploração e contaminação da água subterrânea.

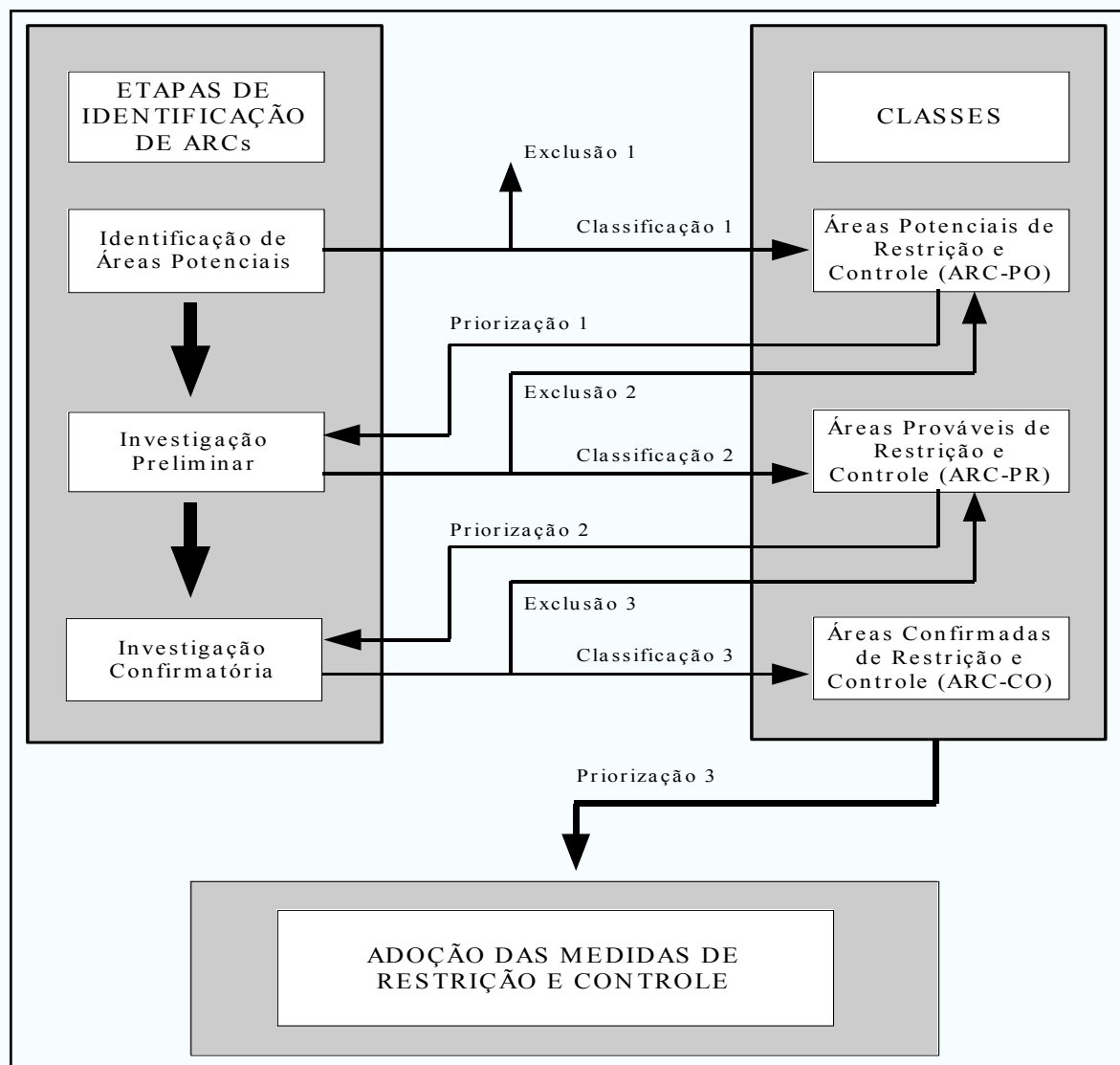
Esta resolução propõe um procedimento para a identificação de Áreas de Restrição e Controle, ilustrado na Figura 1, que deve ser baseado em estudos hidrogeológicos. Segundo este procedimento, três etapas devem ser cumpridas, a saber:

- Identificação inicial de áreas potenciais, para o estabelecimento de Área Potencial de Restrição e Controle (ARC-PO);

- Realização de investigação preliminar, para o estabelecimento de Área Provável de Restrição e Controle (ARC-PR);
- Realização de investigação confirmatória, para o estabelecimento de Área Confirmada de Restrição e Controle (ARC-CO).

Um estudo hidrogeológico na região entre Indaiatuba e Capivari, onde se observa a escassez de estudos até o momento, permitirá o entendimento do comportamento dos Sistemas Aquíferos Tubarão e Cristalino e a identificação de áreas críticas que possam ser classificadas como Áreas Potenciais de Restrição e Controle.

Nesse sentido, o trabalho aqui proposto deverá trazer, junto ao avanço no conhecimento hidrogeológico da região, contribuições para ações de proteção e uso racional dos recursos hídricos subterrâneos.



**FIGURA 1 - Fluxograma para o estabelecimento de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas (Deliberação CRH nº52, de 15/04/05).**



### 3. OBJETIVOS

O objetivo principal do estudo foi a identificação de Áreas Potenciais de Restrição e Controle (ARC-PO's), conforme a Resolução CRH nº52, de 15/04/05, que indiquem super-exploração ou atividades com potencial de contaminação de solo e água subterrânea na região a sul do Município de Campinas, entre Indaiatuba e Capivari, na UGRHI-5.

Além do objetivo principal, desdobraram-se outros objetivos visando caracterizar a disponibilidade e as situações de exploração e proteção das águas subterrâneas como:

- . Atualização do cadastro de poços tubulares profundos;
- . Avaliação do rebaixamento dos níveis potenciométricos do Sistema Aquífero Tubarão;
- . Caracterização hidroquímica regional das águas subterrâneas;
- . Avaliação da produtividade dos aquíferos;
- . Mapeamento regional do uso e ocupação da terra e análise da expansão urbana;
- . Cadastramento e classificação das fontes potenciais de poluição;
- . Avaliação do perigo potencial de contaminação das águas subterrâneas.

### 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

#### 4.1. Localização

Os municípios envolvidos neste trabalho pertencem à Região Administrativa de Campinas (Indaiatuba, Monte Mor, Elias Fausto, Capivari e Rafard) e de Sorocaba (Salto), cobrindo uma área aproximada de 1.342 km<sup>2</sup>. Em termos de Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos, contudo, a maior parte da área distribui-se na Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (UGRHI 5), tendo uma pequena porção de Salto, Indaiatuba, Elias Fausto e Rafard inserida na Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10) (Figura 2)

As principais vias de acesso são as rodovias Castelo Branco (SP-280), do Açúcar (SP-380), dos Bandeirantes (SP-348), Anhanguera (SP-330) e Santos Dumont (SP-75).

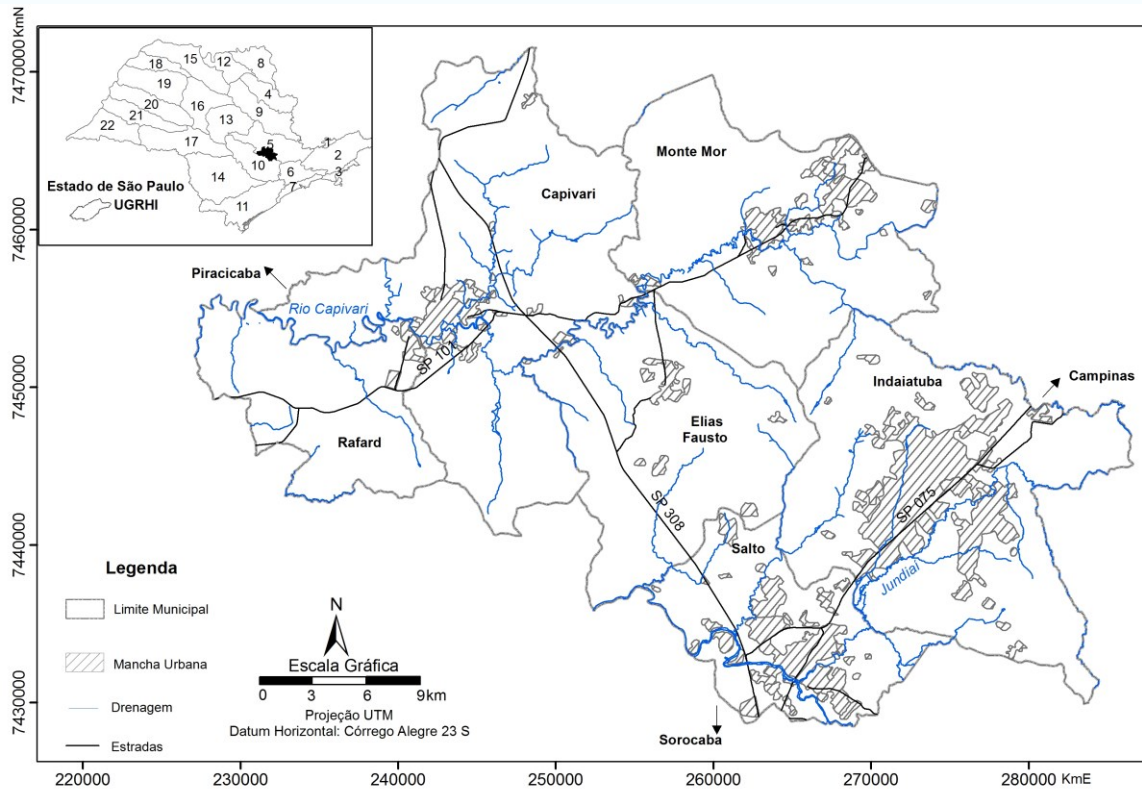


FIGURA 2 - Localização da área de estudo.

## 4.2. Aspectos Sócio-econômicos

Os municípios envolvidos neste estudo apresentam diferenças marcantes quanto aos aspectos sócio-econômicos e ao processo de desenvolvimento. Por um lado, persistem atividades agropecuárias em Elias Fausto, além da cultura canieira voltada para agroindústria em Capivari, Rafard e Monte Mor, e por outro, a industrialização desempenha papel fundamental em todos os municípios com destaque para Indaiatuba e Salto (Tabela 1) a partir das décadas de 1960 e 1970.

TABELA 1 - Número de estabelecimentos e de pessoal ocupado – 2003.

MUNICÍPIO	Nº ESTABELECEMENTOS				PESSOAL OCUPADO TOTAL			
	Agropecuária - silvicultura e exploração florestal	Indústria Extrativa	Indústria de Transformação	Comércio	Agropecuária - silvicultura e exploração florestal	Indústria Extrativa	Indústria de Transformação	Comércio
RAFARD	5	2	67	143	16	ND	1.476	212
CAPIVARI	30	5	281	850	330	18	4.780	2.515
ELIAS FAUSTO	36	4	66	850	259	6	1.670	670
MONTE MOR	31	9	134	589	93	22	2.913	1.540
INDAIATUBA	24	18	844	3626	192	80	17.420	10.886
SALTO	8	13	348	2051	35	27	8455	5.258

Fonte: IBGE, Cadastro Central de Empresas 2003; Malha municipal digital do Brasil: situação em 2001. Rio de Janeiro: IBGE, 2005.

O processo de expansão industrial, que vem sendo verificado na área de estudo, decorre de uma política de desaceleração das grandes áreas urbanas. A este fato vincula-se também a proximidade de grandes universidades, instalação de escolas públicas de nível técnico, à duplicação de importantes rodovias, ao Aeroporto Internacional de Viracopos e à implantação de grandes conjuntos habitacionais (Fadini, 1998).

O processo desenvolvimentista industrial que se instalou nos municípios de Indaiatuba e Salto, desde as décadas de 50 e 60, encontra-se ainda em pleno crescimento. Isso pode ser constatado ao se analisar indicadores como a evolução da população rural em relação à urbana (Tabela 2) e pelo número de estabelecimentos das últimas décadas (Tabela 3). Como decorrência da expansão industrial, houve diminuição das áreas voltadas à agricultura e, conseqüentemente, do número de pessoas empregadas no setor em todos os municípios.

Na Tabela 4 são apresentadas as principais características dos seis municípios em termos territoriais, populacionais, de infra-estrutura urbana e aspectos econômicos.

Simultaneamente ao crescimento industrial houve um avanço urbano com grande incremento populacional e a região atingiu, em 2005, um total de 389.467 habitantes e em, 2010, de 429.047 habitantes (IBGE, 2006, 2010).

**TABELA 2 - População rural, urbana e total.**

	POPULAÇÃO	1960	1970	1980	1991	2010
SALTO	Rural	-	2.714	-	-	742
	Urbana	-	19.058	42.376	72.333	104.774
	Total	-	21.772	42.376	72.333	105.516
INDAIATUBA	Rural	-	8.196	7.753	9.099	2.027
	Urbana	-	22.341	48.484	91.849	199.592
	Total	-	30.537	56.237	100.948	201.619
MONTE MOR	Rural	-	4.142	7.133	-	2.971
	Urbana	-	3.784	6.887	-	45.978
	Total	-	7.926	14.020	-	48.949
CAPIVARI	Rural	-	6.081	5.407	-	2.672
	Urbana	-	12.993	19.766	-	45.904
	Total	16.514	19.074	25.173	-	48.576
ELIAS FAUSTO	Rural	-	3.217	4.331	-	3.217
	Urbana	-	2.445	3.957	-	12.558
	Total	5.681	6.161	8.288	-	15.775
RAFARD	Rural	-	2.839	2.136	-	1.021
	Urbana	-	2.497	3.793	-	7.591
	Total	-	5.118	5.929	-	8.612

Fontes: IBGE (1973, 1982, 1991, 1995, 2010) - demografia.

**TABELA 3 - Evolução do número de estabelecimentos.**

LOCALIDADE	VARIÁVEL	1991	2001	2003	2010
SALTO	Nº de Estabelecimentos	868	1328	1446	2013
	Nº de Estabelecimentos da Indústria	153	194	230	330
	Vínculos Empregatícios na Indústria	9730	7575	8206	12995
INDAIATUBA	Nº de Estabelecimentos	1227	2690	3021	4548
	Nº de Estabelecimentos da Indústria	291	544	578	816
	Vínculos Empregatícios na Indústria	12222	13691	16223	25219
MONTE MOR	Nº de Estabelecimentos	189	492	523	708
	Nº de Estabelecimentos da Indústria	44	70	77	82
	Vínculos Empregatícios na Indústria	1563	2255	2699	4461
CAPIVARI	Nº de Estabelecimentos	690	948	986	1235
	Nº de Estabelecimentos da Indústria	138	177	178	243
	Vínculos Empregatícios na Indústria	2813	3963	4546	6795
ELIAS FAUSTO	Nº de Estabelecimentos	139	236	258	365
	Nº de Estabelecimentos da Indústria	34	31	31	52
	Vínculos Empregatícios na Indústria	375	1199	1456	2842
RAFARD	Nº de Estabelecimentos	108	147	167	213
	Nº de Estabelecimentos da Indústria	31	45	50	57
	Vínculos Empregatícios na Indústria	1409	917	1407	2080

Fonte: SEADE, Informações dos Municípios Paulistas - IMP, 2010.

Ressalta-se o elevado número populacional e de densidade demográfica de Indaiatuba e Salto, em relação aos demais municípios. Coincidentemente, apresentam as menores taxas de analfabetismo para população maior que 15 anos (6,3%). Apesar do elevado grau de urbanização (98,78% e 98,97%, respectivamente), não necessariamente detêm os melhores índices de infraestrutura urbana, como coleta de lixo, abastecimento de água, esgoto sanitário tratado, entre outros.

Na Tabela 4 também são apresentados os principais setores de atividades em termos percentuais de empregos ocupados, com destaque para a indústria, seguida pelos setores de serviços e comercial. Vale destacar que a elevada porcentagem para o setor industrial em Rafard e Capivari está relacionada, principalmente, às usinas de açúcar e álcool instaladas na região e que geram muitos empregos. Elias Fausto destaca-se no setor agropecuário.

Ao se analisar a participação de tais setores no total do valor adicionado (%), os municípios que apresentam maior participação da indústria são Monte Mor e Indaiatuba, enquanto Salto e Capivari destacam-se na participação dos serviços.

**TABELA 4 - Índices socioeconômicos.**

CARACTERÍSTICA	ANO	CAPIVARI	RAFARD	ELIAS FAUSTO	MONTE MOR	INDAIA-TUBA	SALTO
<b>Território e População</b>							
Área (km <sup>2</sup> )	2005	319	140	203	236	299	160
População	2010	48.576	8.612	15.775	48.949	201.619	105.516
Densidade Demográfica (Habitantes/km <sup>2</sup> )	2010	150,53	70,93	77,83	203,55	647,54	792,17
Taxa de Mortalidade Infantil (por mil nascidos vivos)	2004	13,32	16,13	5,1	9,56	11,26	9,65
Taxa de Analfabetismo da População de 15 anos e mais (%)	2000	7,61	7,69	10,86	10,41	6,3	6,35
<b>Infra-estrutura Urbana</b>							
Grau de Urbanização (%)	2005	84,08	87,28	78,29	93,56	98,79	98,97
Domicílios com Infra-estrutura interna urbana adequada (%)	2000	89,78	96,66	92,01	62,26	89,92	95,72
Coleta de lixo - nível de atendimento (%)	2000	98,84	99,59	99,89	99,04	98,89	98,57
Abastecimento de água - nível de atendimento (%)	2000	98,5	97,89	96,28	96,35	94,37	98,03
Esgoto sanitário - nível de atendimento (%)	2000	94,4	96,4	90,41	44,37	91,93	92,53
Esgoto Sanitário Tratado (%)	2003	30	-	100	-	8	-
Lixo domiciliar/comercial com destinação adequada (%)	2003	100	-	100	100	100	-
<b>Empregos Ocupados por Setor no Total de Emprego (%)</b>							
Agropecuária	2003	4,99	4,73	14,56	8,76	1,52	1,29
Indústria	2003	49,22	72,34	54,21	42,28	42,63	46,05
Construção civil	2003	1,67	0,62	-	0,31	3,8	2,16
Comércio	2003	17	5,24	13,03	10,84	16,86	18,97
Serviços	2003	27,12	17,07	18,21	37,81	35,18	31,54
<b>Economia</b>							
Participação da Agropecuária no Total do Valor Adicionado (%)	2003	15,55	20,56	40,46	9,49	1,59	1,15
Participação da Indústria no Total do Valor Adicionado (%)		44,86	53,16	33,35	65,05	64,01	48,89
Participação dos Serviços no Total do Valor Adicionado (%)		39,59	26,28	26,19	25,46	34,4	49,96

Fonte: IBGE - Perfil Municipal, 2006; IBGE - Cidades@, 2010.

### 4.3. Geologia

O mapa geológico (Figura 3) utilizado neste trabalho foi compilado do Projeto “Mapeamento faciológico do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo”, escala 1: 50.000, elaborado por um convênio DAEE/UNESP (1980) sob coordenação dos Professores P. C. Soares e P.M.B. Landim, da UNESP-Campus Rio Claro.

A área situa-se na Borda Leste da Bacia Sedimentar do Paraná, na Depressão Periférica Paulista, onde ocorrem sedimentos dos grupos Tubarão, Passa Dois e São Bento, com ocorrências de rochas intrusivas básicas (*sills* ou diques) e materiais de cobertura cenozóicos (Figura 3).

Os sedimentos permo-carboníferos do Grupo Tubarão estão em contato com o Embasamento Cristalino pré-cambriano. Este embasamento é representado, na região, por rochas de médio a alto grau metamórfico do Complexo Amparo, e correspondem a gnaisses com intercalações de quartzitos, xistos, anfibolitos, gonditos e metaultrabasitas (Neves, 2005; Hasui *et al.*, 1981). Ainda compondo o embasamento, ocorrem intrusões granitóides encaixados nos gnaisses e migmatitos, dentre os quais destaca-se o Complexo Granitóide Itu ou Granito Itu (Galembeck, 1997).

Na região, as rochas sedimentares do Grupo Tubarão subdividem-se em duas unidades principais: Subgrupo Itararé e Formação Tatuí.

A unidade de maior interesse é o Subgrupo Itararé. Nas proximidades de Itu, esta unidade atinge 300 m de espessura e diminui em direção a leste (Oda, 1998). Estes sedimentos foram depositados em ambientes da época glacial e consolidaram-se em litotipos bastante variáveis e descontínuos representados por intercalações e/ou associações de arenitos, siltitos, folhelhos, argilitos, diamictitos e ritmitos.

Os sedimentos do Subgrupo Itararé possuem, em geral, cores variando de cinza claro a escuro. É composto por uma predominância de arenitos com granulometria variada por vezes arcoseanos e/ou conglomeráticos, diamictitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, conforme descrições faciológicas detalhadas por Petri & Pires (1992) e Petri *et al.* (1996) em testemunhos de poços perfurados na região.

Segundo o modelo de sedimentação admitido para a região (Pires & Petri, 1991; Petri & Pires, 1992), estas litologias foram depositadas por fluxos marinhos de detritos provenientes de um continente emerso situado a nordeste da área. Estes autores apontaram que as litologias presentes podem ser correlacionadas considerando o seu posicionamento e admitindo a inexistência de falhas apreciáveis.

Sobrejacente ao Subgrupo Itararé encontra-se a Formação Tatuí, caracterizada por depósitos marinhos constituídos, predominantemente, por siltitos, arenitos finos, calcários e sílex. Na base, a Formação Tatuí apresenta relações de discordância erosiva com o Subgrupo Itararé, podendo localmente possuir conglomerado basal.

Sobrepostas ao Grupo Tubarão encontram-se as rochas do Grupo Passa Dois, também de ocorrência restrita a noroeste da área (Figura 3). Este grupo é representado na região pelas formações Irati, Serra Alta e Teresina, compostas predominantemente por rochas sedimentares finas. As formações Irati e Serra Alta são constituídas, em sua maioria, por siltitos, argilitos e folhelhos. Na Formação Irati ocorrem também folhelhos pirobetuminosos, localmente com alternância rítmica de calcários. A Formação Teresina compreende folhelhos e argilitos, com alternância de siltitos e arenitos muito finos, com presença restrita de lentes de calcários oolíticos e sílex (IPT, 1981).

Rochas ígneas intrusivas básicas, representadas por corpos de diabásio, ocorrem de forma irregular nas porções oeste, noroeste e norte da cidade de Capivari.

Materiais de coberturas cenozóicas indiferenciadas ocorrem nas porções norte e nordeste da área.



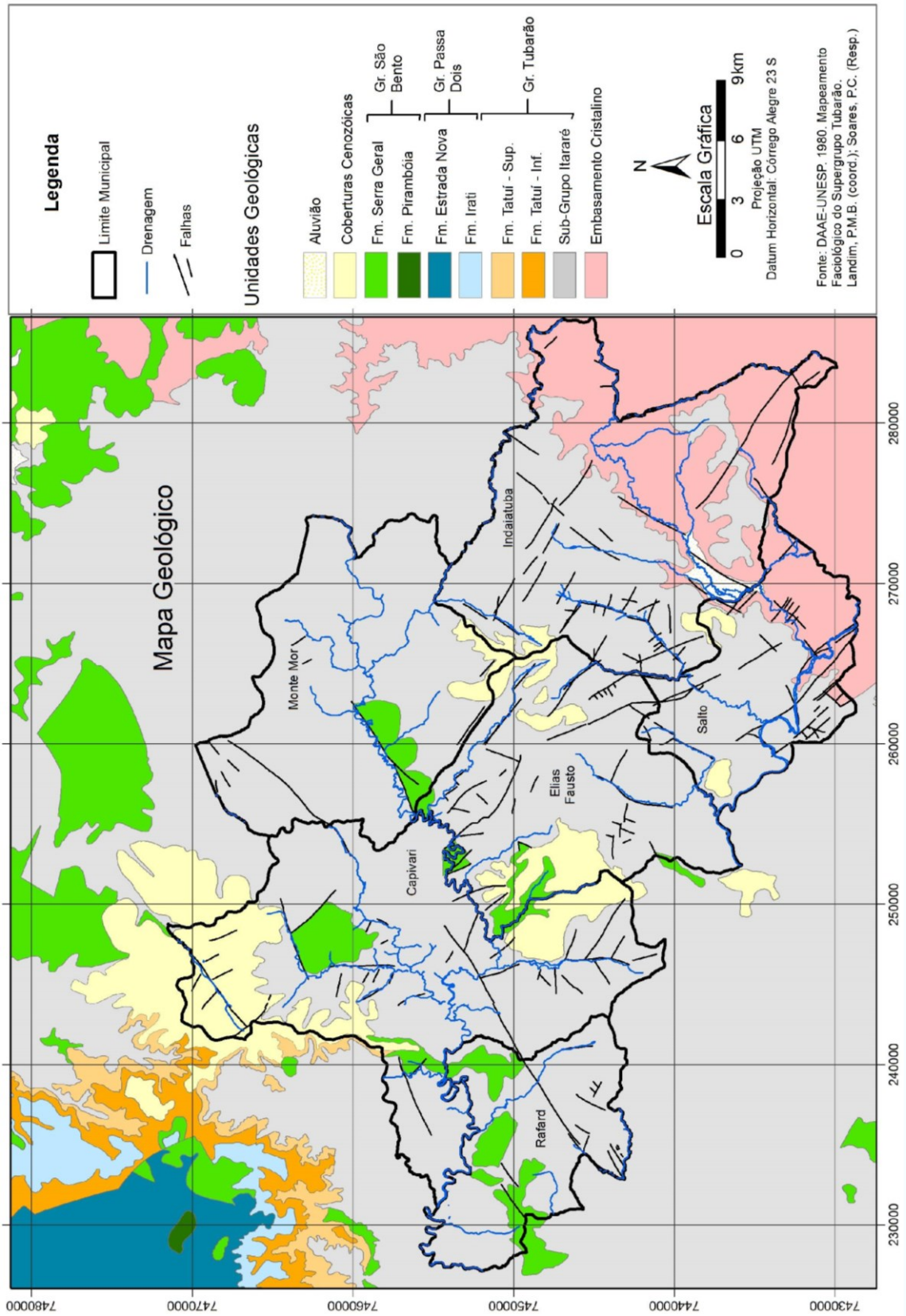


FIGURA 3 - Mapa geológico da área de estudo.

#### 4.4. Hidrogeologia Regional

Na área estudada distinguem-se três tipos de aquíferos: Sistema Aquífero Tubarão, Sistema Aquífero Cristalino e Aquífero Diabásio. O primeiro é representado por sedimentos do Subgrupo Itararé, o segundo por rochas do Embasamento Cristalino e o terceiro por *sills* ou diques de diabásio.

O Sistema Aquífero Tubarão compreende a principal fonte de abastecimento de água subterrânea. Esta unidade hidroestratigráfica é caracterizada como granular, de porosidade primária, heterogênea, apresentando condições de confinamento e/ou semi-confinamento. A circulação e armazenamento de água estão associados tanto aos poros existentes nas rochas como nas descontinuidades estruturais das mesmas (juntas, fraturas ou falhas).

Quanto às características hidráulicas, este sistema aquífero apresenta valores regionais de transmissividade (T) entre 0,30 a 40m<sup>2</sup>/dia na Região de Campinas (DAEE, 1981a) e entre 0,34 a 10,0 m<sup>2</sup>/dia na Região de Sorocaba (DAEE, 1981b). A condutividade hidráulica (K) ocorre em duas principais classes: entre 0,002 a 0,024 m/dia e 0,055 a 0,7 m/dia em Campinas (DAEE, 1981a) e entre 0,001 a 0,005 m/dia e 0,01 a 1,00 m/dia em Sorocaba (DAEE, 1981b).

A capacidade específica (Q/s) média calculada é de 0,1 m<sup>3</sup>/h/m, nível estático médio (NE) de 18 m e espessura saturada média de 134 m (Oda *et al.*, 2005).

O Sistema Aquífero Cristalino ocorre nas porções leste dos municípios de Salto e Indaiatuba. É constituído por rochas ígneas e metamórficas do Embasamento Cristalino, onde o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas ocorrem através das fraturas das rochas e/ou através do manto de alteração das mesmas. Desta forma, este aquífero é também denominado aquífero fraturado ou fissural e de porosidade secundária, pois, as fraturas desta unidade foram formadas posteriormente, após a consolidação das rochas.

Segundo DAEE (1981a), a capacidade específica mediana dos poços locados no Sistema Aquífero Cristalino, ao longo de lineamento de drenagem, na Região Administrativa 5 – Campinas, é de 0,2 m<sup>3</sup>/h/m; para os poços locados fora destas estruturas, o valor encontrado foi de 0,03 m<sup>3</sup>/h/m. Para a transmissividade, DAEE (*op cit.*) obteve valores entre 0,1 a 100 m<sup>2</sup>/dia.

Em termos da UGRHI 05, em toda a Bacia PCJ, a vazão explotável no Sistema Aquífero Cristalino é de 13 m<sup>3</sup>/s, e no Sistema Aquífero Tubarão de 5 m<sup>3</sup>/s. As respectivas produtividades variam de 5 a 50 m<sup>3</sup>/h e de 10 a 50 m<sup>3</sup>/h (COPLAENGE PROJETOS DE ENGENHARIA, 2000).

O Aquífero Diabásio, onde a água subterrânea circula preferencialmente pelas fraturas e fissuras abertas, apresenta pequena representatividade na área de estudo, encontrando-se principalmente em subsuperfície. Este aquífero é composto por rochas ígneas intrusivas básicas (principalmente diabásios) e possui ocorrência irregular e restrita dentro dos sedimentos do Subgrupo Itararé.

As águas dos aquíferos do Estado de São Paulo apresentam, de forma geral, boa qualidade, atendendo aos padrões de potabilidade e estando adequadas ao consumo humano. As ocorrências de contaminação são, ainda, localizadas e devem ser controladas para não



comprometer as reservas subterrâneas dos aquíferos. A qualidade da água pode interferir no seu aproveitamento, o que implica na necessidade de avaliação das características naturais da água, bem como da ocorrência de contaminações, quer sejam naturais ou de origem antrópica, com objetivo de estabelecer caminhos para a proteção e a reversão da evolução do quadro de degradação.

## 5. CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS

### 5.1. Banco de Dados

O Instituto Geológico/SMA dispõe de um Cadastro de Poços em formato *ACCESS* que serviu de base para reunir os dados dos poços da área de estudo e para a análise hidrogeológica da mesma.

Para o estudo em pauta, foram coletados dados e informações nas Empresas de Perfuração de Poços, Prefeituras, Serviços Municipais de Água, SABESP, e junto ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), nos escritórios de São Paulo, Piracicaba, Rio Claro, Campinas e Capivari, por meio de consulta a relatórios e processos.

Entre as décadas de 1960 a 2000, o IG/SMA perfurou muitos poços em Capivari e Rafard, contendo relatórios de poços bastante completos.

Com base nestes levantamentos, uma análise criteriosa foi adotada para a interpretação e avaliação das informações disponíveis, dando especial atenção aos poços que continham os seguintes dados:

- proprietário: nome, endereço e telefone;
- localização: bairro, nome do local, coordenadas UTM e altitude da boca do poço;
- uso da água: finalidade, quantidade, tipo de equipamento utilizado para extração;
- uso do solo: atividade desenvolvida;
- qualidade da água: análises químicas;
- testes de bombeamento: níveis estático e dinâmico, vazão, planilhas de rebaixamento e/ou recuperação;
- aspectos construtivos: empresa e data de perfuração, profundidade, diâmetros de perfuração, revestimento, litologia, laje de proteção, tampa e facilidade de coleta de água;
- aspectos geológicos: descrição litológica e aquífero explorado.

### 5.2. Coleta de Dados em Campo

As atividades de campo visaram, principalmente, a locação dos poços e a verificação das condições de uso da água, estado de conservação e funcionamento dos poços.

Para a locação dos poços foram utilizadas folhas topográficas, de escala 1: 10.000, da Secretaria do Planejamento do Estado de São Paulo (1977) e 1:50.000 do IBGE - Folhas Americana, Campinas, Boituva, Indaiatuba, Salto e Porto Feliz (Figura 4), e equipamento GPS modelo Garmin MAP 76CSx.

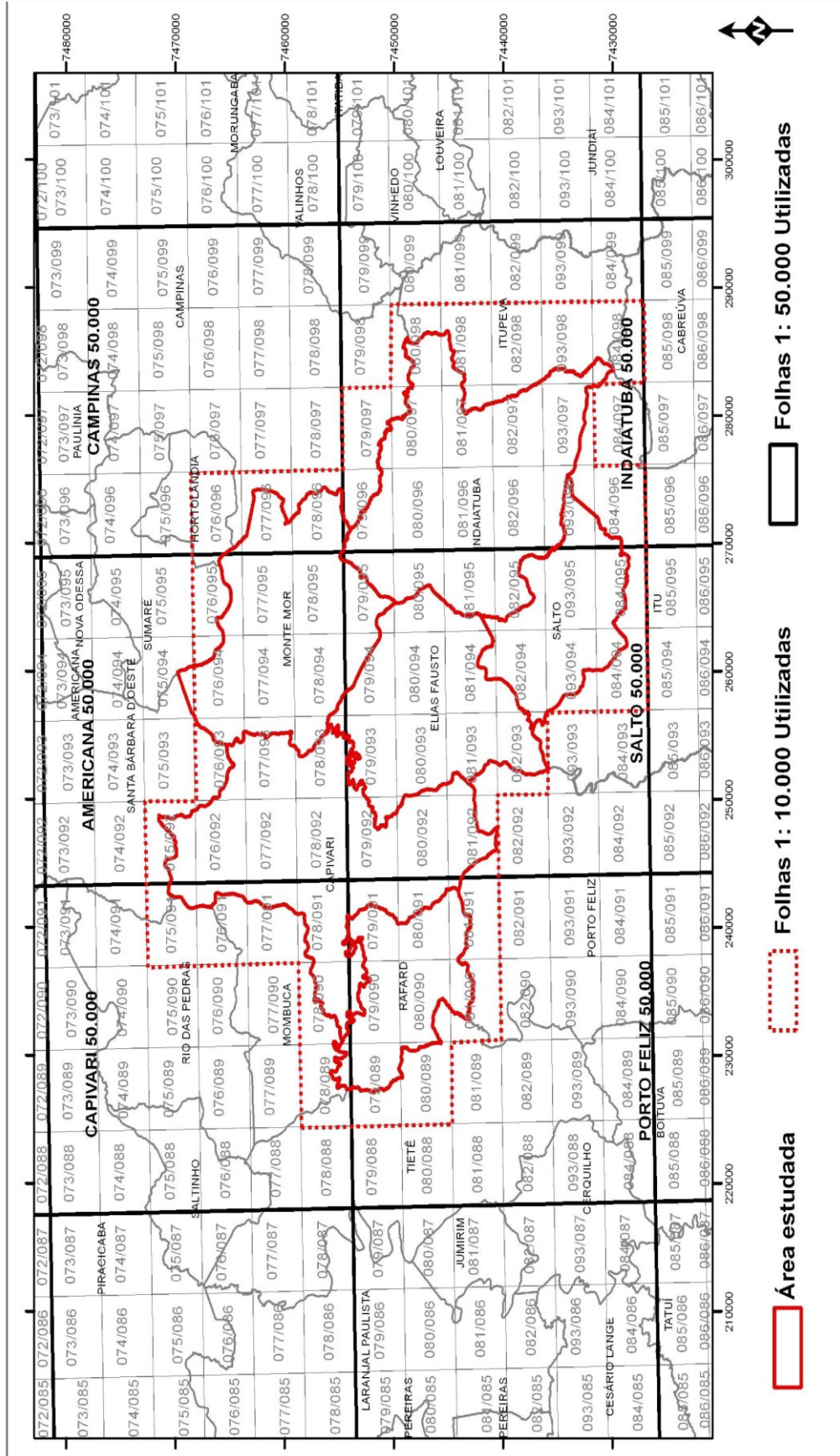


FIGURA 4 - Articulação de folhas topográficas 1: 10.000 e 1: 50.000.

Ao longo dos trabalhos de campo foram encontradas algumas dificuldades na obtenção de informações de poços junto a alguns proprietários, em função do: desconhecimento e/ou falta de interesse a respeito do poço; da inexistência de relatórios completos (não fornecidos pela empresa de perfuração), perda de documentos; entre outros motivos.

### 5.3. Consolidação das Informações

Foram levantados 1262 poços na área dos seis municípios (**Anexo 1**). Na Tabela 5 são apresentados os totais encontrados em cada município e sua classificação quanto a dois principais tipos de uso das águas subterrâneas: público (11%) e privado (73%).

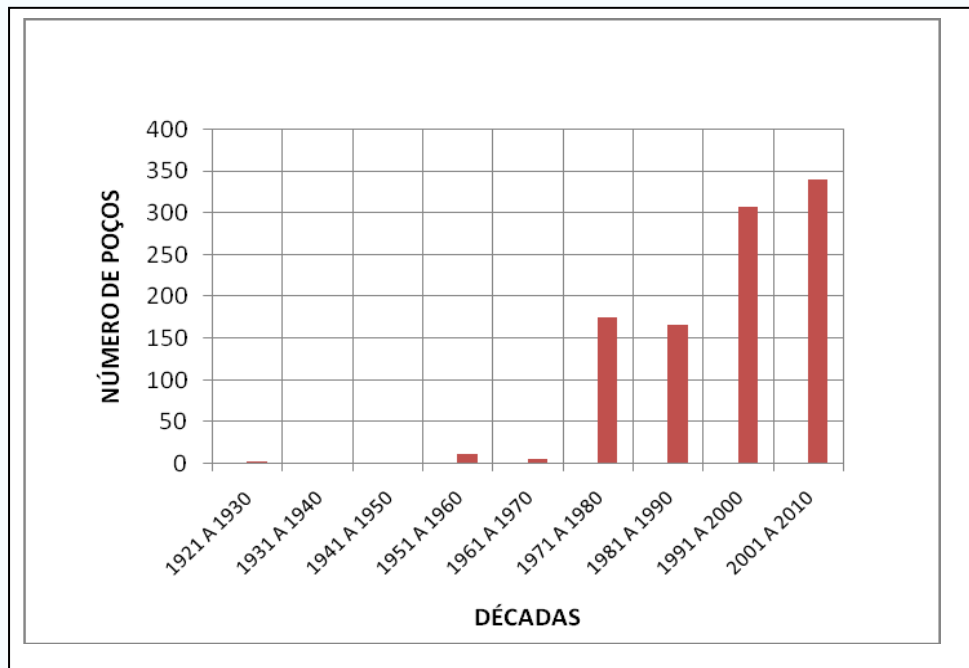
A evolução da perfuração de poços na região estudada pode ser retratada desde a década de 1920 até a atualidade (Tabela 6; Figura5). A partir da década de 1970 houve um aumento significativo das perfurações associado ao crescimento populacional, ao desenvolvimento econômico e, sobretudo, ao desenvolvimento tecnológico dos equipamentos de perfuração.

**TABELA 5 - Usos público e privado das águas subterrâneas.**

USO DA ÁGUA	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO	TOTAL DE POÇOS POR USO
Público	48	17	10	35	24	4	138
Privado	123	100	392	131	18	172	936
Total de poços por Município	171	117	402	166	42	176	1074

**TABELA 6 - Data de perfuração dos poços.**

DÉCADAS	Nº DE POÇOS
1921 a 1930	2
1931 a 1940	0
1941 a 1950	1
1951 a 1960	12
1961 a 1970	6
1971 a 1980	174
1981 a 1990	166
1991 A 2000	306
2001 a 2010	339
TOTAL	1006



**FIGURA 5 - Evolução das perfurações de poços.**

Para se verificar as empresas de perfuração mais atuantes na área estudada, foi realizada uma contagem simples dos poços perfurados pelas mesmas. Na Tabela 7 foram relacionadas somente as 18 primeiras empresas, que perfuraram a maioria dos poços (83%). O restante dos poços (17%) foi perfurado por outras empresas. As três perfuradoras mais atuantes na área de estudo foram: Edisonda, Roema e Jundsondas. A primeira atuou, principalmente, em Indaiatuba e Monte Mor; a segunda em Capivari; e a terceira em Indaiatuba.

Com relação à profundidade dos poços, foi realizado um levantamento deste parâmetro junto a cada município da área estudada, cujos resultados encontram-se na Tabela 8. O município com maior profundidade média é Capivari, seguido de Rafard.

Dos 1262 poços cadastrados na região, 1153 dispõem de informação sobre o aquífero explorado: 35% deste subtotal encontram-se em Indaiatuba, 18% em Monte Mor, 16% em Capivari e 15% em Salto, 12% em Elias Fausto e 4% em Rafard (Tabela 9).

**TABELA 7 - Perfuradoras mais atuantes por municípios.**

EMPRESA PERFURADORA	MUNICÍPIOS						TOTAL DE POÇOS POR EMPRESA
	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO	
EDISONDA	1	7	75	60	1	24	168
ROEMA	92	13	1	3	9	3	121
JUNDSONDAS	2	6	76	8	0	21	113
LUCKSONDAS	0	12	55	1	0	4	72
SONDÁGUA	8	15	11	1	3	10	48
ZEZINHO	17	13	1	2	7	1	41
PROSONDAS	0	5	27	1	0	2	35
IG/SMA	20	0	0	2	13	0	35
JANER	0	2	19	1	1	8	31
CORNER	3	3	19	3	0	2	30
CONSTROLI	1	0	20	1	0	3	25
PLANETASONDAS	0	3	11	2	0	6	22
PEPOSA	0	0	3	15	0	0	18
HIDROGESP	1	3	12	0	0	1	17
GARCA	0	1	4	0	0	11	16
GEOPLAN	0	1	10	0	0	5	16
AIR-LIFT	0	2	2	0	0	7	11
SONDAMAR	5	1	2	0	0	2	10
OUTRAS EMPRESAS	22	16	42	31	4	36	151
TOTAL DE POÇOS POR MUNICÍPIO	172	103	390	131	38	146	980

**TABELA 8 - Profundidade dos poços por município.**

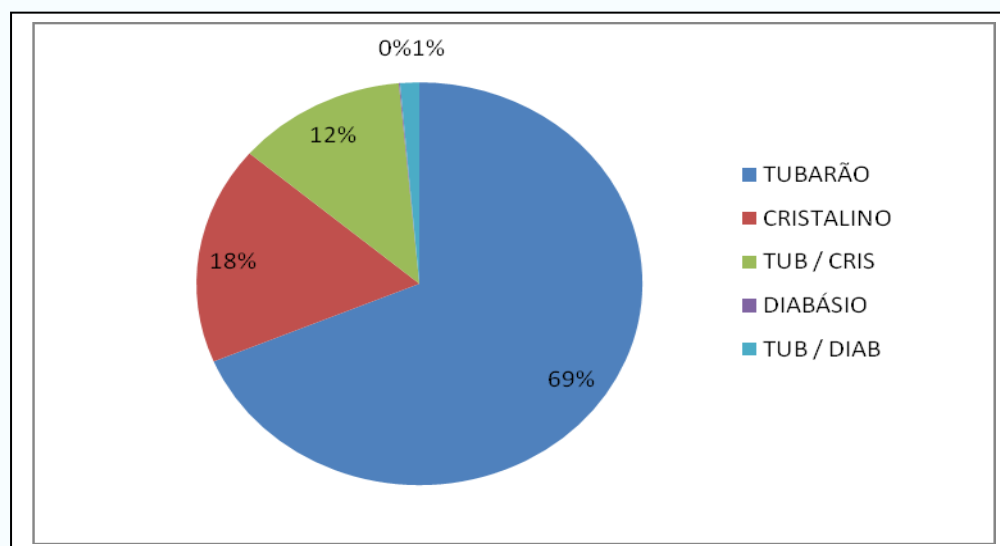
PROFUNDIDADE (m)	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO	TOTAL DE POÇOS
Média	206	156	161	177	195	158	
Mínima	70	40	27	60	45,7	32	
Máxima	400	320	360	433	365	400	
Total de poços por município	171	114	432	176	45	161	1099

**TABELA 9 - Poços por aquífero e por município.**

AQUÍFERO EXPLOTADO	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO	TOTAL DE POÇOS POR AQUÍFERO	%
Tubarão	178	137	149	200	43	85	792	69
Cristalino	0	0	157	1	0	44	202	18
Tubarão/Cristalino	0	0	100	1	0	41	142	12
Diabásio	0	0	1	0	0	0	1	0
Tubarão/Diabásio	4	2	2	2	6	0	16	1
Total de poços por município	182	139	409	204	49	170	1153	100
%	16	12	35	18	4	15	100	

Quanto ao aquífero explotado, predomina o Aquífero Tubarão com 69% dos poços, o Cristalino com 18%, e o sistema poços mistos (Tubarão/Cristalino) com 12% (Figura 6). Apenas 1% dos poços explota o sistema misto Tubarão/Diabásio.

A Figura 7 apresenta a distribuição e localização dos poços cadastrados nos seis municípios, classificados por sistema aquífero explotado. A maior concentração de poços ocorre nas áreas urbanas de Capivari, Salto, Monte Mor e Indaiatuba. Em Indaiatuba e Salto, também se observam aglomerações de poços que correspondem aos condomínios ou alinhamento de poços nas principais rodovias. Em Monte Mor e Elias Fausto, há uma dispersão pela área municipal na zona rural.



**FIGURA 6 - Poços por aquífero.**

## 5.4. Tratamento de Dados

Nesta etapa foram efetuadas avaliações da qualidade das informações dos relatórios de poços, visando a seleção dos mesmos para o estudo hidrogeológico. Os poços com informações insuficientes não foram utilizados.

Na análise de consistência dos poços foram confrontadas as coordenadas UTM obtidas no campo através do GPS e aquelas obtidas anteriormente por outros meios (mapas, relatórios de poços, outros cadastramentos, etc.). Foi também confrontada a compatibilidade dos perfis construtivos dos poços com o mapa geológico.

As divergências encontradas foram verificadas documentalmente (cópia relatório de poço e ficha de campo) e, em seguida, as informações foram corrigidas ou descartadas do banco de dados.

A partir da avaliação dos dados foram selecionados os poços para composição de tabelas, histogramas, gráficos. Foram também confeccionados os seguintes mapas temáticos: localização de poços, capacidade específica, espessura de areia, produtividade similar, densidade de poços, vazão, contorno estrutural do topo do embasamento e potenciométrico.



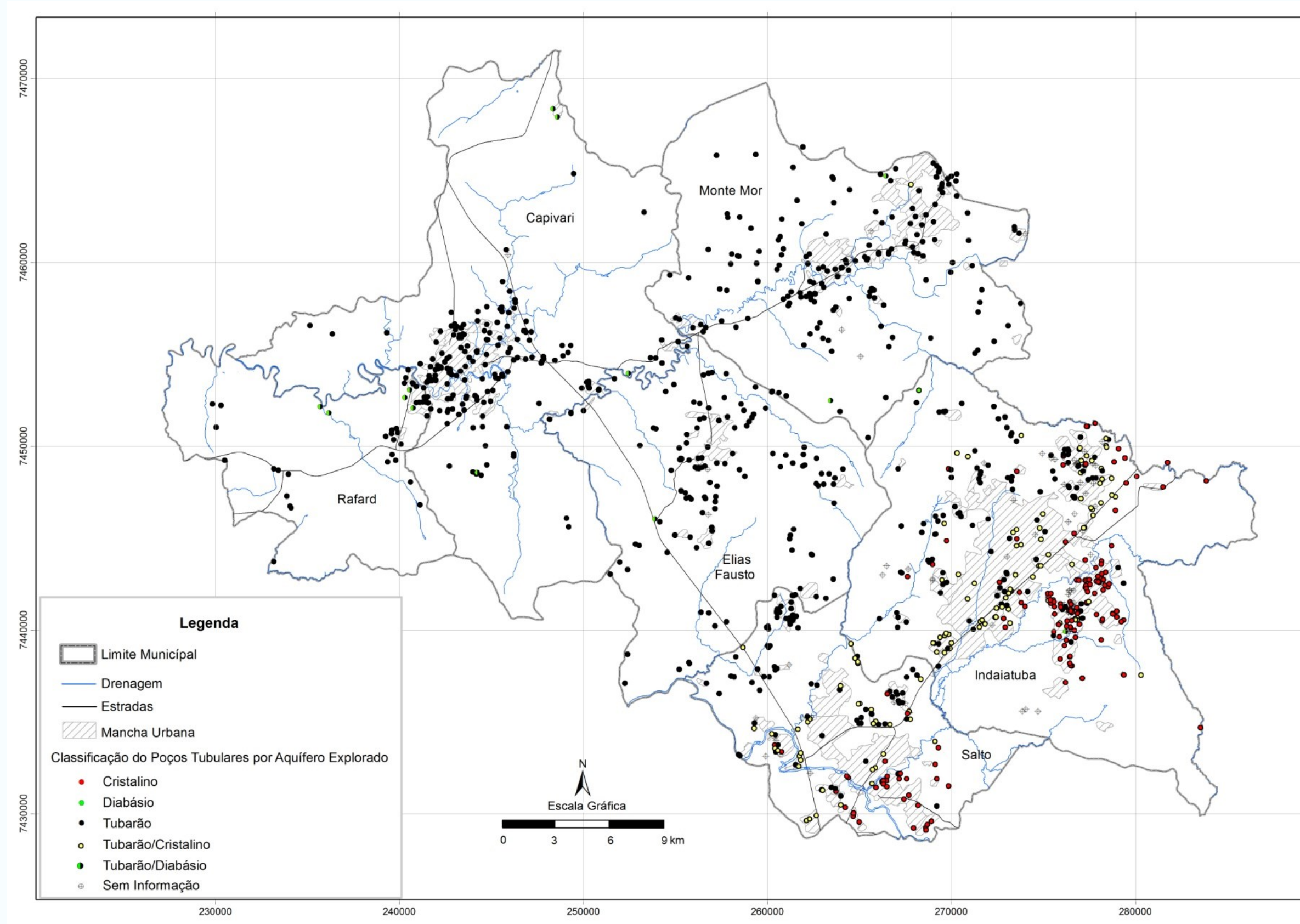


FIGURA 7 - Mapa de localização dos poços tubulares classificados por sistema aquífero.

## 6. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

A partir do cadastro de poços tubulares levantaram-se as características básicas do uso e aproveitamento das águas subterrâneas por município e por sistema aquífero explorado.

Com o tratamento dos dados de poços foi definida a geometria do aquífero sedimentar e a avaliação da produtividade dos aquíferos Tubarão, Cristalino, Diabásio e sistemas mistos.

Nesta etapa de trabalho foi também definido o comportamento do fluxo da água subterrânea e avaliada a qualidade da água dos aquíferos.

### 6.1. Uso e Exploração das Águas Subterrâneas

No Estado de São Paulo aproximadamente 80% dos municípios são total ou parcialmente abastecidos por água subterrânea (CETESB, 2007).

Na área de interesse, Rafard e Elias Fausto dependem totalmente das águas subterrâneas para abastecimento público enquanto que Capivari, Monte Mor e Indaiatuba dependem parcialmente deste recurso. Apenas Salto utiliza 100% de recursos hídricos superficiais (Tabela 10).

**TABELA 10 - Volume de água produzida (superficial e subterrânea) por município.**

MUNICÍPIO	FONTE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA				TOTAL (m <sup>3</sup> /ano) – volume de água produzido
	SUPERFICIAL (m <sup>3</sup> /ano) – volume de água tratada em ETA	(%)	AQUÍFERO (m <sup>3</sup> /ano)	(%)	
Indaiatuba	22.195.000	99,41	132.000	0,59	22.327.000
Monte Mor	1.894.200	54,05	1.610.210	45,95	3.504.410
Salto	11.294.400	100,00	0	0,00	11.294.400
Capivari	1.801.340	36,28	3.163.390	63,72	4.964.730
Elias Fausto	0	0,00	972.990	100,00	972.990
Rafard	0	0,00	659.540	100,00	659.540

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2008).

Na área estudada os maiores volumes de água subterrânea são extraídos de Capivari e Monte Mor.

Os maiores volumes de água, provenientes de mananciais superficiais, são produzidos em Indaiatuba e Salto, visando o abastecimento público. O incremento do número de poços nestes municípios nas últimas décadas, entretanto, está associado ao uso privado para fins de saneamento e indústria (Tabela 11).

**TABELA 11 - Distribuição de poços por tipo de uso da água e por município.**

USO DA ÁGUA	MUNICÍPIOS						TOTAL
	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO	
Abastecimento Público	49	17	10	36	24	4	140
Saneamento	42	46	245	35	4	85	457
Industrial	44	11	81	39	10	62	247
Agrícola	2	12	15	4		11	44
Agropecuário	4	5	13	17			39
Pecuário/Criação Animal	15	18	15	24	2	9	83
Lazer	7	1	16	8	2	5	39
Outros	8	7	8	3		2	28
Sem Informação	14	24	80	51	7	9	185
<b>Total</b>	<b>185</b>	<b>141</b>	<b>483</b>	<b>217</b>	<b>49</b>	<b>187</b>	<b>1262</b>

### 6.1.1 Uso da Água

O abastecimento público, na área de estudo, é realizado através de 140 poços (11% do total de poços) e são de responsabilidade dos serviços de água, prefeituras, SABESP e associações (Figura 8).

Os demais 89% dos poços são privados e a captação da água é destinada, principalmente a: saneamento (36,2%), indústria (19,6%), uso agrícola (3,5%), agropecuário (3,1%) ou pecuário/criação animal (6,6%), lazer (3,1%), entre outras (2,2%). Cerca de 14,7% dos poços cadastrados não possuem informação sobre o uso da água (Tabela 11).

Considerou-se como saneamento, o uso da água para consumo humano e para limpeza geral em domicílios; residências em loteamentos ou condomínios, chácaras, sítios e fazendas; hotéis/motéis; escolas; comércio, etc.

O uso na indústria refere-se a seu aproveitamento em processos industriais. Também foram consideradas nesta categoria as indústrias que utilizam a água tanto no processo industrial como para fins de saneamento.

O uso agrícola corresponde à irrigação de hortaliças, pomares, culturas, mudas de eucalipto, reflorestamento, etc.

Dentre as criações animais destacam-se na região: pecuária (bovino), equinos (haras), caprinos, suínos, aves (granjas), aquicultura, ranários. Os poços utilizados tanto para criação animal como para irrigação de culturas foram considerados como uso agropecuário.

Considerou-se como lazer o uso da água em clubes, parques, pesque-pagues e harmonia paisagística (jardinagem).

Na categoria *Outros*, inserem-se os usos da água subterrânea vinculados às prestações de serviço, como por exemplo, lavagem de veículos, transporte de água, serviços em postos de combustível, estacionamento/garagem, lavanderia, etc. Também foi considerada nesta categoria a atividade de mineração de água. Na região estudada foram levantados 5 poços que são utilizados como fontes de água, como por exemplo, a Mineradora Serra Azul (poços 896 e 897), em Elias Fausto, que possui quatro poços, dois dos quais desativados; Sette Mineral (poço nº 1883), em Indaiatuba.







Mineradora Serra Azul – Fonte Vitoria, Sítio Michelangelo, Elias Fausto



Poço nº 896



Mineradora Serra Azul – Fonte Eureka, Sítio Michelangelo, Elias Fausto



Poço nº 897

Constatou-se a existência de dois poços protegidos com infra-estrutura para exploração de água mineral, um em Elias Fausto (Poço nº 2950) e outro em Indaiatuba (Poço nº 4248). Encontram-se em fase de tramitação legal para adquirir o direito de exploração mineral.



Fonte São Miguel, Sítio Rosário, Elias Fausto



Poço Nº 2950



Fonte N. Sra. Graças, Sítio São João, Indaiatuba



Poço Nº 4248

Vale destacar, também, o aproveitamento da água subterrânea em atividade industrial de uma empresa que produz gelo (Engelo, poço nº 3285), em Indaiatuba.

### 6.1.2 Vazões Explotadas

Foram estimadas para a região de estudo, as vazões totais explotadas (em m<sup>3</sup>/ano) por sistema aquífero e por município, considerando os usos da água.

Do total de 1262 poços, 181 deles não foram considerados por estarem desativados, parados, abandonados, soterrados ou tamponados. Aqueles sem informação sobre sua situação foram considerados como poços em funcionamento.

Os poços sem informação quanto ao uso da água foram considerados como poços utilizados para fins de saneamento.

Do total de 1045 poços em funcionamento e com informação de aquífero explorado, 870 apresentam dado de vazão, obtida de relatório de poço (teste de vazão) ou informada em campo pelo proprietário do poço. Para os 175 poços do Cadastro de Poços do IG que não possuem informação referente à vazão de exploração, foram atribuídos valores de vazão média calculados a partir de dados do Cadastro de Outorgas do DAEE obtidos no site [www.daae.sp.gov.br](http://www.daae.sp.gov.br) (consultado em 26/07/2012) (Tabela 12). A vazão média foi determinada por finalidade de uso da água e por aquífero explotado.

**TABELA 12 - Médias de vazão outorgada (m<sup>3</sup>/ano) por finalidade de uso e por aquífero explotado obtidas a partir do Cadastro de Outorga do DAEE.**

USO DA ÁGUA	CRISTALINO		TUBARÃO		TUBARÃO/ CRISTALINO		TUBARÃO/ DIABÁSIO	
	Nº poços	Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	Nº poços	Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	Nº poços	Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	Nº poços	Vazão média (m <sup>3</sup> /h)
Abastecimento Público	4	3,375	49	20,42	0			
Saneamento Industrial (processo)/San. Agrícola/Irrigação	148	2,20	168	4,13	13	2,94	2	1,00
Agropecuário*	43	7,22	129	7,61	16	4,20	2	1,10
Pecuária	11	2,18	36	3,03	1	1,00	1	0,50
Lazer *	6	5,10	38	11,51	1	9,90	1	3,00
Outros	2	5,10	17	10,35	1	4,00	1	5,00
Total/Média Geral	4	6,03	22	8,85	2	8,85		
	7	5,59	8	4,44	4	10,00		
	225	4,53	467	8,79	38	5,84	6	8,79

\*Média calculada a partir do Cadastro de Poços IG

No Cadastro de Outorga do DAEE não constam os tipos de uso *Lazer* e *Agropecuário*, tendo sido considerados, portanto, valores obtidos do Cadastro de Poços do IG.

Para o cálculo do volume anual extraído considerou-se o período de 10 horas/dia de bombeamento e de 30 dias/mês para todos os poços do Cadastro do IG sem estas informações. Estes valores foram obtidos através da média geral de todos os dados de poços em funcionamento.

Na Tabela 13 são apresentados os valores estimados de vazão explorada nos seis municípios estudados, considerando o uso para abastecimento público e os usos privados. É importante destacar a importância dos usos privados da água subterrânea nessa região que chegam a atingir cerca de 3 vezes o volume captado para fins de abastecimento público.

**TABELA 13 - Estimativa de vazões exploradas (m<sup>3</sup>/ano) para abastecimento público e uso privado nos municípios estudados**

USO DA ÁGUA	MUNICÍPIOS						VAZÃO TOTAL (m <sup>3</sup> /ano)	(%)
	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO		
<b>Público</b>	2.605.536,0	1.829.340,0	251.820,0	1.011.592,8	1.459.087,2		7.157.376,0	(24)
Nº de poços	34	5	7	24	18		88	
<b>Privado</b>	3.247.290,2	3.666.118,8	7.354.116,5	5.245.886,3	555.048,0	2.744.350,8	22.812.810,6	(76)
Nº de poços	119	113	404	173	19	129	957	
<b>Total</b>	<b>5.852.826,2</b>	<b>5.495.458,8</b>	<b>7.605.936,5</b>	<b>6.257.479,1</b>	<b>2.014.135,2</b>	<b>2.744.350,8</b>	<b>29.970.186,6</b>	<b>(100)</b>
Nº de poços	153	118	411	197	37	129	1045	

Pelas Tabelas 14 e 15 ressalta-se a importância do Aquífero Tubarão, especialmente nos municípios de Monte Mor, Capivari e Elias Fausto. A estimativa do volume explorado deste aquífero representa cerca de 79% da vazão explorada na região.

**TABELA 14 - Estimativa de vazões exploradas (m<sup>3</sup>/ano) por aquífero explorado nos 6 municípios.**

Aquífero	Municípios						Total (m <sup>3</sup> /ano)
	Capivari	Elias Fausto	Indaiatuba	Monte Mor	Rafard	Salto	
Cristalino			2.056.497,6	11520,0		552.139,2	<b>2.620.156,8</b> 8,7%
Tubarão	5.602.554,2	5.419.786,8	3.502.931,8	5.787.031,1	1.813.975,2	1.568.030,4	<b>23.694.309,5</b> 79,1%
Tubarão/ Cristalino			1.410.653,5	36.000,0		583.501,2	<b>2.030.154,7</b> 6,8%
Tubarão/ Diabásio	196.200,0	61.272,0	38.880,0	48.816,0	200.160,0		<b>545.328,0</b> 1,8%
Sem Informação	54.072,0	14.400,0	596.973,6	374.112,0		40.680,0	<b>1.080.237,6</b> 3,6%
<b>Total</b>	<b>5.852.826,2</b>	<b>5.495.458,8</b>	<b>7.605.936,5</b>	<b>6.257.479,1</b>	<b>2.014.135,2</b>	<b>2.744.350,8</b>	<b>29.970.186,6</b> 100,0%

Na Tabela 15 novamente se destacam as vazões exploradas para uso privado (cerca de 76%), o que demonstra a importância do recurso hídrico subterrâneo para o desenvolvimento da região.

**TABELA 15 - Estimativa de vazões explotadas (m<sup>3</sup>/ano) para abastecimento público e uso privado por aquífero.**

USO DA ÁGUA	AQUÍFERO					TOTAL (m <sup>3</sup> /ano)
	TUBARÃO	CRISTALINO	TUBARÃO/CRISTALINO	TUBARÃO/DIABÁSIO	SEM INFORMAÇÃO	
Público	6.840.180,0 (28,8%)	116.640,0 (4,5%)	91.980,0 (4,5%)	99.360,0 (18,2%)	9.216,0 (0,9%)	<b>7.157.376,0</b> (23,9%)
Privado	16.872.129,5 (71,2%)	2.503.516,8 (95,5%)	1.938.174,7 (95,5%)	445.968,0 (81,8%)	1.053.021,6 (99,1%)	<b>22.812.810,6</b> (76,1%)
<b>Total</b>	<b>23.712.309,5</b> (100,0%)	<b>2.620.156,8</b> (100,0%)	<b>2.030.154,7</b> (100,0%)	<b>545.328,0</b> (100,0%)	<b>1.062.237,6</b> (100,0%)	<b>29.970.186,6</b> (100,0%)

Dentre as finalidades de uso privado tem-se destaque o uso sanitário, seja na indústria, residência ou propriedades rurais, seguido do uso em processo industrial e agropecuário (Tabela 16).

**TABELA 16 - Estimativa de vazões explotadas (m<sup>3</sup>/ano) por finalidade de uso da água**

FINALIDADE DE USO	POÇOS COM INFORMAÇÃO DE VAZÃO	SOMA DA VAZÃO EXPLOTADA (m <sup>3</sup> /ano)	%
Abastecimento público	88	7.157.376,0	23,9
Saneamento	563	10.710.779,5	35,7
Industrial /saneamento	196	5.626.900,7	18,8
Agrícola	37	909.576,0	3,0
Agropecuária	36	1.123.092,0	3,7
Pecuária	73	2.586.108,0	8,6
Lazer	29	1.183.723,2	3,9
Outros	23	672.631,2	2,2
<b>Total</b>	<b>1045</b>	<b>29.970.186,6</b>	<b>100</b>

## 6.2. Geometria dos Aquíferos

Para a caracterização da geometria dos aquíferos foram elaborados/utilizados os seguintes produtos:

- . perfis geológicos (litoestratigráficos);
- . mapa do contorno estrutural do topo do Embasamento Cristalino;
- . mapa geológico da área de estudo.

Foram confeccionados 7 perfis litoestratigráficos de direção E-W ao longo das coordenadas UTM 7465, 7460, 7455, 7450, 7445, 7440, 7435 km N (latitudes) (Figuras 9 a 13; Anexo 2).



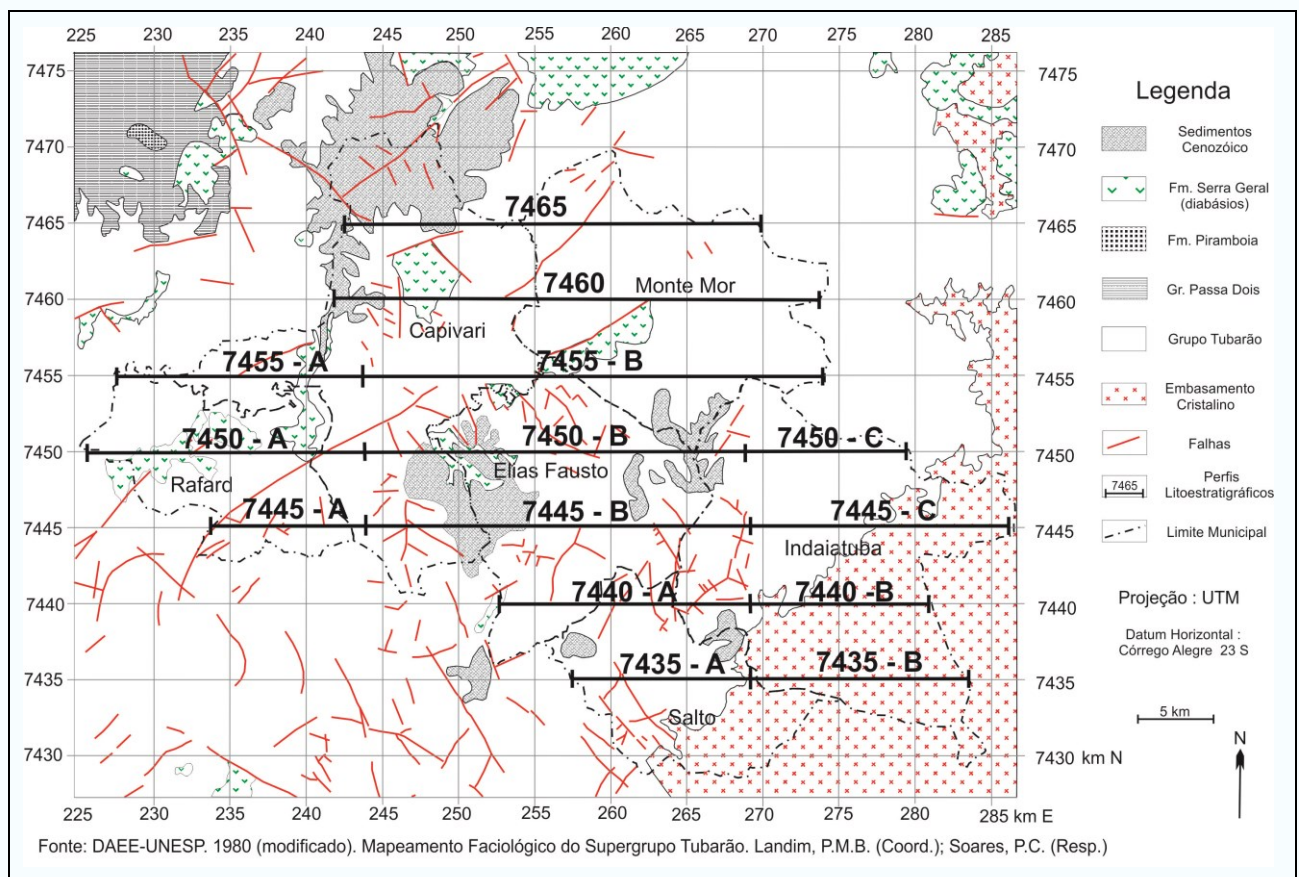
A confecção destes perfis objetivou, fundamentalmente, o fornecimento de uma visão espacial (tridimensional) dos corpos litológicos dos sistemas aquíferos da área de estudo; servindo também para subsidiar estudos de caráter estratigráfico e no auxílio à perfuração de novos poços.

Neste trabalho, considerou-se o Subgrupo Itararé como uma unidade geológica indivisa, uma vez que o Mapeamento Faciológico do Grupo Tubarão, realizado por DAEE-UNESP (1980) não abrangeu as folhas de Indaiatuba e Campinas (em escala 1: 50.000).

As rochas do Embasamento Cristalino, predominantemente graníticas em Salto e gnáissicas em Indaiatuba, foram referidas nos perfis como Cristalino, portanto associadas ao Aquífero Cristalino.

As rochas sedimentares do Grupo Tubarão, predominantemente do Subgrupo Itararé na área estudada, foram agrupadas em três grupos principais de litologia: arenitos (de granulometria e textura variadas); siltitos e ritmitos; e argilitos e folhelhos.

O topo do Embasamento Cristalino pode ser observado somente na região de Indaiatuba e Salto, na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná. O limite superior deste embasamento e o mergulho em direção a oeste foram inferidos, uma vez que os poços não atingem grandes profundidades, não ultrapassando 250-300 metros.



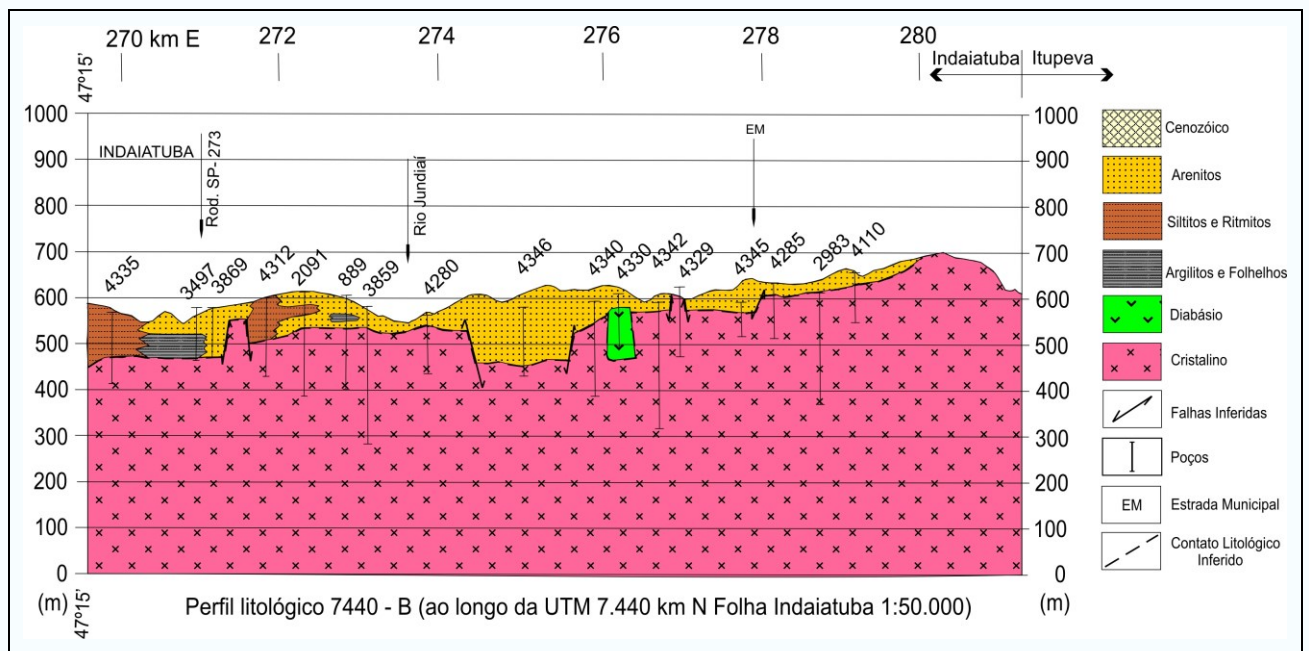
**FIGURA 9 - Localização dos perfis geológicos (litoestratigráficos).**

Nos perfis ao longo das UTM's 7450, 7445, 7440 e 7435 (km N) são constatadas algumas

irregularidades na superfície do Embasamento, ora com ressaltos topográficos (altos), ora com partes mais rebaixadas, possivelmente, associados a falhas normais. Pode-se considerar, também, a influência de fatores glaciais, ou seja, do avanço da geleira que pode ter erodido o Embasamento, ocasionando depressões e irregularidades no relevo, e que, posteriormente, foram preenchidas por sedimentos (Salveti, 2004).

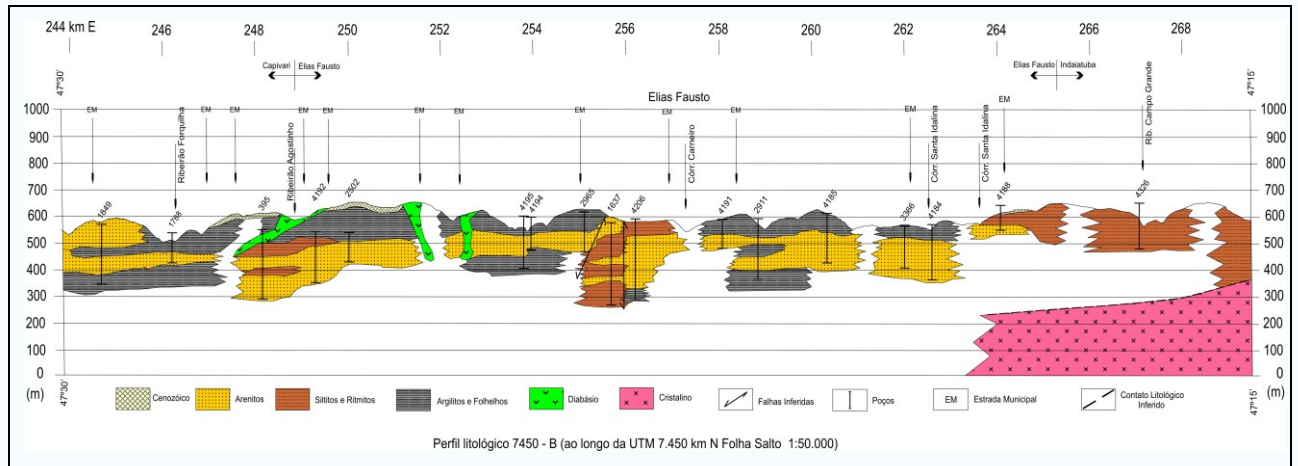
Na porção leste destes quatro perfis, os sedimentos do Subgrupo Itararé sobrepostos ao Embasamento apresentam pequena espessura (0 a ±150 metros) (Figura 10), configurando, portanto, um aquífero de menor capacidade produtiva. Os poços são mistos, atravessando os Aquíferos Tubarão e Cristalino, ou exploram somente o Aquífero Cristalino.

O Subgrupo Itararé constitui-se de litotipos bastante variáveis, representados por intercalações e associações de arenitos, siltitos e ritmitos, folhelhos e argilitos, com interdigitação faciológica, dispostos de forma descontínua, tanto horizontal como verticalmente.



**FIGURA 10 - Perfil geológico 7440-B, trecho ao longo da UTM 7440 (Anexo 2).**

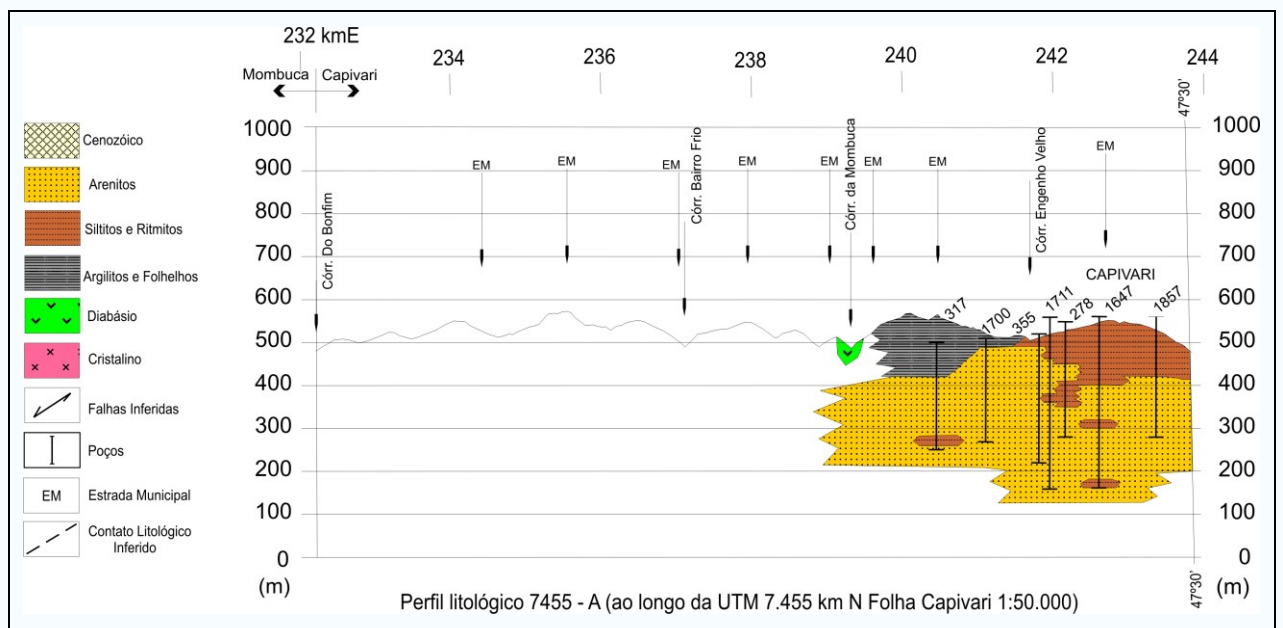
Esta variação está representada nos perfis litológicos (Anexo 2), como por exemplo, nos Perfis 7450-B (Figura 11) e 7455-A (Figura 12). Apesar das lacunas de informação em alguns trechos destes perfis, a variação litológica pode ser observada até mesmo ao longo de um perfil de poço.



**FIGURA 11 - Perfil geológico 7450-B, trecho ao longo da UTM 7450 (Anexo 2) em Elias Fausto.**

O pacote sedimentar configura-se como um aquífero heterogêneo, tanto litologicamente como em termos de circulação e de produção de água. Em geral, os poços do Aquífero Tubarão apresentam baixa vazão de exploração. Ocorrem, entretanto, alguns locais de boa vazão, como em Elias Fausto (Figura 11), Capivari (Figura 12) e Monte Mor (Figura 13).

Em Capivari, entre as coordenadas UTM 240 e 246 (km E) da Figura 12, observa-se a presença de poços profundos (até 350 metros) com grande porcentagem de areia.



**FIGURA 12 - Perfil geológico 7455-A, trecho ao longo da UTM 7455 (Anexo 2) em Capivari.**

Em Monte Mor ocorre uma porção arenosa entre as coordenadas UTM 263 a 270 (km E), possivelmente semi-confinada na porção superior por sedimentos finos e pelo Embasamento Cristalino na porção inferior (Figura 13). Nesta área, ocorrem poços com nível d'água bastante elevados, sendo que um deles era jorrante no início da sua utilização (Poço nº 4172.)

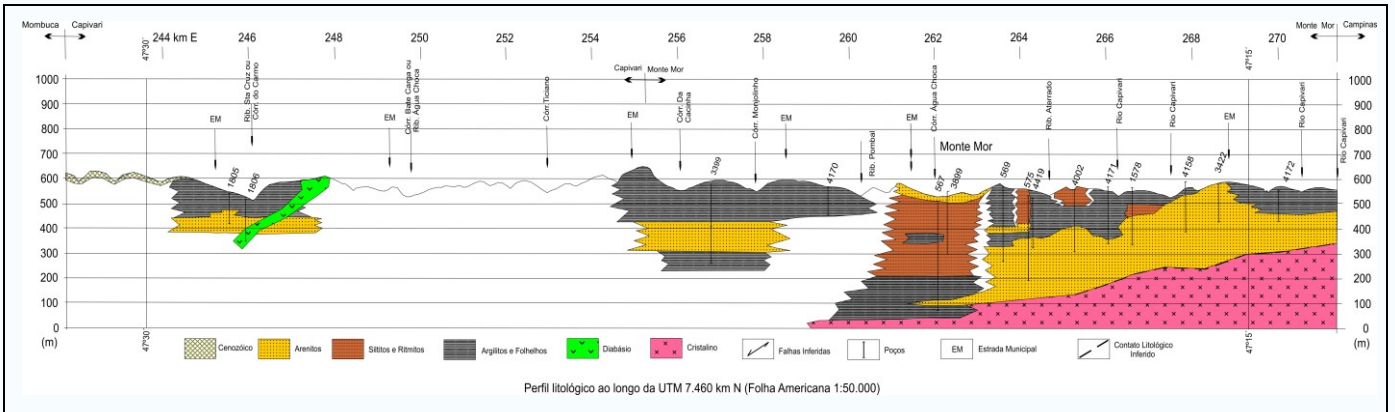


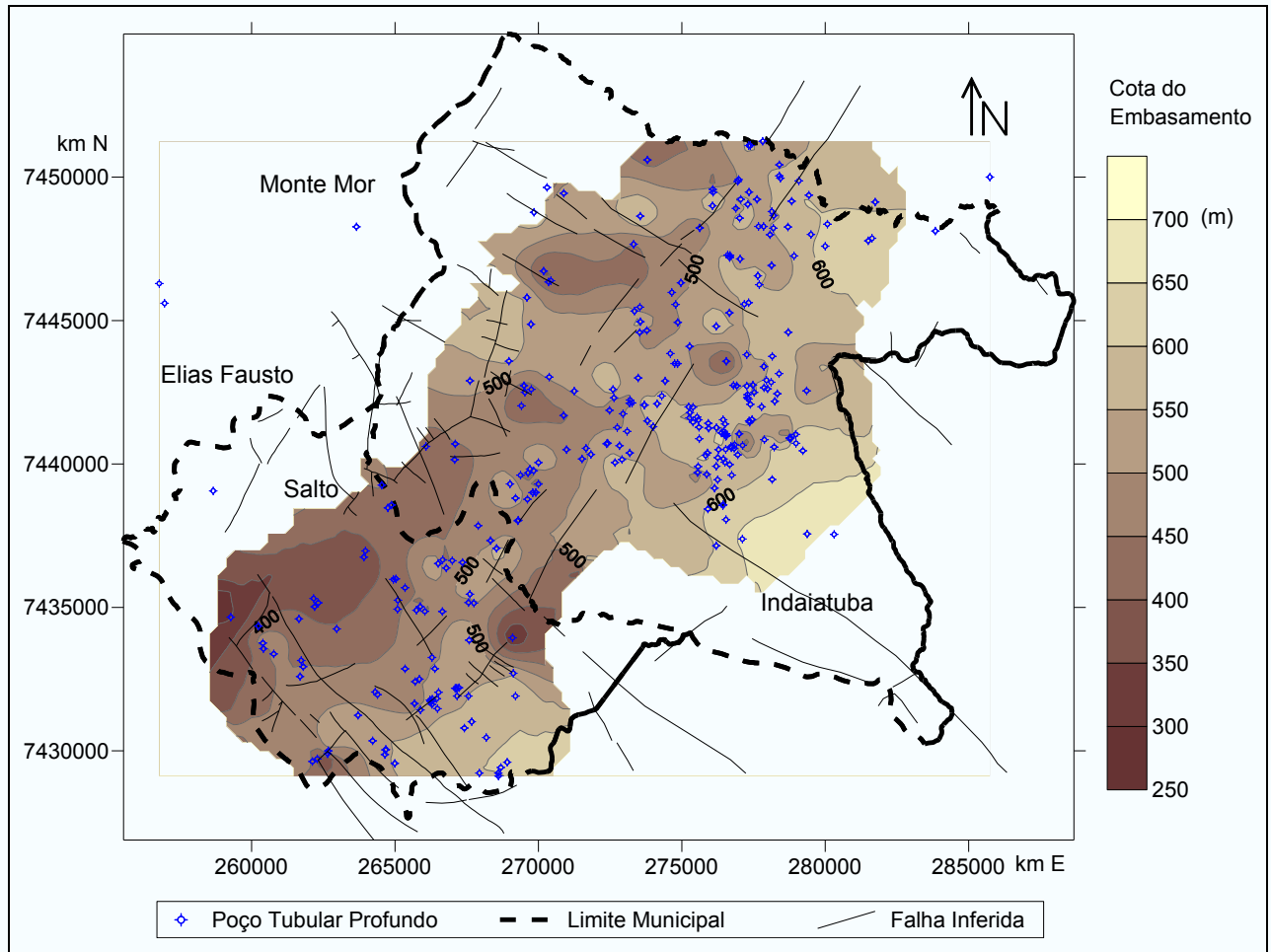
FIGURA 13 - Perfil geológico 7460, trecho ao longo da UTM 7460 (Anexo 2) em Monte Mor.

### 6.2.1. Contorno Estrutural do Topo do Embasamento Cristalino

O mapa de contorno estrutural do topo do Embasamento Cristalino foi elaborado utilizando-se o programa *SURFER 8.0 (Golden Software)*, a partir da interpolação de dados de 199 poços tubulares do Cadastro do IG, pelo método de krigagem (Figura 14).

A maior parte dos dados disponíveis corresponde a poços situados nos municípios de Indaiatuba e Salto, portanto restritos à borda da Bacia do Paraná. Os poços que atingem o Embasamento Cristalino não ultrapassam 300 m de profundidade e estão situados ao longo de uma faixa de cerca de 10 km de largura em relação à borda leste da bacia onde granitos e gnaisses estão aflorantes.





**FIGURA 14 - Mapa de contorno do topo do Embasamento Cristalino com base em informações de poços tubulares.**

Constata-se a partir da análise da Figura 14 um desnível progressivo do topo do Embasamento Cristalino em direção a noroeste, da cota 700 m até a cota 400 m.

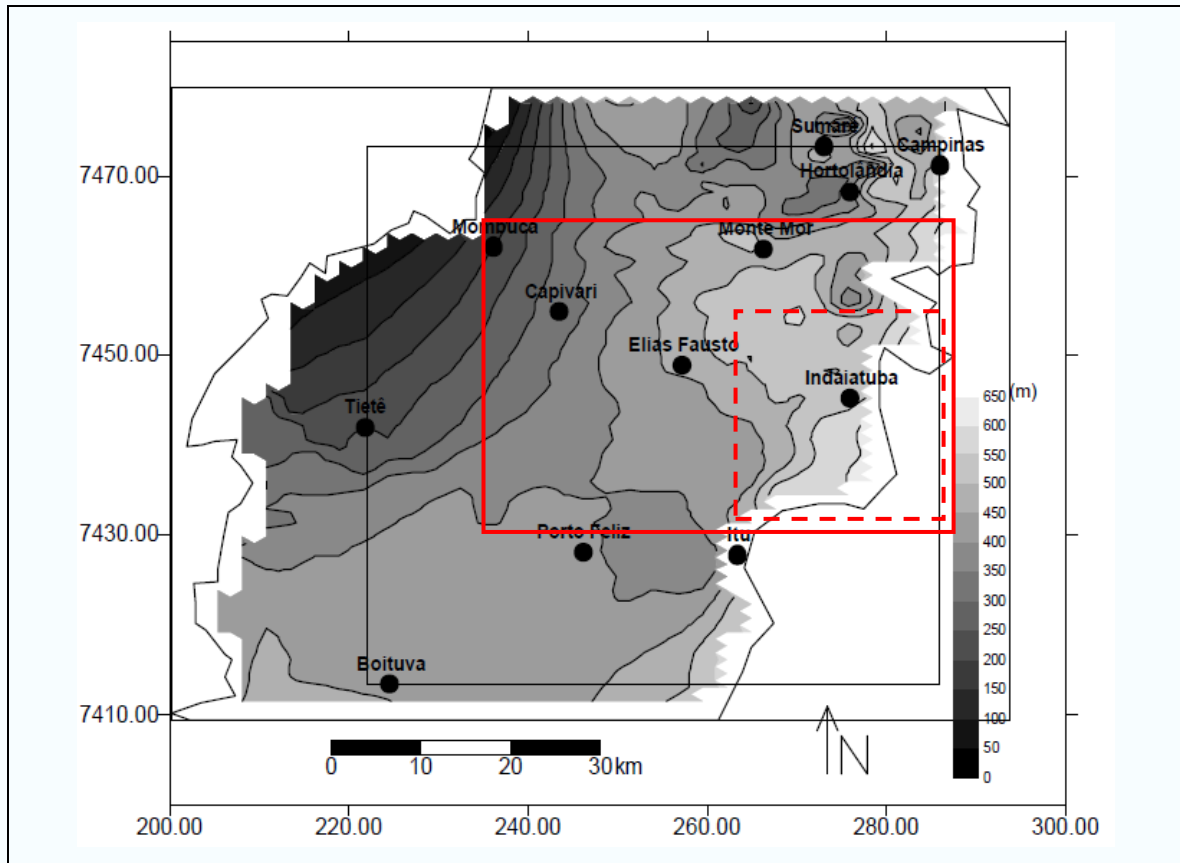
Desníveis mais acentuados ocorrem localmente e podem ser observados em Salto, em sua porção leste, próxima ao limite com Indaiatuba, e a oeste. Correspondem a áreas topograficamente mais baixas, podendo estar associadas a falhas de direção NE e NW.

Foram delineadas na Figura 6.6 as falhas inferidas obtidas dos trabalhos de DAEE/UNESP (1980) e Neves (2005), para averiguar correlações com as quebras no relevo do Embasamento Cristalino.

Constata-se em Indaiatuba, possível condicionamento das quebras de relevo nas direções NE e NW, nas porções norte e central.

Os municípios estudados neste Projeto, contidos em um retângulo em vermelho na Figura 15, estão inseridos em uma região de maior abrangência investigada por Vidal (2002). O retângulo tracejado indica a área dos municípios de Indaiatuba e Salto analisados na Figura 14.

No trabalho de Vidal (2002) foi elaborado um mapa de altitude do topo do Embasamento Cristalino, utilizando-se dados de poços tubulares e sondagens elétricas verticais que permitiu a caracterização a grandes profundidades.



**FIGURA 15 - Contorno da altitude do Embasamento Cristalino extraído de Vidal (2002).**

Observa-se que há uma concordância com as cotas do embasamento cristalino estimadas neste projeto (Figura 14), em torno de 500 metros na região de Indaiatuba e porções mais baixas na porção oeste de Salto.

No mapa de Vidal (2002) (Figura 15) constatou-se uma quebra de relevo entre os municípios de Capivari e Elias Fausto, associada a falhas normais de direção N-S paralelas à borda da bacia. Outra zona de falha de direção EW foi identificada entre Tietê e Indaiatuba. Segundo o autor, essas características seriam responsáveis pelas maiores espessuras de arenitos observadas nessas regiões.

### 6.3. Produtividade

A produtividade dos aquíferos foi avaliada a partir dos dados de poços tubulares profundos, com os quais foram calculados os seguintes parâmetros hidrodinâmicos: rebaixamento ( $s$ ), capacidade específica ( $Q/s$ ), espessura saturada do aquífero ( $b$ ), nível dinâmico, etc.

A análise da produtividade também envolveu a correlação entre a capacidade específica, e a porcentagem-espessura de areia observada nas seções dos poços, além dos perfis litológicos leste-oeste confeccionados na área de estudo (**Anexo 2**).

Foram determinadas a condutividade hidráulica (K) e a transmissividade (T) a partir de testes de vazão, obtidos no cadastramento de poços da região.

### 6.3.1. Vazão

A faixa de vazão dos poços na área é muito variável, com valores médios superiores aos de mediana (Tabela 17). Os valores de vazão em Capivari, Elias Fausto, Monte Mor e Rafard demonstram-se superiores, indicativos de que o Aquífero Tubarão, dominante nestes municípios, apresenta maior produtividade.

**TABELA 17 - Vazão dos poços por município.**

VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	MUNICÍPIOS					
	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO
Mínimo	0.50	0.80	0.00	0.04	0.10	0.00
Máximo	80.00	156.20	41.68	48.00	50.04	26.00
<b>Média</b>	<b>11.8</b>	<b>16.2</b>	<b>5.5</b>	<b>10.1</b>	<b>10.8</b>	<b>5.2</b>
Desvio Padrão	10.6	21.4	6.5	9.0	10.4	5.3
<b>Mediana</b>	<b>9.00</b>	<b>10.00</b>	<b>3.50</b>	<b>7.00</b>	<b>7.77</b>	<b>3.43</b>
Nº de Poços	171	101	389	164	44	143

Os dez poços com maior vazão foram perfurados no Aquífero Tubarão e suas vazões variam de 46,6 a 156,20 m<sup>3</sup>/h. Seis destes poços pertencem à SABESP de Elias Fausto, dois ao SAAE de Capivari, um à Prefeitura de Rafard e um à SABESP de Monte Mor.

O poço com maior vazão foi perfurado em Elias Fausto (156,20 m<sup>3</sup>/h) e o segundo em termos de vazão foi perfurado em Capivari (80,00 m<sup>3</sup>/h).

Na Figura 16 observa-se a distribuição dos poços com dados de vazão explorada. Os poços de maior vazão (acima de 50 m<sup>3</sup>/h) foram destacados em azul escuro e ocorrem nos municípios de Capivari e Elias Fausto.

Constata-se uma distribuição espacial irregular, com alguns aglomerados de pontos, como por exemplo, nas áreas urbanas ou ao longo de rodovias, e muitas áreas sem poços.

Na Tabela 18 são apresentados valores médios e medianos das vazões de poços por aquífero explorado. Tem destaque o Aquífero Tubarão com vazão mediana de 7,20 m<sup>3</sup>/h, em relação ao Cristalino e ao sistema misto (Tubarão/Cristalino), com vazões em torno de 3,0 m<sup>3</sup>/h.

TABELA 18 - Vazão dos poços por aquífero.

VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	AQUÍFEROS			
	CRISTALINO	TUBARÃO	TUB. / CRIS.	TUB. / DIAB.
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,10
Máximo	36,00	156,20	41,68	40,00
<b>Média</b>	<b>4,79</b>	<b>10,58</b>	<b>4,96</b>	<b>10,37</b>
Desvio Padrão	5,46	12,24	6,39	10,94
<b>Mediana</b>	<b>3,07</b>	<b>7,20</b>	<b>3,07</b>	<b>7,05</b>
Nº de Poços	180	632	124	16

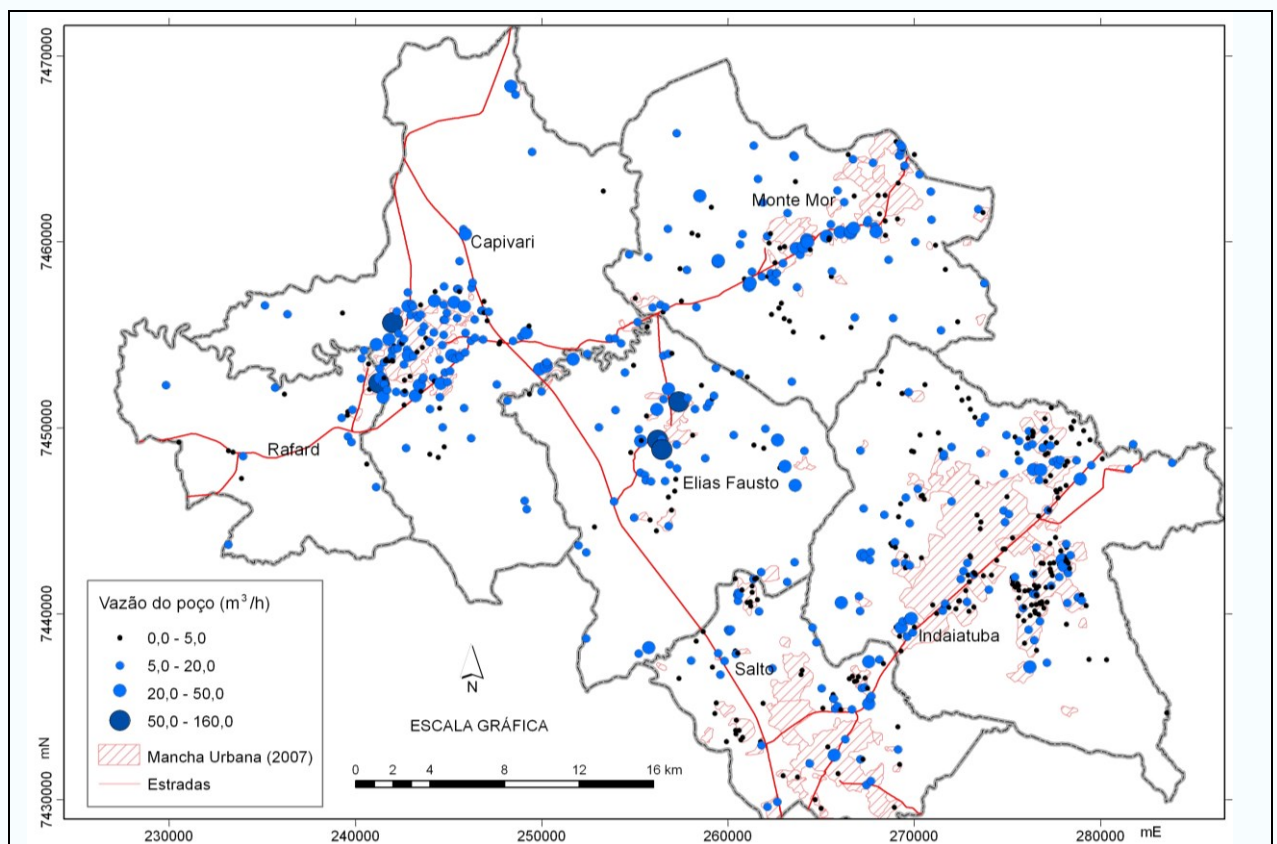


FIGURA 16 - Mapa dos poços classificados por vazão.

### 6.3.2. Capacidade Específica

Os maiores valores de capacidade específica mediana ocorrem em Elias Fausto, seguidos de Rafard, Capivari e Monte Mor, onde devem ocorrer níveis arenosos do Grupo Tubarão mais favoráveis ao armazenamento e transmissão de água (Tabela 19). Como era de se esperar, Indaiatuba e Salto apresentam valores inferiores por se encontram em terrenos com menor espessura de sedimentos.



**TABELA 19 - Capacidade específica dos poços por município.**

CAPACIDADE ESPECÍFICA (m <sup>3</sup> /h/m)	MUNICÍPIOS					
	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO
Mínimo	0.010	0.030	0.000	0.009	0.003	0.000
Máximo	2.018	8.163	7.563	1.748	1.147	2.404
<b>Média</b>	<b>0.265</b>	<b>0.670</b>	<b>0.171</b>	<b>0.253</b>	<b>0.296</b>	<b>0.186</b>
Desvio Padrão	0.335	1.147	0.488	0.309	0.330	0.372
<b>Mediana</b>	<b>0.145</b>	<b>0.285</b>	<b>0.055</b>	<b>0.152</b>	<b>0.160</b>	<b>0.065</b>
<b>Moda</b>	<b>0.100</b>	<b>0.200</b>	<b>0.040</b>	<b>0.100</b>	-	<b>0.016</b>
N° de Poços	150	75	337	114	38	111

Devido à presença de alguns poços anômalos em termos de capacidade específica (Q/s), os valores médios elevam-se mascarando a realidade. Dessa forma, a mediana e a moda representam melhor a produtividade dos poços (Tabelas 19 e 20). A moda de Q/s (0,1 m<sup>3</sup>/h/m) obtida para o Aquífero Tubarão na área de estudo é compatível com os valores medianos regionais no Estado de São Paulo.

O Sistema Aquífero Tubarão apresenta os maiores valores de capacidade específica na região (Tabela 20). Esta produtividade diminui consideravelmente nos casos de poços mistos, nas áreas de contato entre os sedimentos do Grupo Tubarão e o Embasamento Cristalino.

**TABELA 20 - Capacidade específica dos poços por aquífero.**

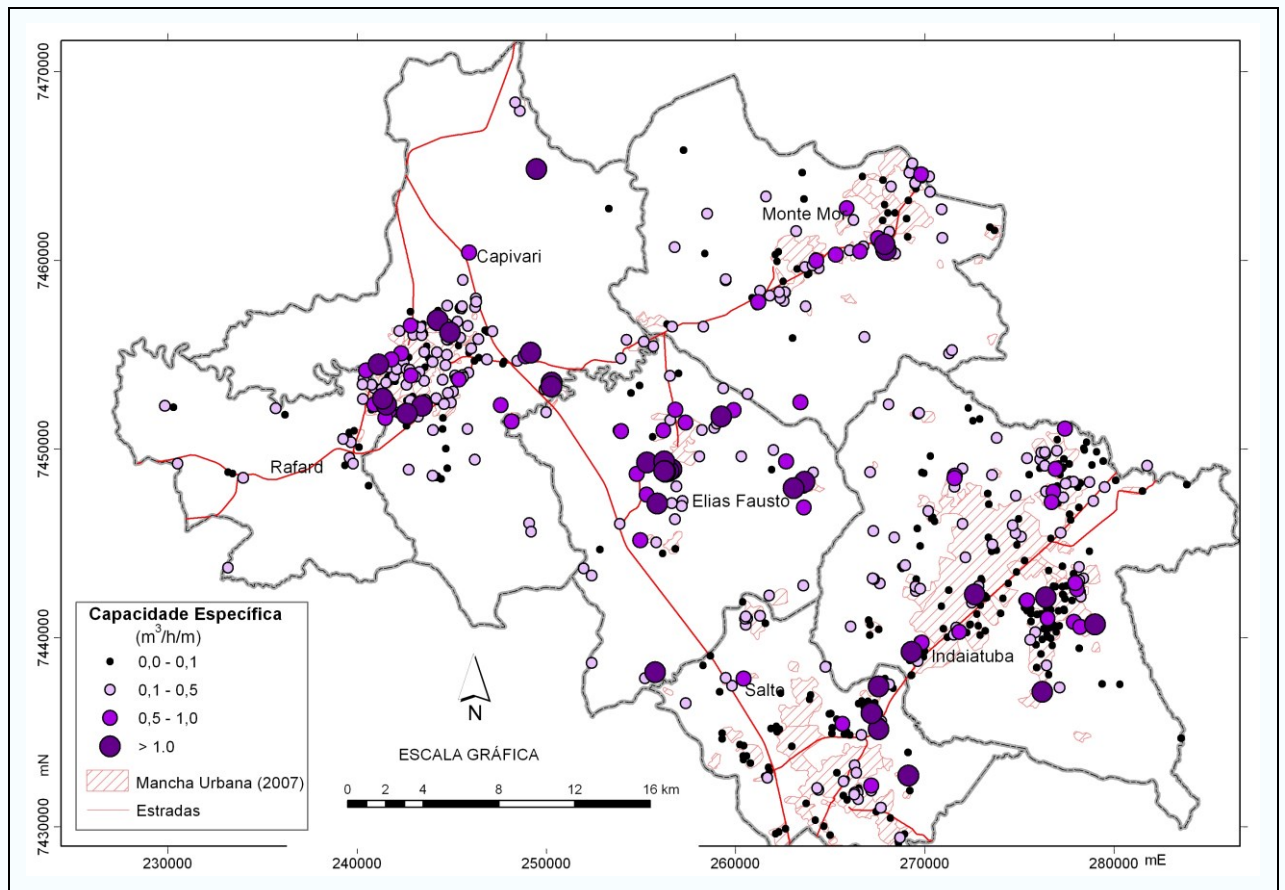
CAPACIDADE ESPECÍFICA (m <sup>3</sup> /h/m)	AQUÍFERO EXPLOTADO				
	CRISTALINO	TUBARÃO	TUBARÃO/CRISTALINO	TUBARÃO/DIABÁSIO	SEM INFORMAÇÃO
Mínimo	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000
Máximo	2,938	8,163	0,816	0,667	1,691
<b>Média</b>	<b>0,157</b>	<b>0,329</b>	<b>0,083</b>	<b>0,225</b>	<b>0,166</b>
Desvio Padrão	0,320	0,649	0,124	0,200	0,334
<b>Mediana</b>	<b>0,047</b>	<b>0,147</b>	<b>0,042</b>	<b>0,218</b>	<b>0,031</b>
<b>Moda</b>	<b>0,005</b>	<b>0,100</b>	<b>0,067</b>	-	-
N° de Poços	163	501	111	13	37

A Tabela 21 indica a relação entre a produtividade dos aquíferos e as feições geomorfológicas. Nos três sistemas aquíferos os maiores valores de capacidade específica ocorrem em poços situados em vale, seguidos de vertente e topo, respectivamente.

**TABELA 21 - Capacidade específica média ( $m^3/h/m$ ) por aquífero e por feição geomorfológica.**

AQUÍFERO	FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS		
	TOPO	VALE	VERTENTE
Cristalino	0,126	0,184	0,181
Tubarão	0,307	0,416	0,310
Misto	0,073	0,109	0,087

Para avaliação da produtividade dos aquíferos da região de estudo foram confeccionados mapas de capacidade específica ( $Q/s$ ) com representação pontual e por isolinhas, respectivamente nas Figuras 17 e 18. Para a elaboração destes mapas, foram considerados como valores anômalos de  $Q/s$ , aqueles acima de  $1,0 m^3/h/m$ , ou seja, muito produtivos.



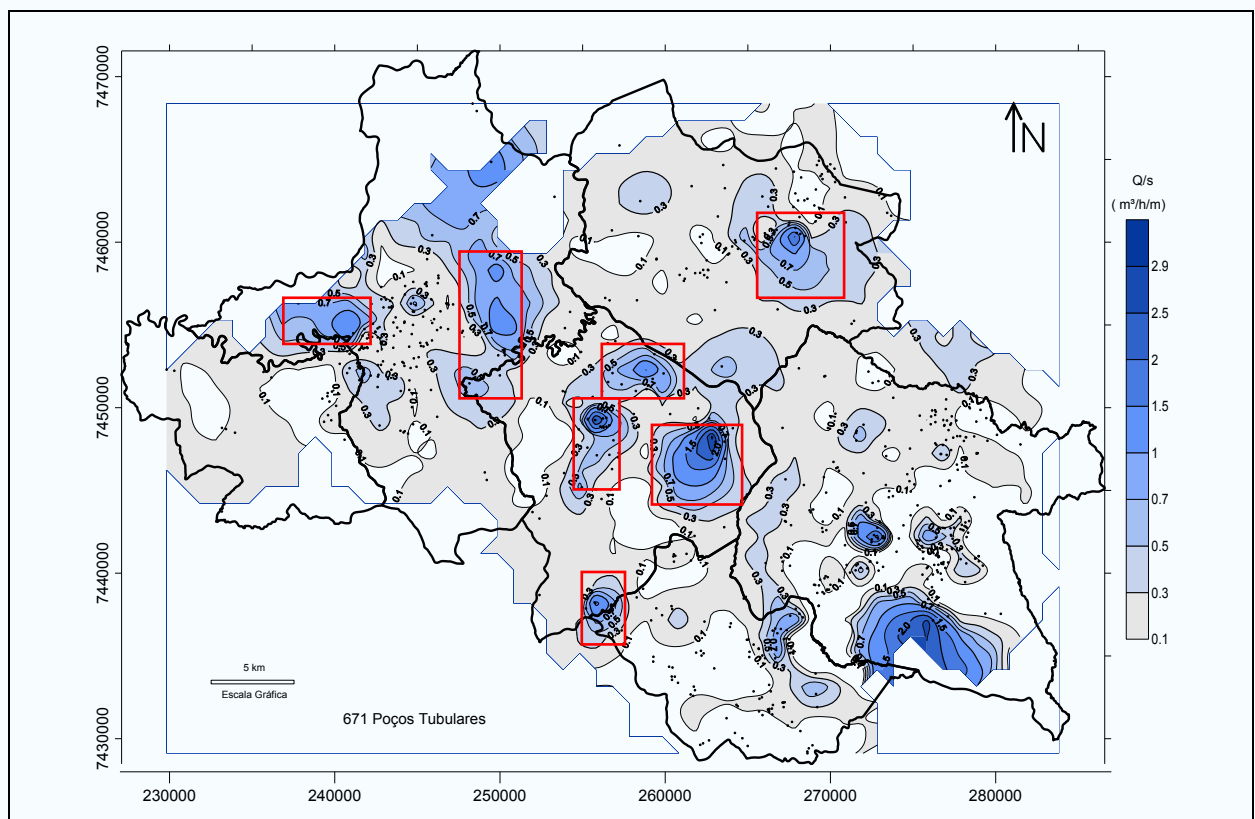
**FIGURA 17 - Mapa de poços classificados por capacidade específica.**

Na Figura 17 é apresentada a distribuição dos poços por faixa de capacidade específica. Nele destacam-se os poços com valores anômalos, que correspondem a 36 poços com variação de  $1,03$  a  $8,16 m^3/h/m$ . Dentre estes:

- 16 poços apresentam Q/s entre 1,01 e 1,50 m<sup>3</sup>/h/m;
- 10 poços apresentam Q/s entre 1,51 e 2,0 m<sup>3</sup>/h/m;
- 7 poços apresentam Q/s entre 2,01 e 4,0 m<sup>3</sup>/h/m;
- 3 poços apresentam Q/s acima de 4,01 m<sup>3</sup>/h/m.

Como exemplos podem ser citados os poços: nº 2938 (com 8,16 m<sup>3</sup>/h/m), nº 3826 (7,56 m<sup>3</sup>/h/m) e nº 3883 (4,32 m<sup>3</sup>/h/m) com valores excepcionais; além de outros também elevados, como o nº 1872 (2,93 m<sup>3</sup>/h/m) e nº 2942 (2,82 m<sup>3</sup>/h/m).

Os mapas de isovalores de capacidade específica, de porcentagem de areia e de espessura de arenito foram elaborados com o programa *Surfer 8.0* utilizando-se o método de Krigagem e raio de busca de 4500 m (Figuras 18; 19; e 20).



**FIGURA 18 - Mapa de capacidade específica.**

Algumas áreas demarcadas com retângulos em vermelho (na Figura 18) e retângulos em verde (na Figura 19), respectivamente, representam zonas com capacidade específica e porcentagem de areia elevadas.

Constata-se que nestas áreas há alguma correlação entre produtividade e presença de camadas ou pacotes arenosos.

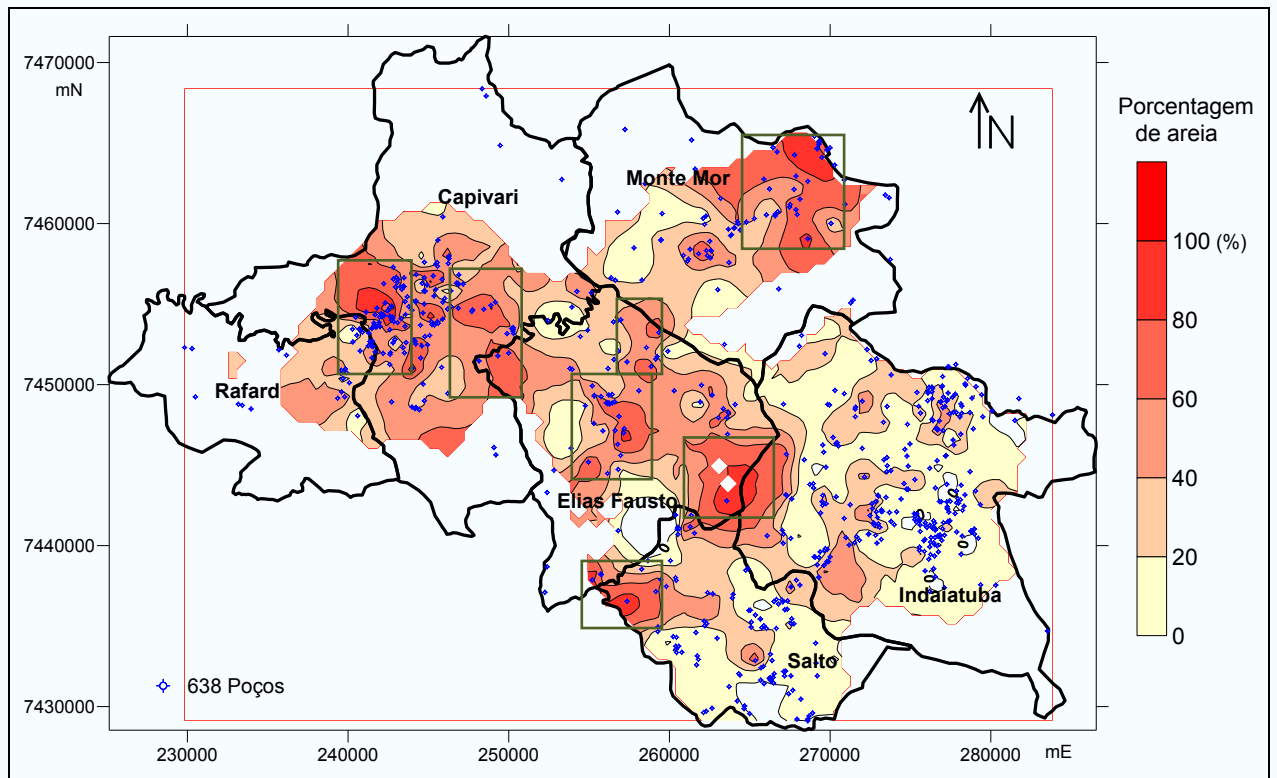
Pode ser destacada uma área mais arenosa na porção nordeste de Monte Mor, ao longo da linha de coordenada UTM 7460 km (Anexo 2). Conforme perfil geológico apresentado na Figura 13 nesta área ocorre um pacote arenoso semi-confinado que favorece a produtividade dos

poços.

Em Capivari destacam-se duas áreas situadas na coordenada UTM 7455 km: uma na porção oeste; e outra a leste (próximo ao limite de Capivari com Elias Fausto). Nestas áreas constata-se também grandes porcentagens de areia (perfil litológico da Figura 12 e **Anexo 2**).

Em Elias Fausto o perfil litológico ao longo da coordenada UTM 7450 km (Figura 11) também demonstra a presença de camadas arenosas correspondentes às porções oeste e leste do município.

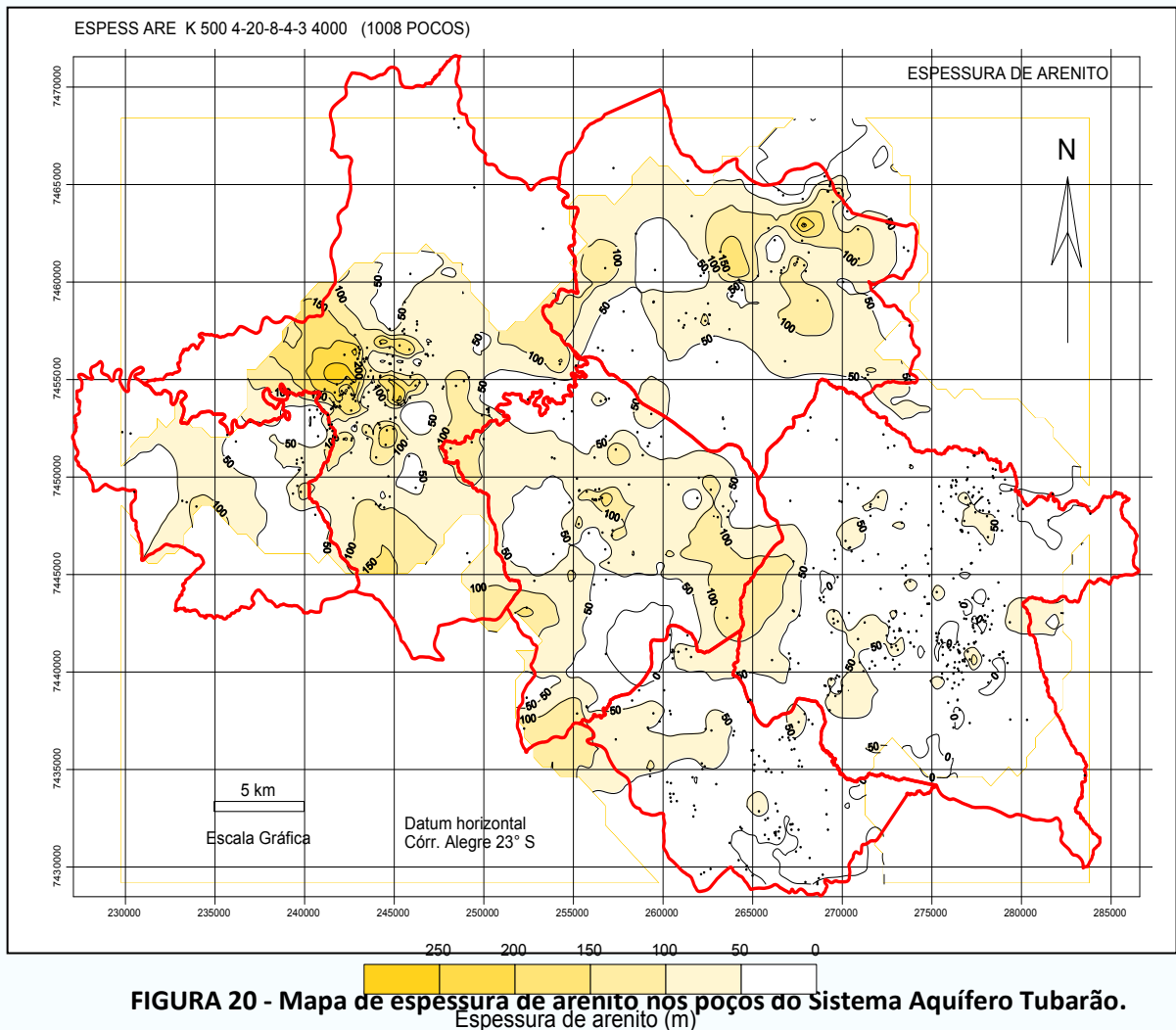
Uma pequena área no extremo noroeste de Salto também apresentou alguma correlação.



**FIGURA 19 - Mapa de porcentagem de arenito nos poços do Sistema Aquífero Tubarão.**

### 6.3.3. Mapa de produtividade similar

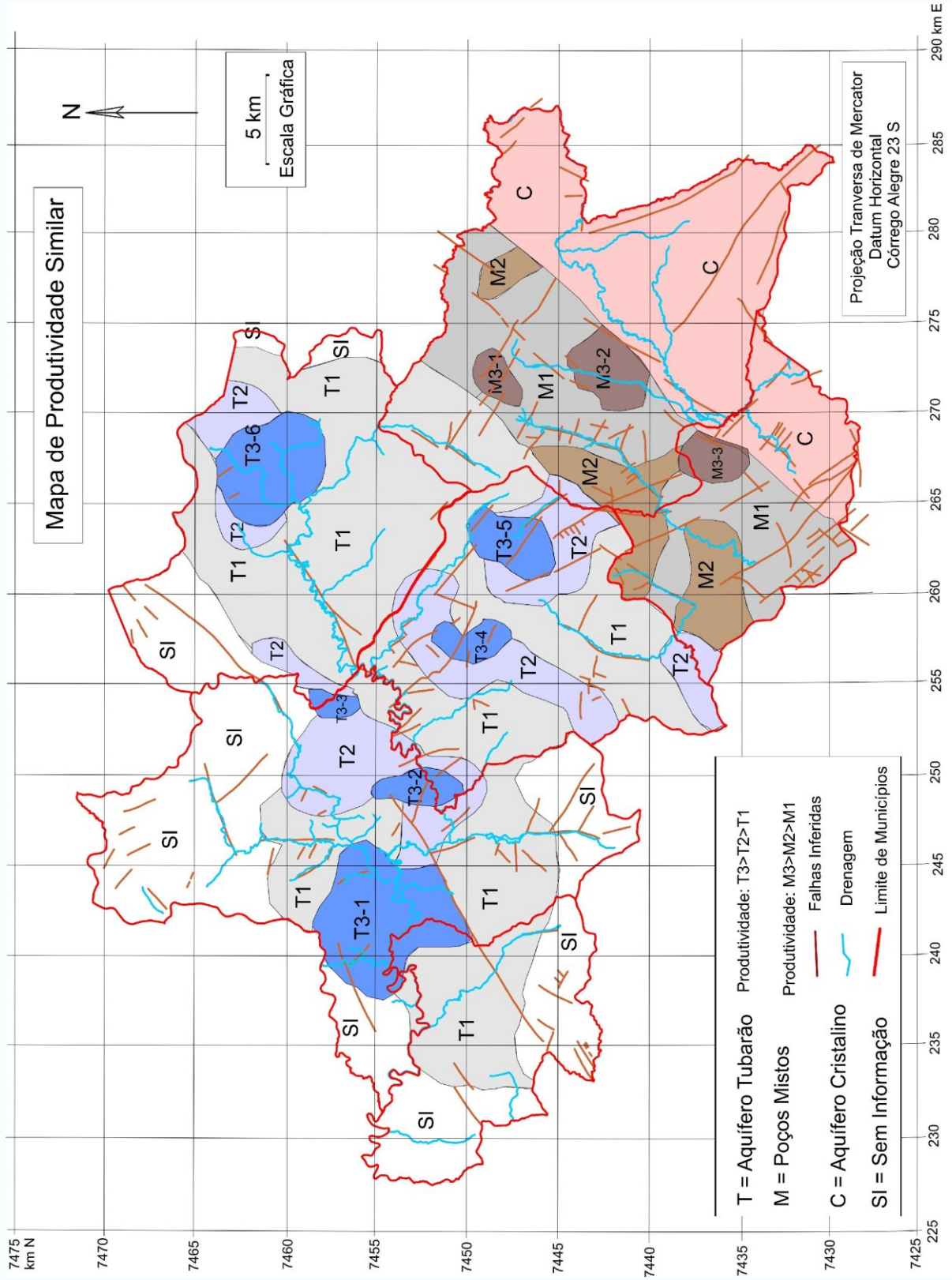
A confecção do mapa de produtividade similar (Figura 21) fundamentou-se no cruzamento de três mapas principais: capacidade específica (Q/s) (Figura 18), espessura de arenito (Figura 20) e geológico (Figura 3). Outros dados como perfis geológicos (litoestratigráficos) (Anexo 2), mapa de vazão (Figura 6.8) e porcentagem de arenito (Figura 19) foram também utilizados na análise da produtividade similar.



Inicialmente, em função do mapa geológico e da distribuição dos poços, a área de estudo foi dividida em três regiões correspondentes aos principais aquíferos presentes na área e considerando a forma de exploração: Tubarão – sedimentos do Grupo Tubarão; Cristalino – granitos e gnaisses; e Poços Mistos – poços que exploram conjuntamente os aquíferos Tubarão e Cristalino.

No Aquífero Tubarão, a partir do mapa de capacidade específica ( $Q/s$ ) e considerando a distribuição dos poços que exploram apenas esta unidade, foram separadas as áreas mais e menos produtivas utilizando-se o limite de capacidade específica de  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . As áreas mais produtivas e com maior concentração de poços, foram demarcadas recebendo um peso maior, e o restante da área um peso menor. Por outro lado, a partir do mapa de espessura de arenito, a mesma área do aquífero Tubarão foi compartimentada em duas classes (áreas): espessura maior que 100 m e menor que 100 m. As regiões com ausência de poços foram classificadas como sem informação (SI).





O cruzamento entre as áreas mais produtivas (acima de  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ) com as áreas mais arenosas (espessura de arenito maior que 100 m), resultou em 6 subáreas principais de produtividade similar denominadas de T3. O cruzamento das áreas menos produtivas ( $Q/s < 0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ) com áreas mais arenosas (espessura maior que 100 m) resultou em sete subáreas denominadas de T2. O restante da área do aquífero Tubarão foi classificada com T1. Nestas áreas T1 as capacidades específicas são inferiores a  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  e as espessuras dos arenitos são inferiores a 100 m.

Para a região dos poços mistos foi utilizado o mesmo procedimento aplicado ao Aquífero Tubarão, isto é, procurando-se associar a maior produtividade com a maior espessura de arenito. Este procedimento resultou nas seguintes zonas: M3, M2 e M1.

Para a região do Aquífero Cristalino (C) os poucos poços produtivos presentes nesta unidade não permitiram a sua subdivisão.

#### - Características gerais das Zonas de Produtividade Similar

**Zona T3** - São porções reduzidas do aquífero Tubarão com  $Q/s$  acima de  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , com mais de 100 m de espessura de arenito e com maior quantidade de poços representativos;

**Zona T2** – Também são áreas reduzidas com  $Q/s$  inferior a  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , porém com espessura de arenito superior a 100 m. São áreas praticamente anexas às zonas T3 e representam uma continuidade gradual das zonas T3;

**Zona T1** – São áreas extensas com capacidade específica inferior a  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  e com espessura de arenito inferior a 100 m.

Através dos perfis litoestratigráficos, nota-se que as zonas mais produtivas T3 e T2 localizam-se sobre grandes massas de arenito. As zonas T1, menos produtivas, localizam-se sobre porções com menor quantidade de arenito e com intercalações de grandes corpos de sedimentos mais finos como siltitos, siltitos ritmicos, argilitos e folhelhos;

**Zona M3** – São áreas reduzidas de poços mistos, com grande produtividade ( $Q/s$  maior que  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ), com espessura de arenito superior a 40 m (entre 40 a 100 m) e com maior quantidade de poços representativos;

**Zona M2** – São áreas de poços mistos com menor produtividade ( $Q/s$  inferior a  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ), porém com espessura de arenito maior que 40 m;

**Zona M1** – São áreas com menor produtividade e com espessura de arenito inferior a 40 m;

**Zona C** – É uma área grande correspondente ao aquífero Cristalino, que não foi subdividida em função da pequena quantidade de poços produtivos;

**Zona SI** – São áreas sem informações de subsuperfície, portanto, não classificadas.

#### - Características das Zonas de Produtividade Similar quanto à ocupação urbana

As manchas urbanas dos municípios estudados encontram-se total ou parcialmente inseridas nas zonas de produtividade T3 ou M3 (Figura 21):

. Municípios de Capivari e Rafard: suas áreas urbanas estão praticamente inteiras na zona T3-1;

- . Município de Monte Mor: metade de sua área urbana está sobre a zona T3-6, avançando sobre a T2;
- . Município de Elias Fausto: sua mancha urbana está sobre a zona T3-4;
- . Município de Indaiatuba: parte da sua mancha urbana ocupa praticamente toda a zona M3-2, avançando sobre a zona M3-1;
- . Município de Salto: o distrito industrial Tranquilo Gianini está sobre a zona M3-3, única zona de maior produtividade do município.

A avaliação do uso e ocupação urbana nas zonas de maior produtividade em águas subterrâneas é relevante, uma vez que os municípios podem planejar o uso e controle das captações futuras visando a manutenção de reservas. Nesse sentido, a porção ao sul e a noroeste da mancha urbana de Capivari (em T3-1) merece atenção quanto à expansão urbana e demanda por água, enquanto as zonas T3-2 e T3-3 podem ser consideradas áreas de reserva para captações futuras.

Elias fausto dispõe da área T3-5 como reserva e deve avaliar a evolução do uso do solo na zona T3-4 em função da expansão urbana.

Monte Mor possui ainda uma parte da zona T3-6 relativamente preservada do uso urbano, mas que tende a ser ocupada. Também deve ser avaliada em termos de demandas e disponibilidade de água subterrânea.

O uso e ocupação urbana em Salto e Indaiatuba avançam, respectivamente, sobre as zonas M3-3 e M3-1. Por consistirem nas únicas zonas de maior produtividade dos municípios, deve ser ressaltada a necessidade de planejamento tanto da expansão urbana quanto do uso da água nestas regiões.

A análise da expansão urbana é apresentada adiante no item 7.3 do Capítulo 7 - *Classificação e Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra*.

#### **6.3.4. Condutividade hidráulica e Transmissividade**

Testes de bombeamento obtidos de relatórios de poços fornecidos por empresas perfuradoras foram interpretados com o intuito de determinar parâmetros hidráulicos como condutividade hidráulica e transmissividade.

Foram selecionados testes que ocorreram a um tempo de bombeamento maior que 20 horas, mantendo-se a vazão constante sempre que possível. Os testes foram conduzidos, em geral, com a finalidade de dimensionar o equipamento (bomba), bem como o regime de exploração. As medidas de rebaixamento e recuperação *versus* tempo foram efetuadas no próprio poço, cabendo salientar que alguns deles apresentaram mais de um ensaio, executados em períodos distintos ou por ocasião de seu aprofundamento.

As interpretações dos testes de bombeamento foram feitas através do programa *Aquifer Test versão 2.52* (Waterloo Hydrogeologic Inc.) para as etapas de bombeamento e recuperação. Adotou-se em ambos os casos, um valor de 0,10 m que representa a distância ( $r$ ) entre os poços de bombeamento e de observação.

Foram obtidos resultados de 104 testes de vazão, sendo praticamente todos executados



no Aquífero Tubarão, exceto um no Tubarão/Cristalino. A maior parte dos testes foi realizada em poços de Capivari (50 poços), seguidos de Indaiatuba (26) e Elias Fausto (10).

Na Tabela 22 são apresentados os resultados de condutividade hidráulica e de transmissividade obtidos para o Aquífero Tubarão nos municípios estudados, que foram calculados pelo método de Hantush.

**TABELA 22 - Condutividade hidráulica e transmissividade do Aquífero Tubarão por município**

REBAIXAMENTO											
Municípios	Nª de Poços	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA – K (m/s)					TRANSMISSIVIDADE – T (m <sup>2</sup> /s)				
		Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão	Mediana	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão	Mediana
Capivari	50	6.66E-08	2,74E-06	1,17E-09	5,79E-07	6.42E-08	1.54E-05	5,22E-04	3,47E-07	9,33E-05	1.58E-05
Elias Fausto	10	8.65E-07	2,02E-05	1,13E-08	2,33E-06	1.48E-06	7.36E-05	6,34E-04	8,77E-07	1,11E-04	1.22E-04
Indaiatuba	23	3.00E-08	1,72E-06	1,18E-10	2,19E-06	5.39E-08	3.38E-06	2,81E-04	1,21E-08	1,06E-04	6.26E-06
Monte Mor	7	1.38E-07	4,69E-07	2,15E-08	2,13E-06	1.66E-07	1.02E-05	7,98E-05	7,48E-07	1,05E-04	8.99E-06
Rafard	8	1.57E-07	5,54E-07	1,14E-08	6,26E-07	1.86E-07	3.13E-05	1,41E-04	1,42E-06	1,32E-04	3.68E-05
Salto	6	2.37E-07	9,09E-07	1,14E-08	5,37E-07	3.49E-07	2.23E-05	9,17E-05	1,42E-06	9,85E-05	3.49E-05
Total	104										
RECUPERAÇÃO											
Municípios	Nª de Poços	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA – K (m/s)					TRANSMISSIVIDADE – T (m <sup>2</sup> /s)				
		Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão	Mediana	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão	Mediana
Capivari	42	6.07E-08	2,74E-06	1,17E-09	4,27E-06	6.59E-08	2.23E-05	7,67E-04	3,89E-07	6,64E-04	1.58E-05
Elias Fausto	3	2.90E-06	5,81E-06	1,92E-06	9,75E-07	2.19E-06	6.53E-04	1,15E-03	4,89E-04	2,45E-04	4.96E-04
Indaiatuba	8	7.05E-08	3,18E-07	1,00E-08	2,38E-04	7.80E-08	8.06E-06	5,29E-05	1,67E-06	2,38E-04	5.58E-06
Monte Mor	1	S/D	3,02E-05	3,02E-05	S/D	S/D	S/D	4,62E-03	4,62E-03	S/D	S/D
Rafard	0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Salto	3	1.38E-07	6,29E-07	4,91E-08	9,10E-07	8.60E-08	2.55E-06	9,20E-06	2,96E-07	2,34E-04	6.11E-06
Total	57										

S/D: Sem dados

De modo geral, os valores médios de condutividade hidráulica ( $10^{-7}$  m/s) a partir dos testes de rebaixamento e de recuperação de nível d'água não apresentam muita variação entre os municípios estudados. Os valores médios de transmissividade apresentaram pequena variação nos resultados obtidos a partir dos testes de rebaixamento ( $10^{-5}$  a  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s) em relação aos de recuperação ( $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s).

As características hidráulicas do Aquífero Tubarão da área estudada são compatíveis com valores regionais encontrados na Região de Campinas (DAEE, 1981a) e de Sorocaba (DAEE, 1981b). A condutividade hidráulica média dos seis municípios é de  $1,61 \times 10^{-7}$  m/s (0,01 m/dia). A transmissividade média obtida é de  $2,51 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s (2,17 m<sup>2</sup>/dia).

A Tabela 23 contém os resultados gerais (média, máximo, mínimo, desvio padrão e mediana) de K e T para o Aquífero Tubarão na área estudada, considerando os testes de rebaixamento interpretados pelos métodos de Hantush e Cooper-Jacob e os de recuperação interpretados pelo método de Theis.

**TABELA 23 - Valores médios de condutividade hidráulica e de transmissividade do Aquífero Tubarão.**

<b>CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (m/s)</b>			
K (m/s)	Rebaixamento (Mét. Hantush)	Rebaixamento (Cooper-Jacob)	Recuperação (Mét. Theis-Jacob)
<b>Média</b>	<b>8,62E-08</b>	<b>5,48E-07</b>	<b>8,85E-08</b>
Mínimo	1,18E-10	1,70E-08	1,17E-09
Máximo	2,02E-05	4,52E-06	3,02E-05
Mediana	8,13E-08	9,22E-07	7,63E-08
Desvio Padrão	2E-06	1,4E-06	4,05E-06
<b>TRANSMISSIVIDADE (m<sup>2</sup>/s)</b>			
T (m <sup>2</sup> /s)	Rebaixamento (Mét. Hantush)	Rebaixamento (Cooper-Jacob)	Recuperação (Mét. Theis-Jacob)
<b>Média</b>	<b>1,4E-05</b>	<b>5,24E-05</b>	<b>2,6E-05</b>
Mínimo	1,21E-08	1,31E-06	2,96E-07
Máximo	6,34E-04	7,78E-04	4,62E-03
Mediana	1,46E-05	6,46E-05	1,41E-05
Desvio Padrão	1,10E-04	2,33E-04	6,36E-04

S/D: Sem dados

#### 6.4. Fluxo da Água Subterrânea

Para avaliar o fluxo das águas subterrâneas, foi confeccionado um mapa potenciométrico de toda a área estudada. Foram utilizados 698 poços com informações sobre a altitude do nível estático. Para a sua confecção foi utilizado o programa *SURFER* da *Golden Software* com a aplicação dos seguintes parâmetros: método da krigagem; malha de 1.000 m; e raio de pesquisa de 4.000 m.

Em geral os fluxos das águas subterrâneas seguem das porções mais elevadas para as mais rebaixadas onde se situam os rios de maior porte (Tietê, Jundiá, Capivari, Capivari-Mirim). Este mapa mostra que as altitudes máximas do nível d'água situam-se na porção leste da área estudada, onde predomina o Aquífero Cristalino, sendo que as porções mais rebaixadas situam-se a oeste da área, principalmente na cidade de Capivari e Rafard, nos domínios do Aquífero Tubarão (Figura 22).

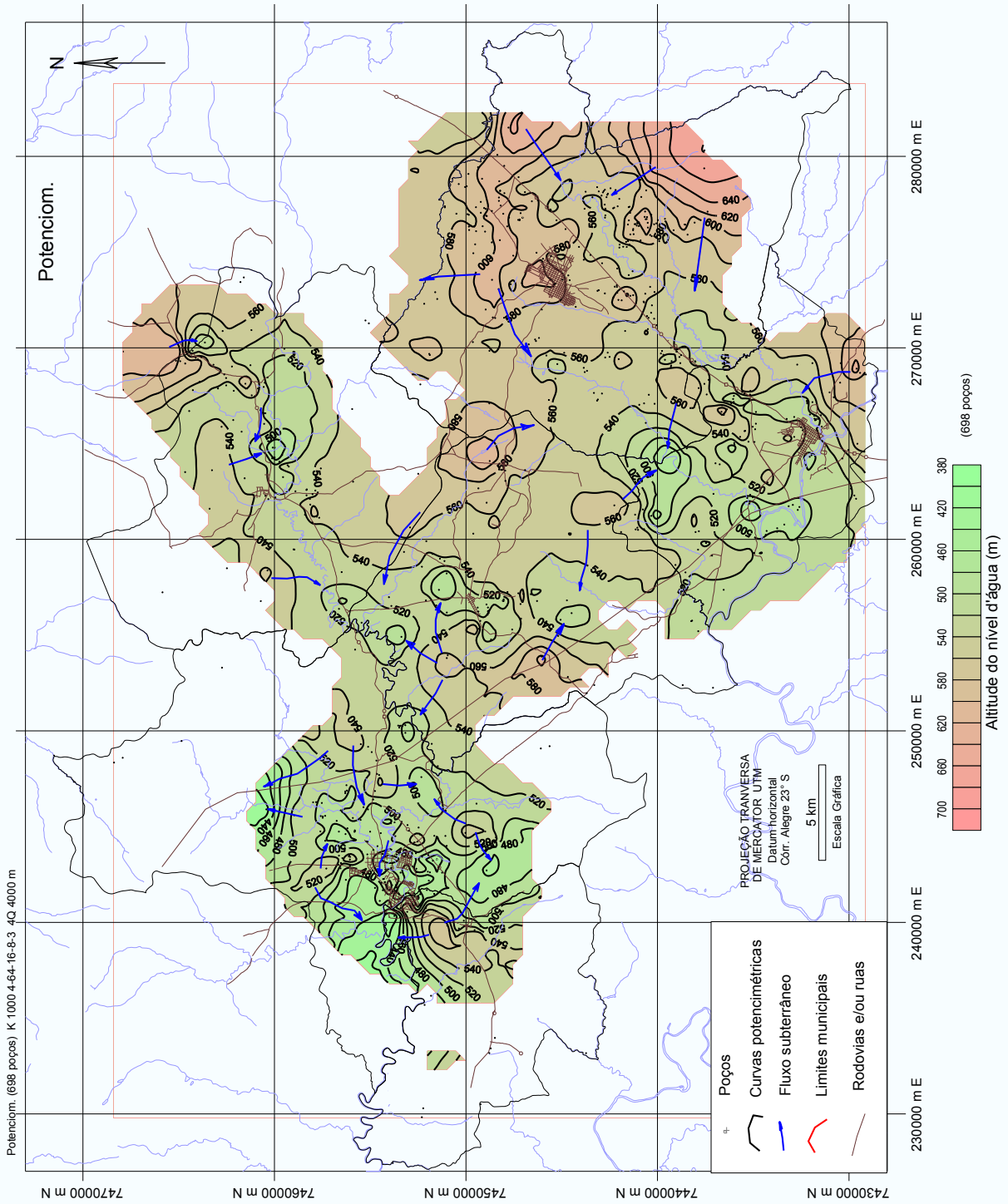


FIGURA 22 - Mapa potenciométrico da região entre Indaíatuba e Capivari.

Os fluxos naturais das águas subterrâneas podem ser por vezes modificados em função

da existência de poços que provocam o rebaixamento do lençol freático. Estes rebaixamentos crescem lentamente ao longo das décadas, resultante da somatória dos cones de rebaixamento dos poços individualmente. Os exemplos destas porções são normalmente as áreas urbanizadas e/ou industrializadas.

A extração continuada de água dos aquíferos, através de poços tubulares profundos, após algumas décadas, resulta num rebaixamento acentuado do nível d'água, que corresponde à somatória dos rebaixamentos residuais dos poços. A queda de produtividade e do nível d'água acontece de forma lenta e gradual, pois, em bombeamentos diários, via de regra, não há tempo suficiente para que o nível d'água se recupere totalmente (rebaixamento residual).

Nas áreas urbanas de Capivari e Rafard, em função do volume razoável de dados, foi possível realizar um detalhamento das curvas potenciométricas.

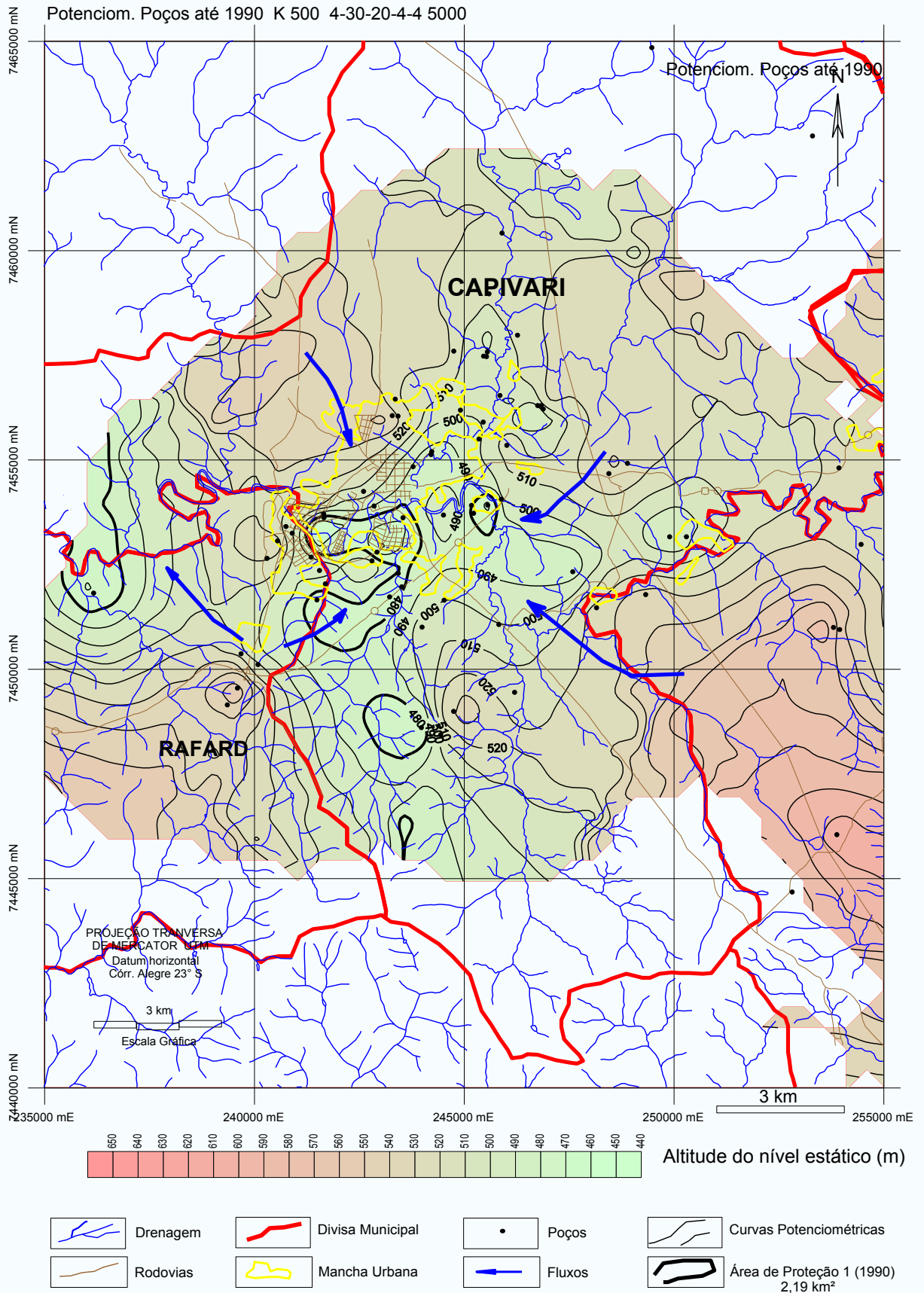
Para esta região foram elaborados dois mapas potenciométricos para períodos distintos para se averiguar a evolução da queda da superfície potenciométrica: o primeiro para poços construídos antes de 1990 e o segundo para poços construídos a partir de 1991 até 2010 (Figuras 23 e 23).

Em função dos bombeamentos intensivos dos poços, a superfície potenciométrica do Aquífero Tubarão já está abaixo da calha do rio Capivari (Figura 23). Nestas cidades a calha do rio Capivari situa-se aproximadamente na altitude 500 m.

Observando-se os dois mapas (Figuras 23 e 24), nota-se que no primeiro (poços mais antigos – até 1990) as curvas de 480 m abrangem áreas menores, quando comparada com as do segundo mapa (com poços mais novos – após 1990). Este fato mostra que inicialmente os poços mais antigos já propiciaram a formação de pequenos cones de rebaixamentos, o que foi ampliado com a construção dos poços mais novos, que continuam ampliando estes cones de rebaixamento. As áreas mais afetadas encontram-se na mancha urbana do município, nas porções norte e centro-oeste.

Para averiguar a ocorrência de queda de nível estático na região estudada, foi efetuado um levantamento de poços com mais de um teste de vazão (Tabela 24). Foram levantados 74 poços, dos quais 35 apresentaram quedas significativas de NE, indicativos de rebaixamento causados pela interferência e/ou bombeamento intensivo de poços.

Em Capivari, foram constatados pelo menos quatro poços com uma queda considerável do nível estático, com valores superiores a 50 m.



**FIGURA 23 - Mapa potenciométrico de Capivari-Rafard (poços até 1990).**



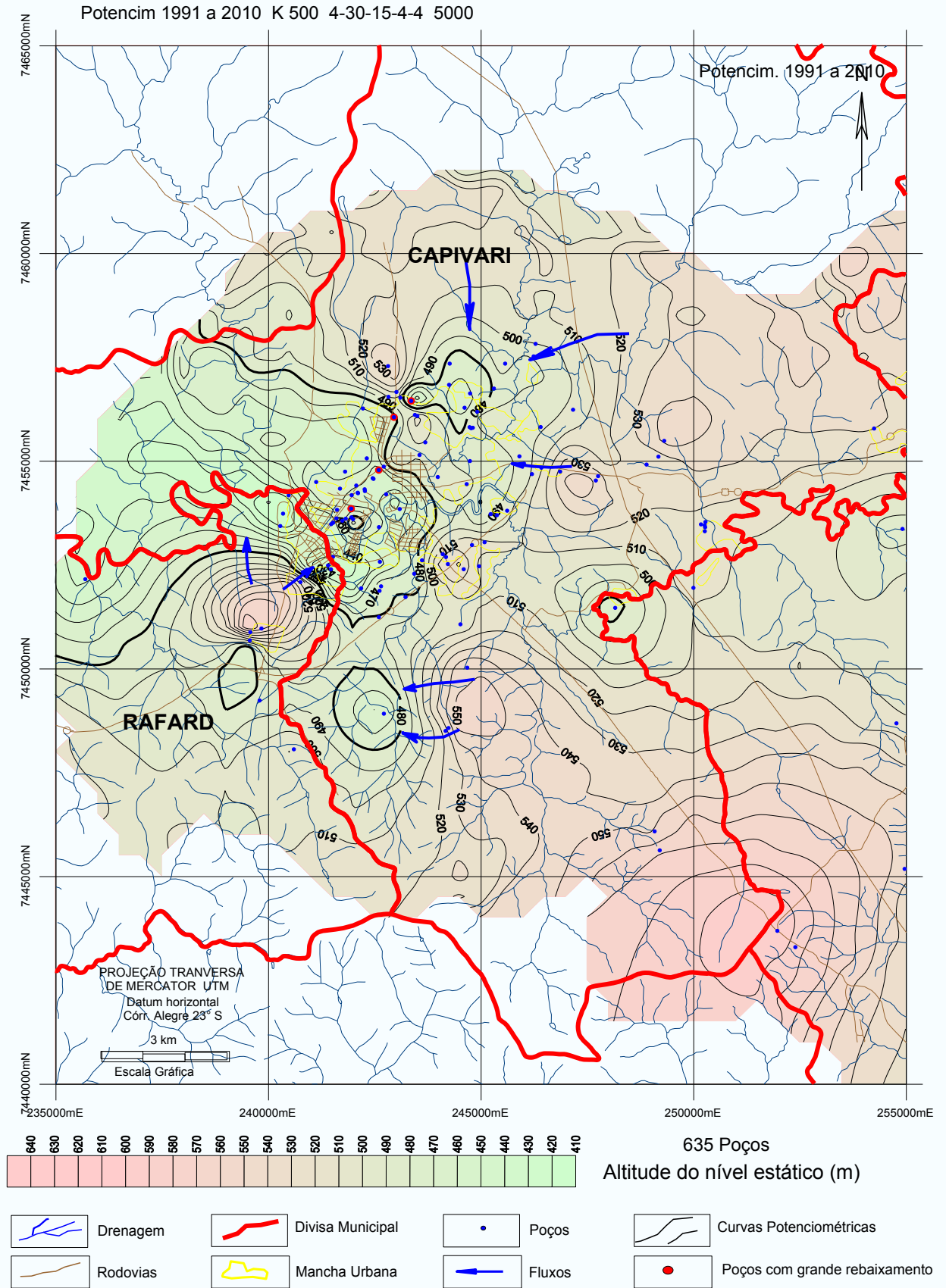


FIGURA 24 - Mapa potenciométrico de Capivari-Rafard (poços de 1991 a 2010).

**TABELA 24 - Poços com indicação de queda de nível estático.**

Nº Poço	UTME (m)	UTMN (m)	MUNICÍPIO	COTA (m)	AQUÍFERO	1º TESTE			2º TESTE			3º TESTE		
						Ano Perf.	Prof.1 (m)	NE 1 (m)	Ano	Prof.2 (m)	NE 2 (m)	Ano	Prof.3 (m)	NE 3 (m)
853	242.950	7.456.060	Capivari	553,00	T	1991	400,00	80,00			125,00			
1647	242.592	7.454.788	Capivari	560,00	T	1994	187,00	50,00	2008	400,00	130,00			
1649	243.355	7.456.453	Capivari	544,00	T	1980	285,00	26,40	1992	300,00	33,90	2008	300,00	125,00
1651	244.210	7.455.130	Capivari	504,00	T	1988	310,00	21,40	1988	310,00	27,03	1990	310,00	30,60
1656	244.910	7.456.190	Capivari	530,00	T	1980	190,00	25,00	1990	250,00	27,00	1992	300,10	34,20
1659	244.225	7.455.200	Capivari	504,00	T	1951	153,00	0,50	1990	153,00	21,40			
1675	243.426	7.452.292	Capivari	512,00	T	1987	301,00	32,40	1987	301	31,40	1992	301	55,40
1676	243.221	7.451.730	Capivari	521,00	T	1980	240,00	16,60	1990	240	52,24	1992	240	43,70
1829	241.942	7.453.859	Capivari	556,00	T	1991	232,00	38,00	2008	400,00	150,00			
1841	245.223	7.453.727	Capivari	515,00	T	1982	225,00	42,00	2007	350,00	49,00			
1861	248.890	7.454.920	Capivari	548,00	T	1990	151,00	19,00	1997	151,00	19,86	1999	230,00	26,20
395	248.153	7.451.470	Elias Fausto	548,00	T	1978	258,00	24,00	2005	258,00	71,50	2006		76,00
1637	255.742	7.449.250	Elias Fausto	574,00	T	1990	301,00	50,30	1993	301,00	56,59	1999	301,00	64,90
4022	261.774	7.442.253	Elias Fausto	610,00	T	2007	209,00	33,35	2009	209,00	48,15			
4199	256.155	7.448.815	Elias Fausto	560,00	T	1972	180,00	15,00			21,90			
4205	256.600	7.448.930	Elias Fausto	556,00	T	1996	305,30	42,98	1999	305,30	58,67			
4206	256.230	7.449.350	Elias Fausto	594,00	T	1998	301,30	78,20	1999	301,30	96,00			
889	272.827	7.440.637	Indaiatuba	603,00	C	2004	200,00	38,80	2007	300,00	91,00			
910	269.521	7.438.857	Indaiatuba	578,00		1985	100,00		2007	150	15,00			27,40
3492	274.968	7.446.315	Indaiatuba	643,00	TC	1996	167,30	42,99	1996	250,00	67,00			
3513	267.027	7.440.950	Indaiatuba	545,00	T	1974	150,00	5,00	2000	150,00	23,00			
3869	271.184	7.440.037	Indaiatuba	564,00	T	2002	123,00	13,50	2005	100,00	31,43			
4306	278.240	7.442.185	Indaiatuba	604,00	C	2002	138,00	30,00	2006	138,00	41,05			
4311	277.950	7.442.920	Indaiatuba	572,00	C	2002	260,00	14,11	2006		35,94			
4332	274.000	7.441.300	Indaiatuba	555,00	C	1978	160,00	2,50	1986		44,00			
569	263.672	7.459.647	Monte Mor	569,00	T	1975	315,00	32,00	1987	302,00	43,00	1996	302,00	75,00
3398	265.879	7.462.760	Monte Mor	606,00	T	1980	140,00	54,00	2000	212,00	72,00			
1080	241.550	7.452.360	Rafard	508,00	T	1978	102,00	2,45	1978	118,60	3,35	1980	271,00	16,30
1081	241.350	7.452.680	Rafard	508,00	T	1958	189,60	0,00	1984	300,00	40,57	1984	189,60	41,60
3663	265.748	7.434.901	Salto	583,00	TC	1990	170,00	66,60	2008	170,00	80,00			
3881	266.505	7.436.530	Salto	587,00	C	2007	131,50	5,50		202,00	48,00			
4118	266.480	7.431.470	Salto	540,00	C	1976	152,00	3,00	1977	152,00	64,63			
4121	266.517	7.432.041	Salto	525,00	C	1976	120,00	10,00			51,60			
4132	268.330	7.437.330	Salto	603,00	TC	2002	276,00	64,00	2007		82,00			

Aquífero: T=Tubarão; C=Cristalino; TC=Tubarão/Cristalino

## 6.5. Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos

O mapeamento da vulnerabilidade natural de um aquífero é uma técnica utilizada na caracterização da susceptibilidade deste ser afetado por uma carga poluidora aplicada no solo, em função das características intrínsecas da zona não saturada. Definindo-se o grau de vulnerabilidade do aquífero e avaliando a potencial carga contaminante presente nas atividades ou empreendimentos existentes, é possível definir o perigo de poluição das águas subterrâneas bem como áreas que devem ser restritas a determinados tipos de atividade, visando a proteção.

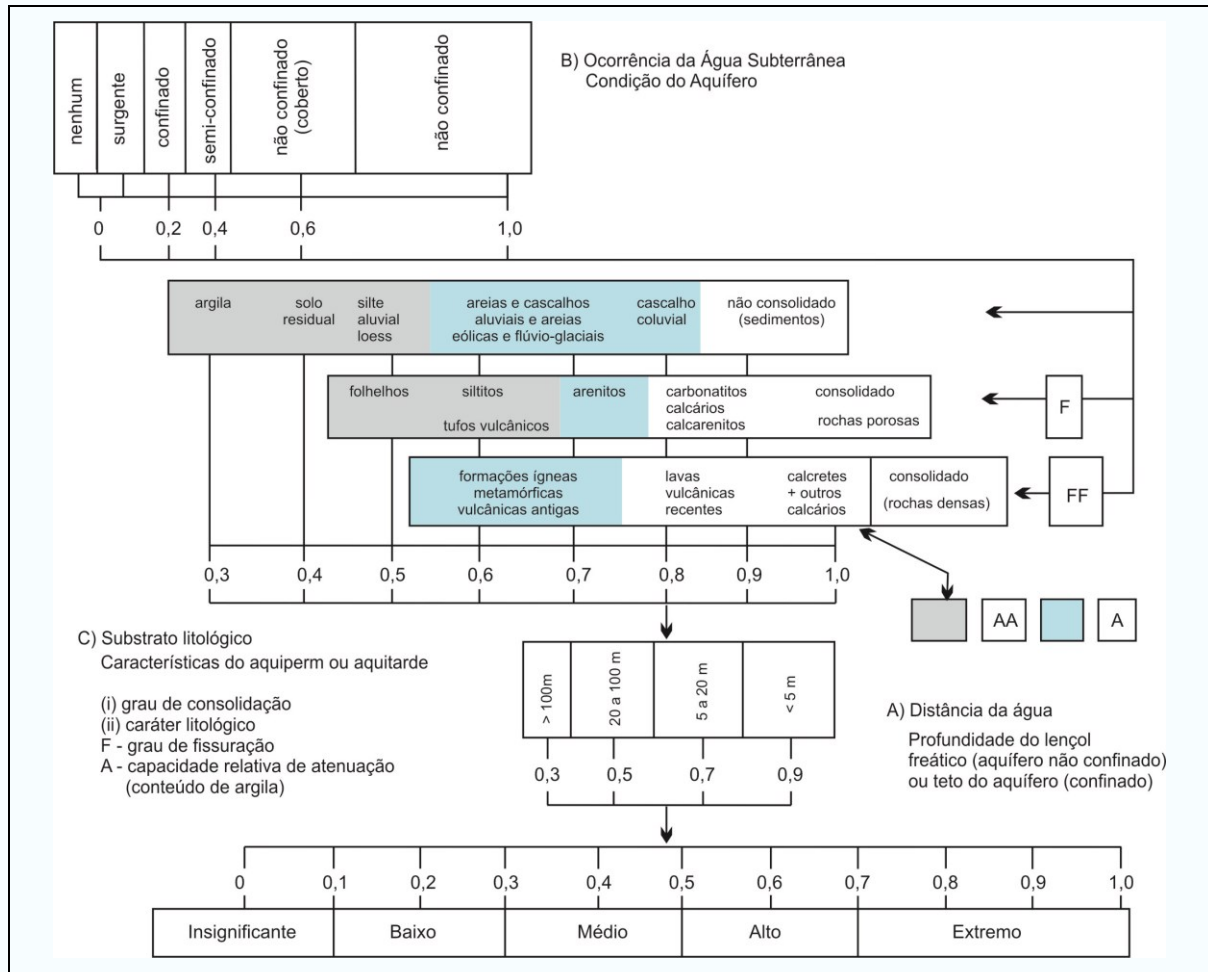
Neste projeto foi utilizado o mapa de vulnerabilidade elaborado por DAEE/UNESP (2010) no Projeto “*Regionalização de diretrizes de utilização e proteção das águas subterrâneas – Bacias do Leste*” (UGRHIs 2, 6, 10, 5, 9, 4, 12, 8, situados na porção leste do Estado de São Paulo), uma vez que abrange a área dos seis municípios estudados – Indaiatuba, Salto, Monte Mor, Elias Fausto, Capivari e Rafard, inseridos na porção sul da UGRHI 5.

A caracterização da vulnerabilidade baseou-se no método utilizado por Foster & Hirata (1988, 1993) e no Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (IG/CESTEB/DAEE, 1997), que consideram os seguintes fatores quanto à acessibilidade da zona saturada à penetração de poluentes e à capacidade de atenuação de poluentes:

- tipo de ocorrência da água subterrânea (ou a condição do aquífero quanto ao confinamento hidráulico);
- tipos litológicos acima da zona saturada do aquífero, grau de consolidação e características granulométricas e litológicas;
- estimativa da profundidade do nível d’água.

A cada um destes fatores é definido um intervalo de valores, e quanto maior o valor, maior é a vulnerabilidade. O produto dos valores atribuídos aos três fatores determina o índice de vulnerabilidade expresso em escala de 0 a 1, em termos relativos (Figura 25).





**FIGURA 25 - Sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero (adaptado de Foster & Hirata, 1993).**

No mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos das Bacias do Leste (DAEE/UNESP, 2010) foram consideradas suas porções livres, ou seja, eles foram considerados como não confinados. O valor referente à condição do aquífero utilizado para toda a área foi de 1,0.

Os tipos litológicos utilizados no projeto de DAEE/UNESP (2010) foram obtidos do mapa geológico em escala 1:250.000, elaborado a partir do mapeamento realizado por DAEE/UNESP (1980). Para o mapa de vulnerabilidade foram adotados os valores dos solos residuais das formações geológicas, uma vez que se consideraram as porções mais rasas dos aquíferos.

Na área de estudo predominam rochas sedimentares do Grupo Tubarão-Subgrupo Itararé (valor de 0,5 a 0,6). A esta formação associam-se predominantemente solos silto-argilosos (0,5) a siltosos (0,6).

Ocorrem na porção leste de Salto e Indaiatuba, rochas do Embasamento Cristalino (valor 0,5) e, localmente, corpos de diabásio (0,5), em Rafard, Capivari, Monte Mor e Elias Fausto. Os materiais de alteração associados a esses grupos litológicos foram considerados, respectivamente, solos silto-arenosos (0,7) a arenosos (0,8), e solos silto-argilosos (0,5) para a alteração de diabásio.

Aos solos associados a coberturas cenozóicas e aluvionares, considerados como sedimentos não consolidados, foram atribuídos valores mais elevados (0,9).

DAEE/UNESP (2010) estimaram a profundidade do nível de água a partir do mapa potenciométrico gerado por pontos de intersecção de topografia com as drenagens (nascentes), consideradas como pontos de descarga de água subterrânea.

As classes de profundidade de nível d'água adotadas por DAEE/UNESP (2010) são distintas daquelas utilizadas por Foster & Hirata (1988) e foram divididas 5 classes (Tabela 25).

**TABELA 25 - Classes de profundidade de nível da água subterrânea adotadas por DAEE/UNESP (2010) no mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos.**

Classe de profundidade NA (m)	VALOR ATRIBUÍDO
<2	0,9
2 – 5	0,7
5 – 10	0,5
10 – 20	0,3
>20	0,1

O plano de informação de tipos litológicos foi cruzado com o plano de informação de profundidade de nível d'água, gerando um mapa de índices de vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação, com resolução espacial de 50 m (Figura 26).

Na área dos 6 municípios estudados predominam índices de vulnerabilidade baixos a médios. As áreas de alta vulnerabilidade são escassas e estão associadas à rede de drenagem. E pontualmente, ocorrem áreas de extrema vulnerabilidade nas cabeceiras de drenagem, como a norte de Indaiatuba e, dispersamente, em Elias Fausto. Deve-se destacar, entretanto, a várzea do Rio Jundiáí, entre Indaiatuba e Salto, configurada como extrema vulnerabilidade.

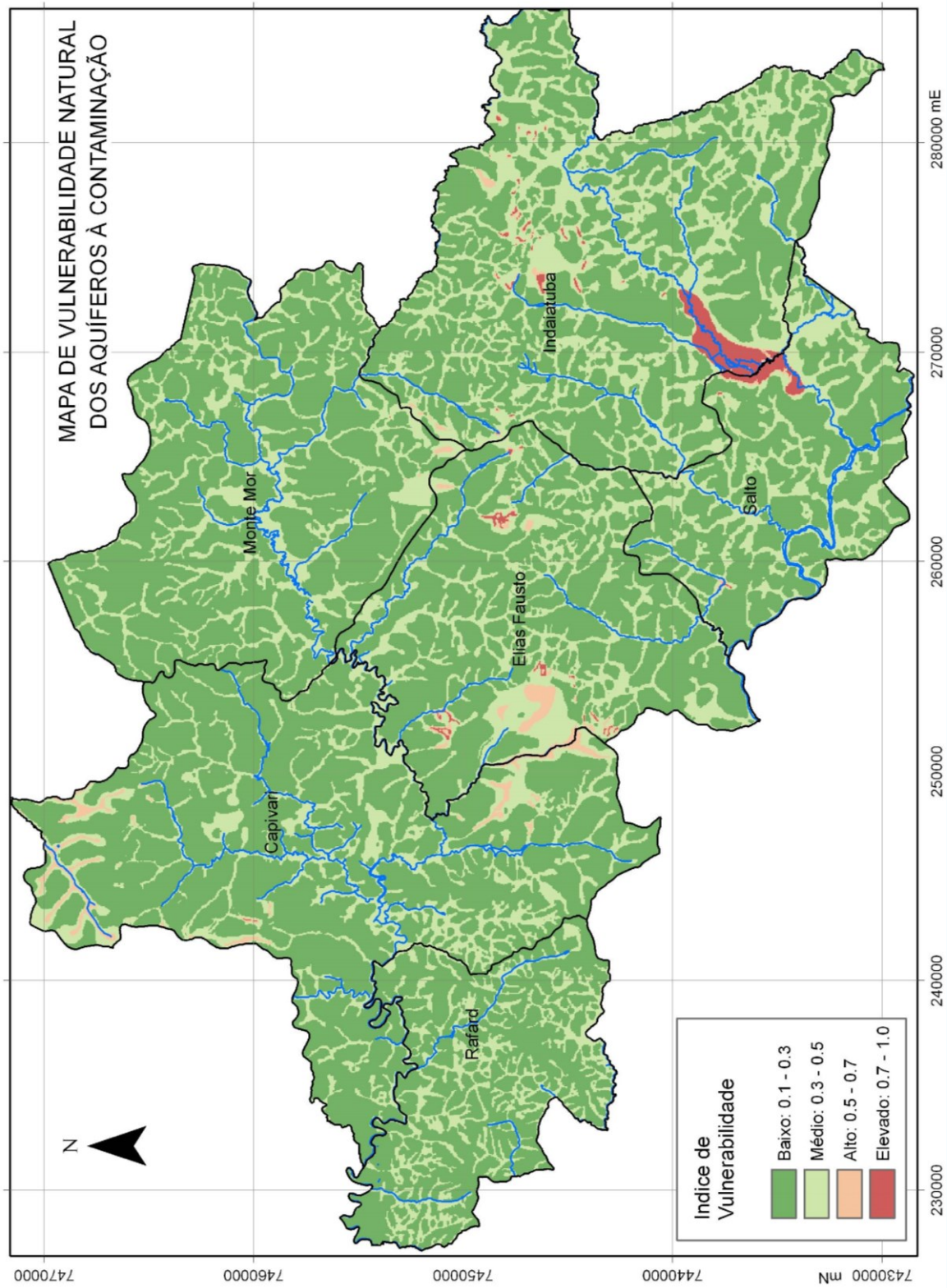


FIGURA 26 - Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos da área estudada (extraído de DAEE/UNESP, 2010).

### 6.5.1. Considerações sobre as porções profundas dos aquíferos

O cálculo da profundidade do nível da água, em DAEE/UNESP (2010), foi baseado nas cabeceiras de drenagem identificadas no mapa topográfico, escala 1:50.000, refletindo o comportamento do lençol freático.

Nos poços tubulares do Aquífero Tubarão muitas vezes o nível da água encontrado é mais profundo, especialmente nos topos de morros. A grande heterogeneidade do Aquífero Tubarão promove descontinuidades na conexão hidráulica entre o lençol freático e as porções mais profundas do aquífero, o que se reflete na profundidade do nível da água observada nos poços tubulares.

Entretanto, do ponto de vista de proteção dos aquíferos, o contaminante atingindo o lençol freático contamina a água subterrânea que, seguindo o fluxo, contamina também os níveis mais profundos.

Por esse motivo, o mapa de vulnerabilidade natural das porções profundas dos aquíferos não foi desenvolvido e considerou-se que os resultados obtidos para as áreas mais superficiais (Figura 26) foram satisfatórios.

Entretanto, pelo predomínio em área do Aquífero Tubarão e para certificar que se caracteriza como um aquífero predominantemente de baixa vulnerabilidade, algumas considerações foram feitas com relação à vulnerabilidade de suas porções profundas.

O Aquífero Tubarão na área estudada apresenta características de aquífero livre a semi-confinado devido à heterogeneidade litológica (arenitos, siltitos, argilitos, folhelhos, diamictitos) e descontinuidade das camadas. As profundidades média e mediana do nível d'água, com base nos poços tubulares, são, respectivamente, de 40,1m e 32,0m (Tabela 26).

Os poços mistos, que exploram mais de um aquífero (Tubarão/Cristalino e Tubarão/Diabásio) apresentam valores médios em torno de 30 m, mas a profundidade média do nível d'água no Aquífero Cristalino corresponde à metade em relação ao Aquífero Tubarão.

**TABELA 26 - Profundidades médias e medianas dos níveis d'água dos aquíferos.**

AQUÍFERO	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	NÚMERO DE POÇOS
Tubarão	32,0	40,1	0,0	153,0	446
Tubarão/Diabásio	37,0	32,0	3,5	100,0	11
Tubarão/Cristalino	29,8	33,0	2,0	87,6	90
Cristalino	18,0	21,1	0,0	91,0	126

Na Figura 27 estão representados isovalores de profundidade de nível d'água (NA), obtidos a partir da interpolação de dados de poços tubulares profundos considerando os aquíferos Tubarão, Cristalino e mistos. A distribuição das áreas com NA pouco profundo (de a 0 a 20 m) é pouco expressiva, estando associadas a drenagens e, portanto, localizadas fundamentalmente nas áreas de descarga dos aquíferos. Predominam, em área, profundidades entre 20 e 50 m, seguidas de 50 a 100m.

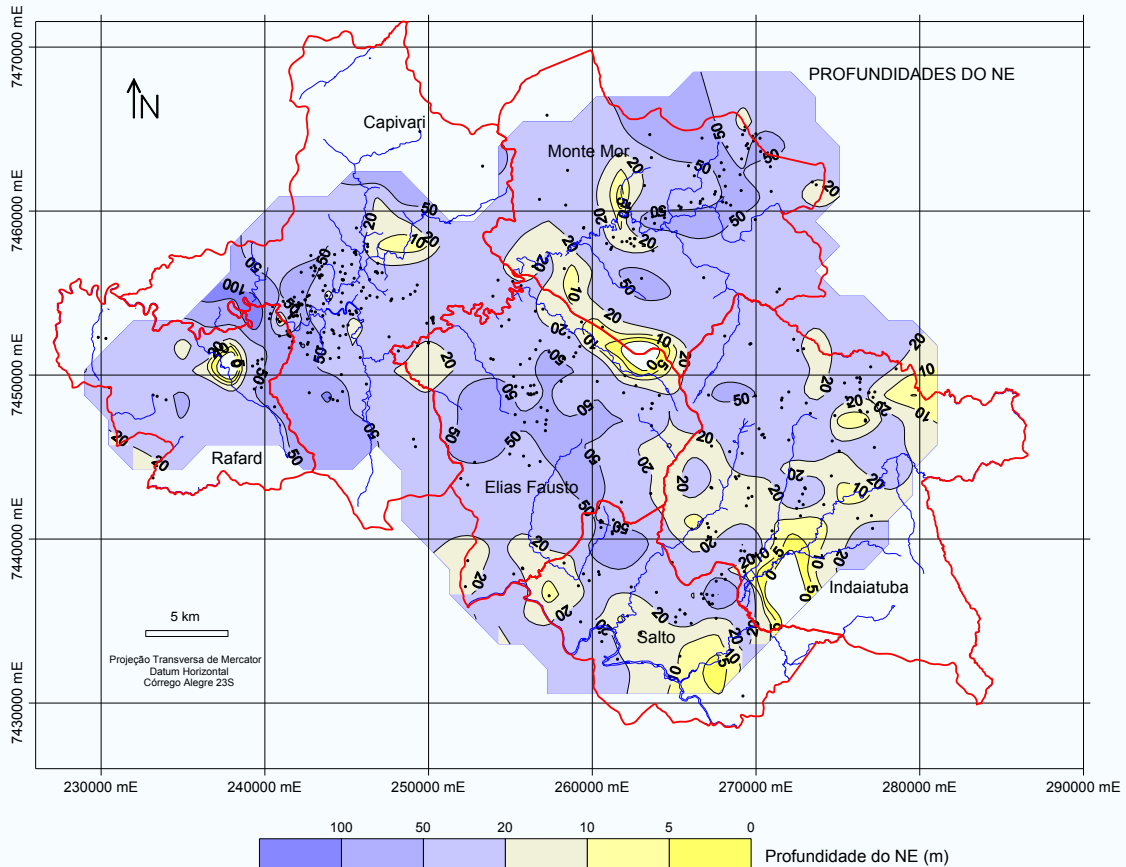


FIGURA 27 - Mapa de profundidade do nível d'água dos aquíferos da região estudada.

A vulnerabilidade natural do Aquífero Tubarão em suas porções mais profundas foi averiguada pelo cruzamento dos três fatores (condição de aquífero; tipo litológico e profundidade do nível d'água) multiplicando-se valores atribuídos no método de Foster *et al.* (2002). Os resultados expressos em índice de vulnerabilidade são apresentados em forma de tabela (Tabela 27).

TABELA 27 - Valores de vulnerabilidade definidos para o Aquífero Tubarão.

CONDIÇÃO DO AQUIFERO	VALOR CONSIDERADO	LITOLOGIA	VALOR CONSIDERADO	PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA	VALOR CONSIDERADO	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE	CLASSE DE VULNERABILIDADE (Foster <i>et al.</i> 2002)	CLASSE DE VULNERABILIDADE (Foster & Hirata 1988)
Semi-confinado	0,4	Siltito	0,6	<5m	0,9	0,216	Baixo-alto	Baixo
				5-20	0,8	0,192	Baixo-baixo	Baixo
				20-50m	0,7	0,168	Baixo-baixo	Baixo
		Arenito	0,7	>50m	0,6	0,144	Baixo-baixo	Baixo
				<5m	0,9	0,252	Baixo-alto	Baixo
				5-20	0,8	0,224	Baixo-alto	Baixo
Livre coberto	0,6	Siltito	0,6	20-50m	0,7	0,196	Baixo-baixo	Baixo
				>50m	0,6	0,168	Baixo-baixo	Baixo
				<5m	0,9	0,324	Moderado-baixo	Médio
	0,7	Arenito	0,7	5-20	0,8	0,288	Baixo-alto	Baixo
				20-50m	0,7	0,252	Baixo-alto	Baixo
				>50m	0,6	0,216	Baixo-alto	Baixo
				<5m	0,9	0,378	Moderado-baixo	Médio
				5-20	0,8	0,336	Moderado-baixo	Médio
				20-50m	0,7	0,294	Baixo-alto	Baixo
				<5m	0,6	0,252	Baixo-alto	Baixo



Como era de se esperar, predomina a classe baixa de vulnerabilidade do Aquífero Tubarão em suas porções profundas. Somente em condições de NA mais raso (<5m) ou em situação em que predominem arenitos, a classe de vulnerabilidade apresenta-se como moderada-baixa.

## 6.6. Qualidade das Águas Subterrâneas

Durante as campanhas de cadastramento de poços tubulares, foram selecionados 41 poços visando amostragem de água e análise química para avaliação da qualidade das águas subterrâneas da região. Foram priorizados poços em funcionamento, de abastecimento público ou particulares, situados na proximidade a estabelecimentos industriais.

### 6.6.1. Amostragem

A amostragem de água foi realizada conforme procedimentos técnicos de CESTEB (2010a). As amostras foram coletadas na saída do poço, após período de 5 a 10 minutos de bombeamento e acondicionadas em frascos plásticos de PEAD.



Amostra SA-1 – Salto (27/04/2010)



Amostra RA-2 – Rua Operários, Rafard (10/09/2009)



Amostra IN-5 – Rec. Campestre Aldrovandi, Indaiatuba (26/04/2010)



Amostra EF-1 – Elias Fausto (09/09/2009)



**Amostra CAP-5 – Chácara Pagotto, Capivari  
(05/05/2010)**



**Amostra MM-2 – R. Cesar Marini,  
Monte Mor (09/09/2009)**

Logo após a coleta, foram analisados *in situ* os parâmetros pH, Eh (potencial de oxido-redução), temperatura utilizando eletrodos de vidro e combinado de platina (DIGIMED) e condutividade elétrica. A alcalinidade foi determinada por titulometria, conforme Hypolito *et al.* (2008).



**Amostragem IN-3 - Indaiatuba (26/04/2010)**

Em seguida, as amostras foram filtradas utilizando equipamento específico (aparato de filtragem com filtro de acetato de 0,45  $\mu\text{m}$ ) e adequadamente armazenadas em frascos de polietileno de alta densidade e mantidas em temperatura inferior a 4 $^{\circ}$  C para encaminhamento ao laboratório de análises químicas. A preservação das amostras foi realizada no Laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica/Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP, Rio Claro. Os parâmetros químicos analisados foram:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$  (cromatografia iônica);  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}_{(\text{total})}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , Si (espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma de argônio indutivo ICP-AES). A alcalinidade em laboratório foi determinada por titulometria potenciométrica. As análises basearam-se no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF,1995).

Cerca de 50 mL de amostras de água foram coletadas em duplicata e armazenadas em frasco de vidro âmbar à temperatura ambiente para análises de isótopos  $^{18}\text{O}$  e deutério, que foram efetuadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Instituto de Geociências/USP, São Paulo.



### 6.6.2. Tratamento de dados

Os íons maiores foram selecionados de modo a possibilitar o cálculo do balanço iônico e a classificação química das águas subterrâneas. O balanço iônico (erro prático em %) foi calculado a partir dos resultados das análises das águas conforme procedimentos propostos por Custódio & Llamas (1983).

A caracterização hidroquímica foi efetuada para os poços que continham dados de pH, concentração de sódio, cálcio, potássio, magnésio, cloreto, sulfato, fluoreto e alcalinidade. Os dados foram tratados e lançados em Diagramas de Piper e de Stiff, com recurso do programa AquaChem 5.1 (Schlumberger Water Services, 2007) para classificação das águas.

Os valores de total de sólidos dissolvidos (TSD) foram calculados pela razão: TSD calculado / Condutividade Elétrica = 0,65. O fator de conversão 0,65 foi obtido através da média de valores (TSD/CE) extraídos de relatórios de poços da região.

Os resultados de concentração de ferro total, manganês, fluoretos e de TSD em água de poços tubulares foram representados espacialmente utilizando-se o programa ArcView 9.2 (ESRI).

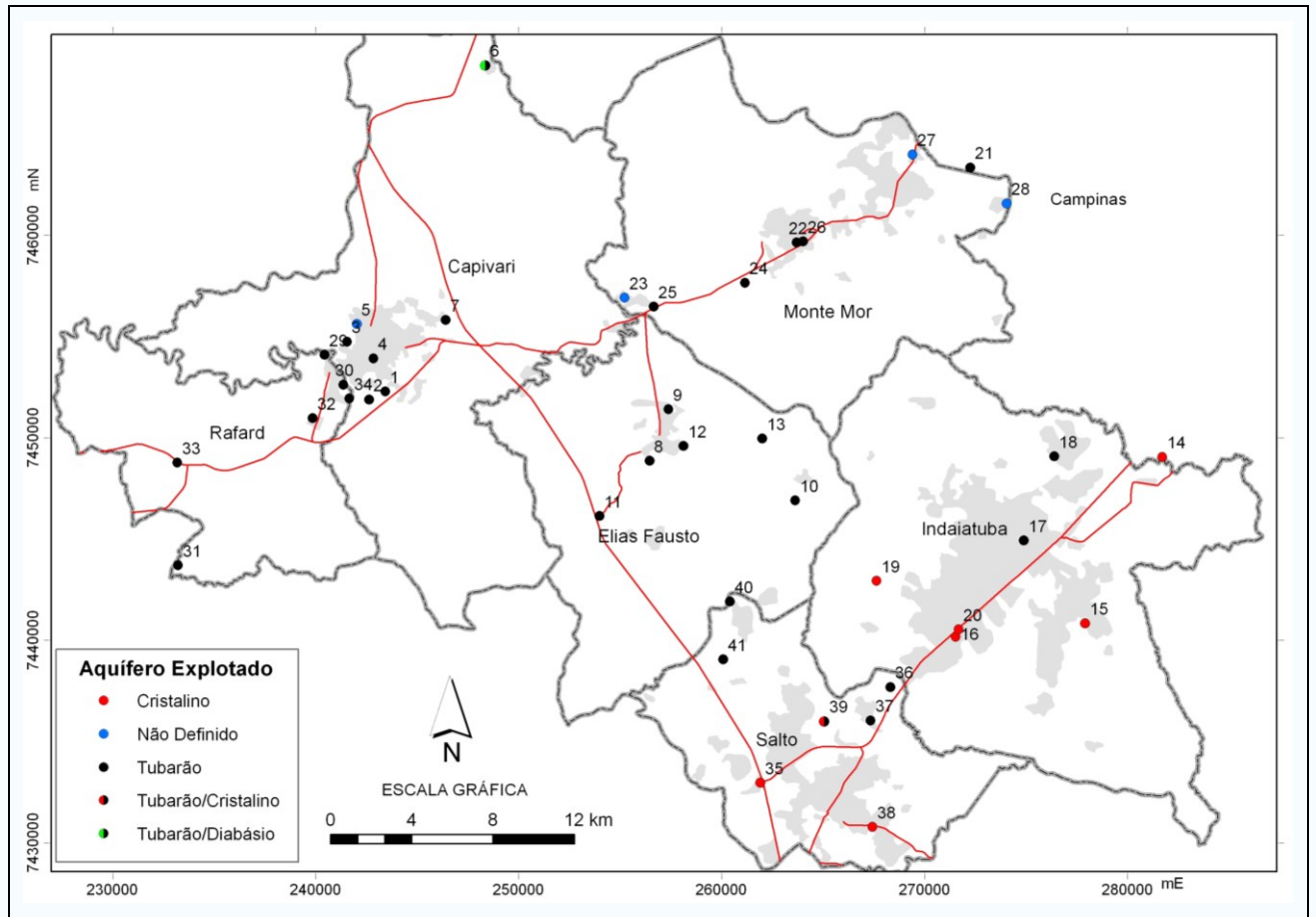
Para a análise hidroquímica, foram considerados, além dos resultados destas amostras, dados de outros trabalhos e de laudos retirados dos relatórios de poços outorgados. Desta forma, parâmetros como nitratos, sulfatos, cloretos, ferro e manganês foram utilizados para indicar a presença de contaminantes nos aquíferos. O íon fluoreto foi analisado devido à constatação de elevadas concentrações naturais em poços da região.

A análise isotópica foi utilizada como uma ferramenta de auxílio na compreensão do comportamento do aquífero quanto às condições de fluxo da água subterrânea.

### 6.6.3. Hidroquímica

Os dados analíticos e outras informações dos poços tubulares amostrados na Região entre Indaiatuba e Rafard são apresentados na Tabela 28 e na Figura 28. Do total de 41 poços, 7 exploram águas do Aquífero Cristalino, 28 do Aquífero Tubarão, 2 de poços mistos (Tubarão/Cristalino) e 7 de aquífero não definido.

No Aquífero Cristalino as águas são do tipo bicarbonatadas sódicas (Na-Ca-HCO<sub>3</sub>) e bicarbonatadas cálcicas (Ca-Na-HCO<sub>3</sub>, Ca-HCO<sub>3</sub>), podendo ocorrer ocasionalmente alguns casos de águas sódicas enriquecidas em sulfato (Na-Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>) ou cloretos (Na-Ca-SO<sub>4</sub>-Cl) (Figura 29). O pH médio das águas é de 7,35 variando de 6,3 a 8,1. Suas águas são fracamente mineralizadas, constatado pelos baixos valores de condutividade elétrica, com média de 170 µS/cm. Um poço em Salto (SA-1) apresentou valor elevado de CE (1306 µS/cm) e não foi considerado na média por representar uma anomalia que deverá ser investigada quanto à origem da salinidade.



**FIGURA 28 - Localização dos poços tubulares profundos amostrados.**

As águas do Aquífero Tubarão também são predominantemente bicarbonatadas sódicas ( $\text{Na-HCO}_3$ ,  $\text{Na-Ca-HCO}_3$ ), podendo ocorrer águas bicarbonatadas cálcicas ( $\text{Ca-Na-HCO}_3$ ,  $\text{Ca-Mg-Na-HCO}_3$ ) e magnesianas ( $\text{Mg-Ca-HCO}_3$ ) e águas sulfatadas ( $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ ,  $\text{Na-Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$ ) (Figura 29). Os valores de pH variam de 6,2 a 9,6 e a média é de 8,15 denotando característica alcalina. A mineralização deste aquífero também é considerada fraca, apesar de apresentar valores mais elevados de condutividade elétrica em relação ao Aquífero Cristalino, variando de 54 a 442  $\mu\text{S/cm}$ , com média de 273  $\mu\text{S/cm}$ .

Os tipos predominantes de água nos poços mistos (Tubarão/Cristalino) são similares aos anteriores e o pH médio é de 8,25. Estas águas também apresentam salinidade mais elevada em relação ao Aquífero Cristalino, com média de 305  $\mu\text{S/cm}$ .

Os principais tipos hidroquímicos foram representados por meio de diagramas de Piper (figura 29) e de Stiff no mapa da Figura 30 para mostrar sua distribuição na área de estudo.

TABELA 28 - Dados dos poços tubulares amostrados e resultados físico-químicos, químicos e isotópicos das águas subterrâneas da região estudada.

Nº	AMOSTRA	Nº POÇO IG	UTME (m)	UTMN (m)	AQUÍFERO	PROF (m)	CE (µS/cm)	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Fe <sub>t</sub>	CLASSIFICAÇÃO DE PIPER
									(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
									250.00*	250.00*	1.5*	200.00*				0.2*	0.1*	0.3*			
1	CAP - 1	1675	243426	7452292	T	301	321	8,3	154	<2,00	36,1	3,51	1,54	60,6	10,4	1,01	0,3	<0,010	<0,010	<0,010	Na-HCO3-SO4
2	CAP - 2	1703	242620	7451888	T	300	274	7,8	181	<2,00	2,25	0,51	0,06	42,5	25,5	1,70	1,03	<0,010	<0,010	<0,010	Na-Ca-HCO3
3	CAP - 3	355	241540	7454750	T	300	259	8,3	163	<2,00	7,53	0,57	0,1	50,4	8,65	1,44	0,34	<0,010	<0,010	<0,010	Na-HCO3
4	CAP - 4	1674	242836	7453930	T	292	271	7,9	148	<2,00	12,1	5,28	0,17	58,5	3,36	0,78	0,23	<0,010	<0,010	<0,010	Na-HCO3
5	CAP - 5	860	242010	7455622	ND	300	286	7,8	189	<2,00	5,02	1,43	<0,02	34,7	28,6	1,75	0,69	<0,010	0,018	<0,010	Na-Ca-HCO3
6	CAP - 6	584	248340	7468375	TD	400	311	9,6	130	36,7	2,78	0,38	0,37	72,4	1,95	<0,025	<0,20	0,014	<0,010	<0,010	Na-HCO3-CO3
7	CAP - 7	918	246394	7455822	T	137	308	6,7	143	<2,00	21,10	10,2	<0,02	23,4	34,3	4,35	1,84	<0,010	0,036	<0,010	Ca-Na-HCO3
8	EF - 1	4207	256427	7448870	T	320	299	7,9	194	<2,00	5,32	0,71	0,08	35,6	27,3	3,89	2,07	<0,010	0,36	0,13	Na-Ca-HCO3
9	EF - 2	2937	257363	7451410	T	252	255	8,4	164	<2,00	6,32	0,33	0,05	57,9	2,2	0,3	0,3	<0,010	<0,010	<0,010	Na-HCO3
10	EF - 3	4213	263616	7446913	T	172	284	7,9	188	<2,00	2,40	0,43	0,02	29,7	32,3	6,17	2,13	<0,010	0,13	0,046	Ca-Na-HCO3
11	EF - 4	4182	253970	7446139	T	104	53,9	6,2	30,1	<2,00	1,07	0,97	0,03	6,63	1,47	1,19	2,6	0,019	<0,010	0,011	Na-HCO3
12	EF - 5	4191	258096	7449600	T	102	356	7,5	245	<2,00	4,33	0,08	0,12	20,2	45,6	8,71	1,2	<0,010	0,62	<0,010	Ca-Na-HCO3
13	EF - 6	3366	261988	7449970	T	156	219	8,2	145	<2,00	3,12	0,21	0,06	25,8	17,6	3,29	1,71	<0,010	0,11	<0,010	Na-Ca-HCO3
14	IN - 1	3523	281697	7449060	C	220	188	7,6	91,4	<2,00	11,40	5,42	1,41	28,9	9,44	1,91	<0,20	<0,010	<0,010	<0,010	Na-Ca-HCO3
15	IN - 2	4345	277878	7440847	C	80	291	7,1	109	<2,00	7,28	11,3	0,29	22,3	24,7	10,2	3,18	<0,010	0,016	0,056	Ca-Na-Mg-H
16	IN - 3	3668	271521	7440175	C	250	212	8,1	121	<2,00	9,35	1,21	1,72	40,8	7,11	0,4	0,55	0,025	<0,010	<0,010	Na-HCO3
17	IN - 4	3854	274859	7444935	T	282	291	7,9	149	<2,00	2,52	5,41	0,13	40,1	14,4	4,95	1,8	0,028	<0,010	<0,010	Na-Ca-HCO3
18	IN - 5	3929	276362	7449094	T	74	175	7,5	112	<2,00	2,43	0,21	0,08	12,4	20,6	2,15	1,96	0,023	<0,010	<0,010	Ca-Na-HCO3
19	IN - 6	3867	267613	7442943	C	144	28,5	6,3	17,7	<2,00	0,15	0,02	<0,02	2,24	1,37	0,51	2,28	0,012	<0,010	<0,010	Na-Ca-HCO3-CO3
20	IN - 7	4305	271659	7440546	C	270	107	6,9	67,2	<2,00	0,16	0,16	0,05	6,87	9,59	3,09	1,62	0,016	<0,010	<0,010	Ca-Na-Mg-HCO3
21	MM - 1	4430	272230	7463350	T		156	8	103	<2,00	3,61	0,32	0,04	32,4	2,48	0,21	0,75	0,032	<0,010	<0,010	Na-HCO3
22	MM - 2	569	263676	7459650	T	315	371	9,2	192	16,60	12,30	1,72	0,29	88	0,99	0,056	1,87	0,011	<0,010	<0,010	Na-HCO3
23	MM - 3	3926	255212	7456920	ND		406	9	241	11,30	7,15	0,86	0,15	99,5	1,21	0,18	<0,20	<0,010	<0,010	<0,010	Na-HCO3
24	MM - 4	1448	261129	7457662	T	186	209	8,9	103	13,10	4,37	0,16	0,09	47,3	1,6	0,039	<0,20	<0,010	<0,010	<0,010	Na-HCO3
25	MM - 5	570	256632	7456483	T	236	442	9,1	245	22,20	8,22	1,2	0,21	108	1,02	0,11	<0,20	0,014	<0,010	<0,010	Na-HCO3
26	MM - 6	4154	263996	7459708	T	150	345	9,2	177	18,30	10,50	1,43	0,25	82,1	1,02	0,033	<0,20	0,012	<0,010	<0,010	Na-HCO3
27	MM - 7	1441	269397	7463997	ND		97,3	6,3	46	<2,00	0,45	1,9	0,06	9,47	4,54	2,15	3,53	<0,010	0,01	<0,010	Na-Ca-HCO3
28	MM - 8	1648	274017	7461580	ND		197	6,6	94,7	<2,00	1,88	11,5	<0,02	17,5	15,1	3,07	3,09	<0,010	<0,010	<0,010	Na-Ca-HCO3
29	RA - 1	317	240416	7454105	T	251	415	8,8	234	6,98	12,80	6,64	0,25	97,5	1,61	0,084	1,91	0,01	<0,010	<0,010	Na-HCO3
30	RA - 2	1081	241362	7452632	T	181	299	9,1	170	8,73	9,07	1,42	0,21	69,5	1,32	0,1	0,51	<0,010	<0,010	<0,010	Na-HCO3
31	RA - 3	315	233205	7443705	T	160	260	8	165	<2,00	9,64	0,9	0,10	35	20,3	2,63	1,11	<0,010	0,11	<0,010	Na-Ca-HCO3
32	RA - 4	1834	239832	7450975	T	340	222	7	126	<2,00	0,30	8,84	0,10	11	20,9	8,38	2,01	<0,010	<0,010	<0,010	Ca-Mg-Na-HCO3
33	RA - 5	1830	233173	7448782	T	120	230	9,2	99,1	18,80	8,48	0,82	0,23	51,1	2,29	0,33	<0,20	0,019	<0,010	<0,010	Na-HCO3-CO3
34	RA - 6	1079	241641	7451944	T	176	227	8,7	135	6,09	2,36	0,73	0,11	50,4	3,85	0,087	0,26	<0,010	<0,010	<0,010	Na-HCO3
35	SA - 1	4444	261890	7432970	C	198	1306	7,8	103	<2,00	469,00	95,3	2,58	148	132	4,52	0,53	0,03	0,021	<0,010	Ca-Na-SO4
36	SA - 2	4145	268300	7437700	T	150	309	7,8	108	<2,00	45,40	11,4	0,54	29,6	24	5,09	1,58	0,029	<0,010	<0,010	Na-Ca-HCO3-SO4
37	SA - 3	948	267331	7436051	T	200	335	8,2	131	<2,00	38,90	9,44	3,49	54,4	16,7	0,55	0,26	0,024	<0,010	<0,010	Na-Ca-HCO3-SO4
38	SA - 4	3821	267419	7430794	C	270	195	7,7	118	<2,00	1,67	0,69	1,26	16,1	18,8	3,58	0,54	0,025	<0,010	<0,010	Ca-Na-HCO3
39	SA - 5	3665	265030	7435994	TC	282	320	8,6	133	2,62	22,80	5,14	7,45	69,9	4,25	0,066	0,18	0,03	<0,010	<0,010	Na-HCO3
40	SA - 6	4129	260393	7441919	T	190	274	8,6	167	3,93	7,87	0,24	<0,02	63,7	2,54	0,59	0,69	0,021	<0,010	<0,010	Na-HCO3
41	SA - 7	952	260063	7439064	T	120	237	7,7	158	<2,00	1,93	0,44	<0,02	18,1	20,5	5,6	2,05	0,017	0,027	<0,010	Ca-Na-HCO3

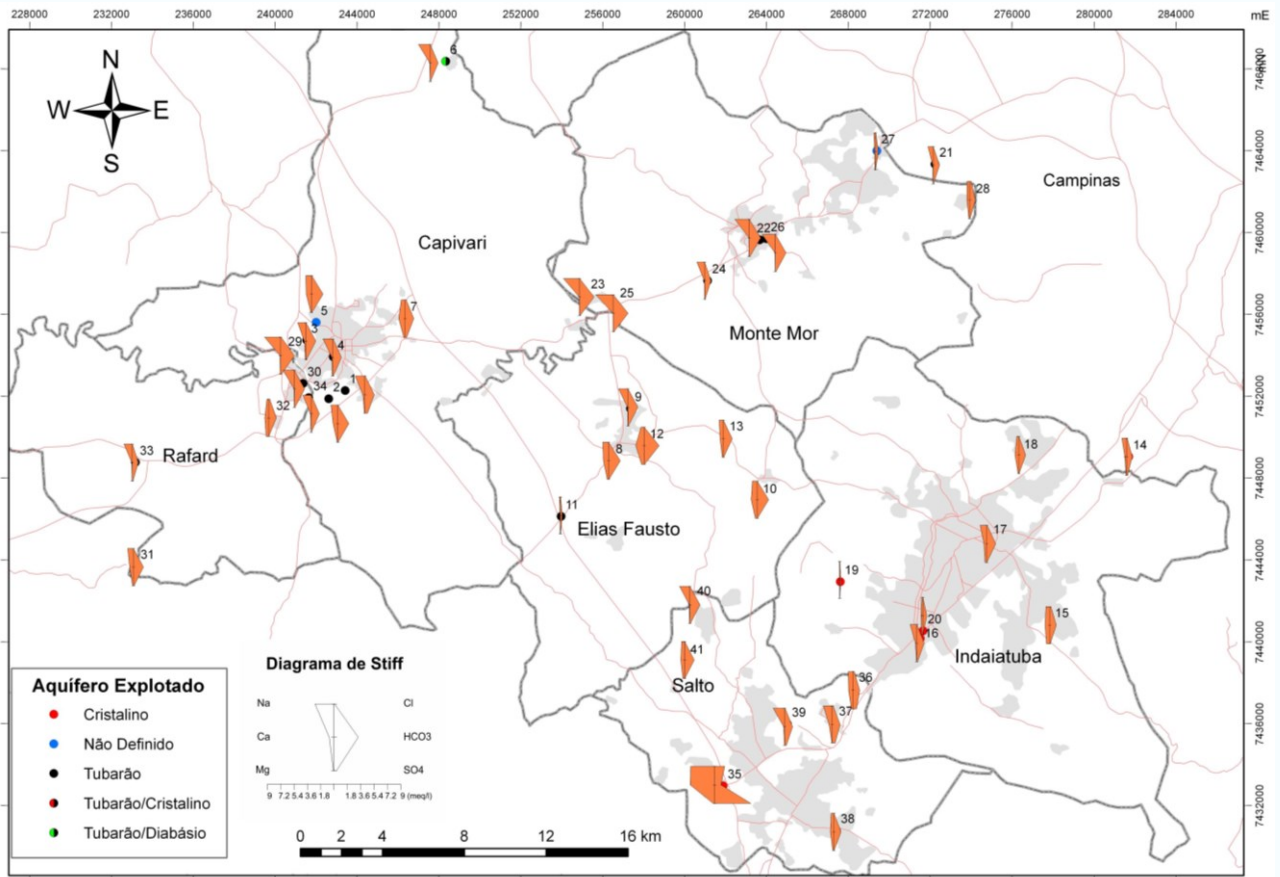
Aquífero: T=Tubarão; C=Cristalino; TC=Tubarão/Cristalino; ND=Não Definido

\* Limite de Potabilidade (em mg/L)

**TABELA 28 - Dados dos poços tubulares amostrados e resultados físico-químicos, químicos e isotópicos das águas subterrâneas da região estudada (continuação).**

Nº	AMOSTRA	Li <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	P	Si	Sr <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>	Cr <sub>T</sub>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Acetato (CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> )	Oxalato (C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	δD (V-SMOW)	δ <sup>18</sup> O (V-SMOW)
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	‰
1	CAP - 1	< 0,05	0,017	< 0,10	9,56	0,15	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	0,46	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-61,56	-8,25
2	CAP - 2	< 0,05	0,024	< 0,10	16	0,23	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	1,1	< 0,02	0,86	< 0,01	< 0,15	0,49	< 0,15	-51,08	-6,96
3	CAP - 3	< 0,05	0,11	< 0,10	9,04	0,23	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	0,3	< 0,01	< 0,15	0,26	< 0,15	-60,87	-8,25
4	CAP - 4	< 0,05	0,26	< 0,10	7,58	0,093	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	3,95	< 0,01	< 0,15	0,26	< 0,15	-55,93	-7,75
5	CAP - 5	< 0,05	0,11	< 0,10	14,7	0,29	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,012	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-52,40	-7,28
6	CAP - 6	< 0,05	0,016	< 0,10	8,63	0,052	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,014	< 0,010	< 0,010	0,036	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-60,87	-8,15
7	CAP - 7	< 0,05	0,25	< 0,10	18,9	0,41	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,52	< 0,020	< 0,05	< 0,02	9,03	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-44,75	-6,33
8	EF - 1	< 0,05	0,13	< 0,10	20,7	0,19	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	0,43	< 0,01	0,63	0,27	< 0,15	-53,00	-7,59
9	EF - 2	< 0,05	0,014	< 0,10	5,35	0,096	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	0,28	< 0,01	< 0,15	0,33	< 0,15	-63,44	-8,96
10	EF - 3	< 0,05	0,12	< 0,10	24,4	0,21	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	0,02	0,26	< 0,01	< 0,15	0,33	< 0,15	-48,46	-7,12
11	EF - 4	< 0,05	0,03	< 0,10	18,7	0,023	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	1,39	< 0,01	0,15	< 0,10	< 0,15	-49,80	-7,04
12	EF - 5	< 0,05	0,24	< 0,10	19,7	0,19	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-46,51	-7,04
13	EF - 6	< 0,05	0,11	< 0,10	17,2	0,31	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,039	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-53,88	-7,83
14	IN - 1	< 0,05	0,2	< 0,10	17,8	0,13	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,013	< 0,020	< 0,05	< 0,02	0,3	< 0,01	0,42	< 0,10	< 0,15	-51,56	-7,70
15	IN - 2	< 0,05	0,21	< 0,10	25,8	0,31	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	1,08	< 0,020	< 0,05	0,2	44,5	< 0,01	0,65	0,25	< 0,15	-43,68	-6,60
16	IN - 3	< 0,05	0,11	< 0,10	8,96	0,21	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-50,02	-7,40
17	IN - 4	< 0,05	0,21	< 0,10	10,6	0,29	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,053	< 0,020	< 0,05	< 0,02	24,6	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-46,86	-7,01
18	IN - 5	< 0,05	0,048	< 0,10	26	0,11	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,021	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,37	< 0,10	< 0,15	-45,67	-7,11
19	IN - 6	< 0,05	0,035	< 0,10	13,1	0,014	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,011	< 0,010	0,004	0,026	< 0,05	< 0,02	0,15	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-45,41	-6,92
20	IN - 7	< 0,05	0,025	< 0,10	17,7	0,061	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,012	< 0,020	< 0,05	< 0,02	0,96	< 0,01	0,27	< 0,10	< 0,15	-42,81	-6,52
21	MM - 1	< 0,05	0,009	< 0,10	9,1	0,072	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,015	0,012	< 0,020	< 0,05	< 0,02	0,21	< 0,01	0,4	< 0,10	< 0,15		
22	MM - 2	< 0,05	0,008	< 0,10	5,96	0,031	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	0,04	0,67	< 0,01	< 0,15	0,57	< 0,15	-65,39	-8,94
23	MM - 3	< 0,05	0,018	< 0,10	5,52	0,036	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	0,02	0,5	< 0,01	< 0,15	0,62	< 0,15	-61,79	-8,90
24	MM - 4	< 0,05	0,011	< 0,10	8,25	0,023	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,025	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-60,79	-8,70
25	MM - 5	< 0,05	0,009	< 0,10	4,83	0,013	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-61,83	-8,97
26	MM - 6	< 0,05	< 0,005	< 0,10	5,13	0,018	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,022	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-62,00	-9,14
27	MM - 7	< 0,05	0,15	0,47	18,2	0,067	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,012	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	8,32	< 0,01	1,3	< 0,10	< 0,15	-49,55	-6,91
28	MM - 8	< 0,05	0,21	< 0,10	15,8	0,22	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	1,89	< 0,01	0,37	< 0,10	< 0,15	-49,13	-7,18
29	RA - 1	< 0,05	0,031	< 0,10	5,92	0,11	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,026	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	0,59	< 0,15	-55,70	-8,04
30	RA - 2	< 0,05	0,047	< 0,10	6,18	0,049	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	8,71	< 0,01	< 0,15	0,27	< 0,15	-61,93	-9,00
31	RA - 3	< 0,05	0,22	< 0,10	14,5	0,13	< 0,010	< 0,010	0,017	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-58,46	-8,44
32	RA - 4	< 0,05	0,053	0,2	24,2	0,16	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,027	< 0,010	0,048	< 0,020	< 0,05	< 0,02	0,15	< 0,01	0,52	< 0,10	< 0,15	-42,48	-5,56
33	RA - 5	< 0,05	< 0,005	< 0,10	7,86	0,029	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-60,07	-8,76
34	RA - 6	< 0,05	0,027	< 0,10	8,29	0,076	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-54,80	-8,23
35	SA - 1	< 0,05	0,018	< 0,10	6,01	2,18	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,48	< 0,020	1,6	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	2,27	< 0,15	-52,07	-7,93
36	SA - 2	< 0,05	0,11	< 0,10	13,5	0,32	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-48,97	-7,51
37	SA - 3	< 0,05	0,021	< 0,10	9,35	0,55	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,019	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-55,85	-8,09
38	SA - 4	< 0,05	< 0,005	< 0,10	19,8	0,095	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,17	0,024	< 0,05	0,14	< 0,10	< 0,01	< 0,15	1,02	< 0,15	-48,15	-7,31
39	SA - 5	< 0,05	< 0,005	< 0,10	5,88	0,12	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,016	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	< 0,10	< 0,15	-60,89	-9,03
40	SA - 6	< 0,05	0,027	< 0,10	5,49	0,15	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,01	0,041	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,15	1,59	< 0,15	-66,02	-9,73
41	SA - 7	< 0,05	0,013	< 0,10	17,4	0,28	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01					





**FIGURA 30 - Classificação hidroquímica de águas de poços tubulares profundos nos municípios estudados.**

Constata-se que em Indaiatuba predominam águas bicarbonatadas cálcicas e em direção a oeste, Elias Fausto, Monte Mor, Capivari, predominam águas bicarbonatadas sódicas. O mesmo ocorre, em direção a Salto, a sudoeste. Este aumento da concentração de sódio nas águas foi observado por Vidal *et al.* (2005), que o correlacionou ao aumento dos valores de condutividade elétrica, da borda da Bacia Sedimentar do Paraná em direção ao interior e às áreas de descarga (Rio Tietê em Salto).

#### 6.6.4. Análises Isotópicas

As concentrações de isótopos estáveis determinadas para amostras de águas do Sistema Aquífero Cristalino variaram de  $-7,96$  a  $-6,52$  ‰ para o  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $-52,06$  a  $-42,81$  ‰ para o  $\delta\text{D}$ . Nas amostras do Sistema Aquífero Tubarão os valores variaram de  $-9,72$  a  $-5,56$  ‰ para o  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $-52,06$  a  $-42,81$  ‰ para o  $\delta\text{D}$ . Os dados estatísticos são apresentados na Tabela 29.

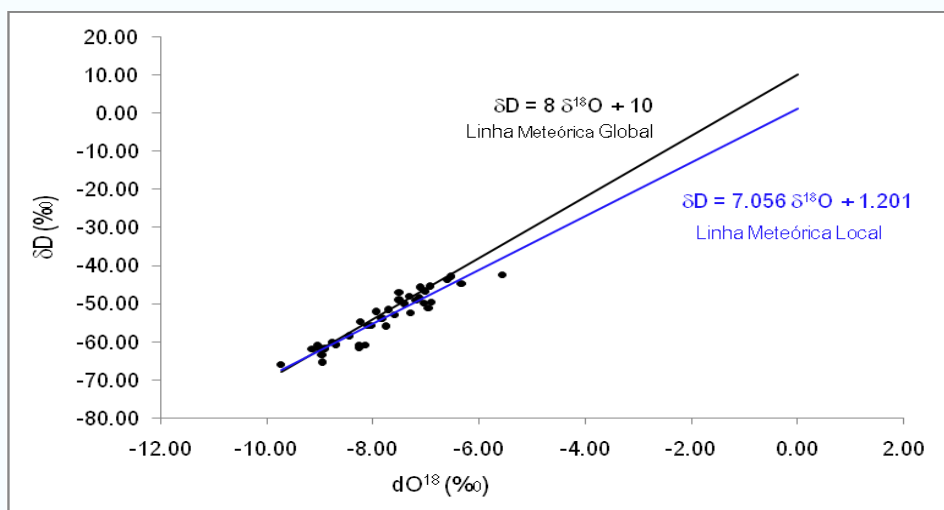


**TABELA 29 - Dados estatísticos dos isótopos estáveis de oxigênio e hidrogênio para águas dos Aquíferos Cristalino e Tubarão.**

AQUIFERO	NÚMERO DE AMOSTRAS	VALORES	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	$\delta\text{D}$ ‰
Cristalino	6	mínimo	-7,93	-52,07
		máximo	-6,52	-42,81
		média	-7,06	-47,67
		desvio padrão	0,58	3,76
Tubarão	27	mínimo	-9,73	-66,02
		máximo	-5,56	-42,48
		média	-7,77	-54,93
		desvio padrão	1,07	6,99

Vidal (2002) obteve média similar de  $\delta\text{D}$  (-57,201) e  $\delta^{18}\text{O}$  (-8,57) para o Aquífero Tubarão em 16 poços amostrados em Capivari, Monte Mor, Elias Fausto e Rafard.

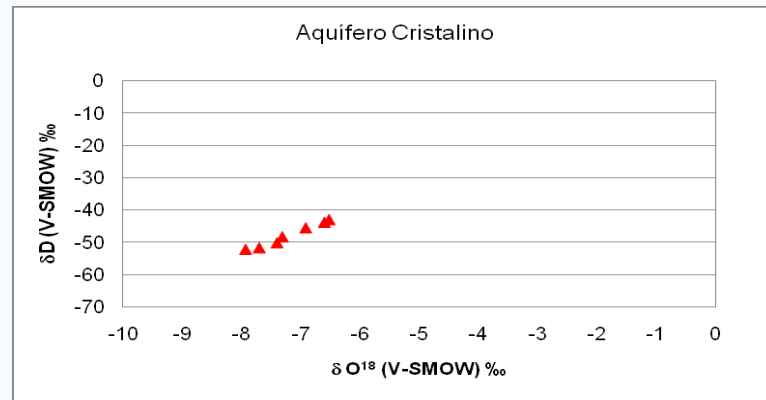
A projeção dos dados isotópicos em diagrama da Figura 31 demonstra que a maior parte das amostras está próxima à linha meteórica global, indicando que a composição das águas subterrâneas pode ser controlada pelas águas meteóricas.



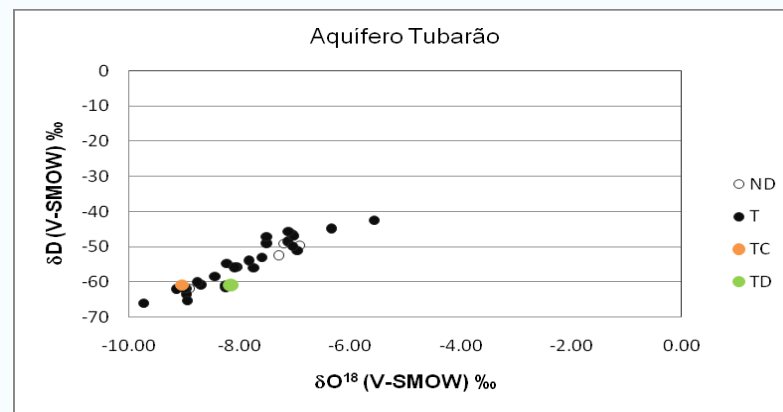
**FIGURA 31 - Correlação isotópica entre os isótopos D e  $^{18}\text{O}$ .**

As correlações entre  $\delta\text{D}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das águas dos Aquífero Cristalino e Tubarão (incluindo neste grupo os poços mistos Tubarão/Cristalino, Tubarão/Diabásio e Não definidos) são apresentadas, respectivamente, nos diagramas das Figuras 32 e 33.





**FIGURA 32 - Correlação entre  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  para o Aquífero Cristalino.**



**FIGURA 33 - Correlação entre  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  para o Aquífero Tubarão e poços mistos.**

As amostras de água do Aquífero Cristalino são mais enriquecidas em isótopos de D e de  $O^{18}$ . Algumas amostras do Aquífero Tubarão apresentam o mesmo padrão que as do Cristalino, contudo, a maior parte delas apresenta valores de  $\delta^{18}O$  inferiores a  $-7\text{‰}$  chegando a atingir  $<-9\text{‰}$ , e valores de  $\delta D$  inferiores a  $-52\text{‰}$ .

Estas amostras com valores mais negativos de  $\delta^{18}O$  e de  $\delta D$  podem indicar que algumas porções do Aquífero Tubarão estão confinadas com a presença de águas de recarga mais antigas e associadas a um período em que o clima era frio. Aravena *et al.* (1995) encontraram padrão similar em aquífero regional confinado, ao sul de Ontário. Hirata *et al.* (2011) também associaram baixos valores de  $\delta^{18}O$  ( $<-9\text{‰}$ ) e de  $\delta D$  a uma zona confinada profunda na Bacia do Paraná com águas muito antigas ( $>10.000$  anos), cuja recarga ocorreu sob período climático frio.

Esta característica de água antiga relacionada a porções (semi-)confinadas na área de estudo indica a necessidade de estudos mais aprofundados com o objetivo de avaliar a recarga do Sistema Aquífero Tubarão, uma vez que pode implicar na necessidade de um controle na extração das águas por poços.

### 6.6.5. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas

Considerando as amostras dos 41 poços analisados neste Projeto, foram detectados alguns parâmetros que excedem o valor máximo permitido nas águas para consumo humano, conforme Portaria de Potabilidade nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011): nitrato (3 poços), manganês (6 poços); fluoreto (4 poços); sulfato (1 poço), chumbo (8 poços).

As concentrações de chumbo nas águas dos poços, embora muito próximas ao limite de detecção, estão em inconformidade com o padrão de potabilidade estabelecido e deverão ser reavaliadas, uma vez que a ocorrência deste metal em água é muito rara. Somente ocorre quando associada a alguma atividade contaminadora próxima ao poço, o que não foi constatado durante as amostragens. Desta forma, os resultados obtidos podem estar associados a um problema analítico.

O levantamento de dados de análises químicas em relatórios de outorga dos poços também permitiu avaliar a qualidade das águas subterrâneas da região. Foram selecionados cinco parâmetros como indicadores da qualidade: ferro, manganês, fluoreto, nitrato e sólidos totais dissolvidos.

#### Ferro

O ferro é o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre e o metal pesado mais abundante; está presente no ambiente, principalmente como Fe (II) ou Fe (III). A presença de ferro em águas naturais pode ser atribuída ao intemperismo de rochas e minerais, drenagem de águas ácidas de minas, lixiviados do aterro, efluentes de esgotos e indústrias relacionadas com ferro (CCREM, 1987).

Está geralmente presente nas águas superficiais, quando o pH é maior que 7, como sais contendo Fe (III). A maioria dos sais é insolúvel e estabelecem-se ou são adsorvidos nas superfícies sólidas. Sob condições redutoras, que podem existir em algumas águas subterrâneas, lagos ou reservatórios, e na ausência de sulfeto e carbonato, altas concentrações de Fe (II) solúvel podem ser encontradas (WHO, 2003).

O ferro é um elemento essencial na nutrição humana, mas sua ingestão em grandes quantidades pode acarretar efeitos tóxicos, embora não haja provas que indiquem que as concentrações de ferro comumente presentes nos alimentos ou água constituem qualquer perigo para a saúde humana. Portanto, uma concentração máxima aceitável não foi definida.

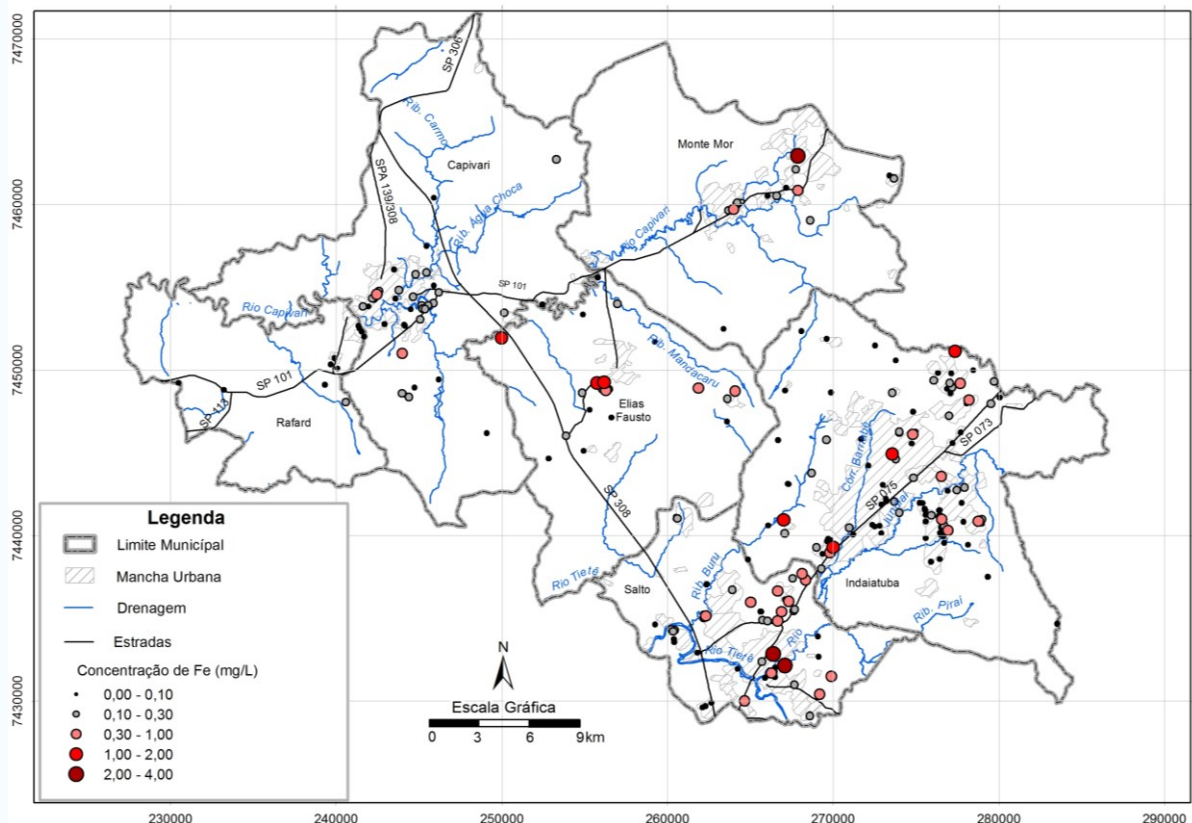
A ingestão de grandes quantidades de ferro resulta em hemocromatose, condição em que os mecanismos de regulação não funcionam eficazmente, levando a danos nos tecidos, como resultado da acumulação de ferro. Esta condição raramente se desenvolve a partir de simples sobrecarga dietética. O dano tecidual ocorre, entretanto, em associação com a ingestão excessiva de ferro em bebidas alcoólicas em alguns casos de alcoolismo. O dano tecidual também pode resultar em consumo prolongado de alimentos ácidos cozidos em utensílios de cozinha de ferro (WHO, 2003).

A presença de ferro na água de abastecimento destinada ao uso doméstico é desagradável por um número de razões que não estão relacionados à saúde. Sob determinadas condições de pH prevalentes no abastecimento de água potável, os sais de Fe (II) são instáveis e reagem com água para formar hidróxidos insolúveis, que conferem cor de ferrugem à água. A água em que isso ocorre muitas vezes apresenta aparência e gosto intragável, podendo manchar a roupa, utensílios

domésticos e as canalizações. No sistema de distribuição, o ferro pode formar depósitos na rede de distribuição e reduzir gradualmente o caudal através do tubo. O ferro pode também promover o crescimento de ferro-bactérias. Estes microrganismos obtêm energia a partir da oxidação do Fe (II) a Fe (III), e, no processo, uma camada viscosa é depositada nos condutos de distribuição de água, levando contaminação biológica na água para consumo humano.

Os problemas acima geralmente surgem quando a concentração de ferro é superior 0,3 mg/L. Por estes motivos, o ferro também se constitui em um Padrão de Potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,3 mg/L na Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde. É também padrão de emissão de esgoto e de classificação das águas naturais. No Estado de São Paulo, estabelece-se o limite de 15 mg/L para concentração de ferro solúvel em efluentes descarregados na rede coletora de esgotos seguidos de tratamento (Decreto Estadual nº 8468) ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)).

Ao se analisar os resultados analíticos da água de 328 poços (sendo 41 analisados neste projeto e 287 dados compilados de laudos existentes), constatou-se que, em 32 casos, o limite de potabilidade foi ultrapassado (Figura 34). O valor médio da concentração de ferro nesta região é de 0,17 mg/L, a mediana de 0,08 mg/L, variando de 0,00 a 3,22 mg/L. A ocorrência do ferro em concentrações elevadas pode estar relacionada às características das formações geológicas da região ou a problemas construtivos do poço.



**FIGURA 34 - Localização dos poços com resultado de ferro total e respectiva faixa de concentração.**

Um poço da Sabesp-Monte Mor (n° IG 4160) apresentou a concentração de ferro total na

água mais elevada de 3,22 mg/L. Outros dois poços da Sabesp-Elias Fausto (nº IG 1637, 4206) também apresentaram valores elevados, respectivamente, de 0,94 e 1,22 mg/L.

## Manganês

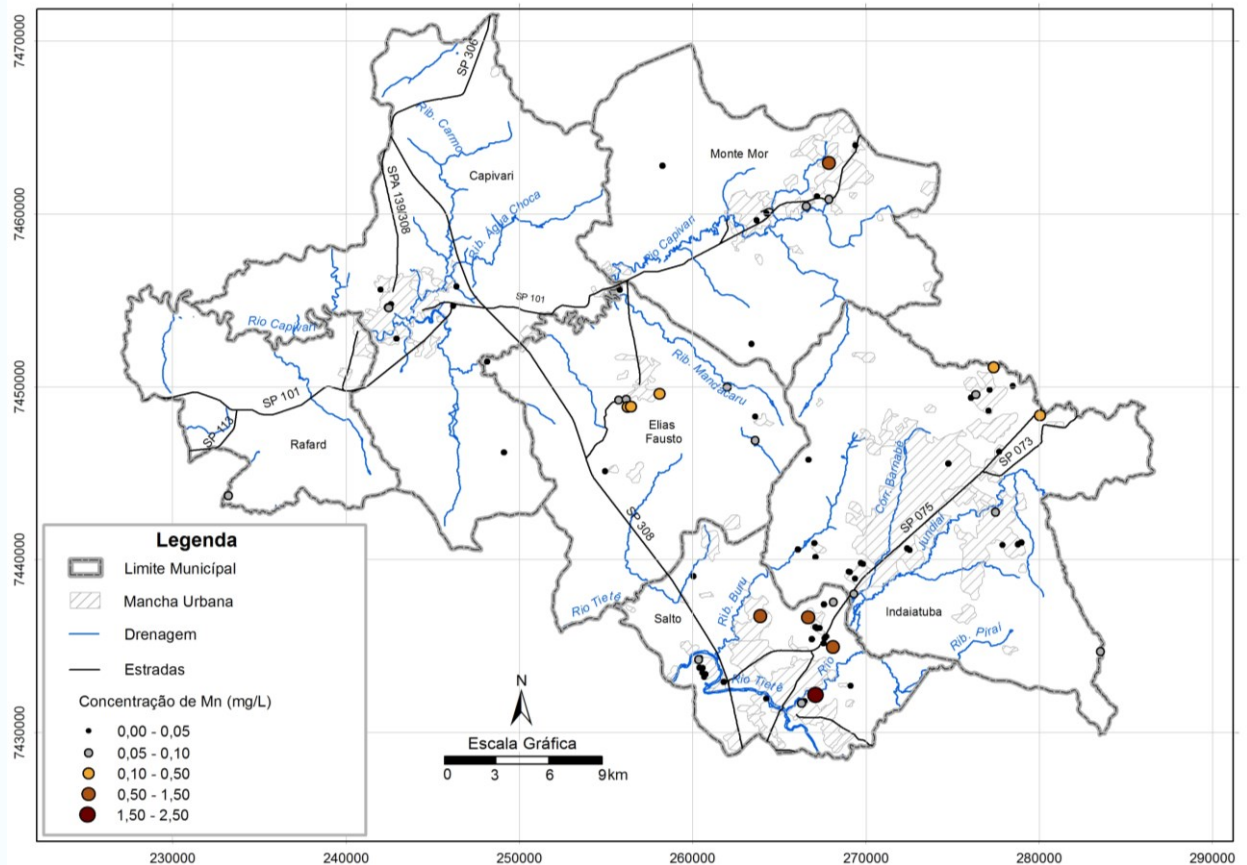
O manganês é um elemento que acompanha o ferro em virtude do seu comportamento geoquímico. Ocorre normalmente em teores abaixo de 0,2 mg/L, quase sempre como óxido de manganês bivalente, que se oxida em presença do ar, dando origem a precipitados negros. Está presente nas águas superficiais, dissolvido ou em suspensão, geralmente em concentrações abaixo de 0,05 mg/L. O manganês é mais prevalente nas águas subterrâneas do que nas águas superficiais devido ao ambiente redutor que existe na água subterrânea. Concentrações mais altas de manganês também podem ser encontradas em lagos e represas, como resultados da poluição ácida (WHO, 2003).

A presença de manganês no fornecimento de água potável pode ser desagradável por um número de razões não relacionados à saúde. Em concentrações superiores a 0,15 mg/L, o manganês confere cor e sabor desagradável à água, provocando manchas de coloração preta em roupas e utensílios sanitários. A oxidação de íons de manganês em solução resulta em precipitação de óxidos de manganês e problemas de incrustações. Mesmo em concentrações de aproximadamente 0,02 mg/L, o manganês pode formar revestimentos nas tubulações de distribuição de água que podem se desprender como precipitados de cor preta (WHO, 2003). O crescimento de certos organismos é também favorecido pelo manganês. A presença de "manganês"-bactérias, que concentram o manganês, pode dar origem ao problema de sabor, odor e turbidez da água distribuída.

É um dos elementos menos tóxicos para os mamíferos; apenas a exposição a altas concentrações resulta em efeitos na saúde humana. O manganês constitui-se em um padrão de potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,1 mg/L na Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde. O manganês acima deste limite recomendado não representa uma ameaça para a saúde. Água potável com concentrações maiores pode ser consumida com segurança ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)).

Do total de laudos de análises químicas levantados, 173 poços (dos quais 41 analisados neste projeto e 132 com dados compilados) apresentaram registros de concentração de manganês (Figura 6.6.7). Destes, 27 poços apresentam águas com valores acima do padrão de potabilidade, chegando a atingir 2,2 mg/L, sendo a média de 0,14 mg/L e mediana de 0,05 mg/L. Ao se analisar as Figuras 34 e 35 observa-se que nos poços onde ocorrem elevados teores de manganês também apresentam ferro acima da potabilidade.

O poço com maior teor de manganês na água é um poço da Sabesp-Monte Mor (nº IG 4160), com 0,78 mg/L. Outros poços de abastecimento público da Sabesp-Elias Fausto (nº IG 4160) e da Prefeitura de Rafard (nº IG 4207, 4197, 4206, 1637, 4213, 396) também apresentam valores que ultrapassam o padrão de potabilidade e variam de 0,11 a 0,36 mg/L.



**FIGURA 35 - Localização dos poços com resultados de manganês.**

## Fluoreto

A presença de íons fluoreto nas águas é considerada benéfica à saúde bucal, na dosagem de 0,7 mg/L, podendo variar de 0,6 a 0,8 mg/L, uma vez que o flúor fortalece o esmalte do dente e inibe sua desmineralização, prevenindo a cárie ([www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br)). A ingestão contínua de água com concentrações elevadas pode acarretar riscos à saúde, como a doença fluorose esquelética ou dentária, sendo esta identificada por leves manchas esbranquiçadas no esmalte do dente até manchas castanhas levando a fratura na estrutura dental; pode também ocasionar mal estar, ânsia, vômitos e até a morte quando associada à toxicidade. O limite para ingestão em água potável considerado pela Organização Mundial de Saúde é de 1,5 mg/L (WHO, 2006), também adotado pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde.

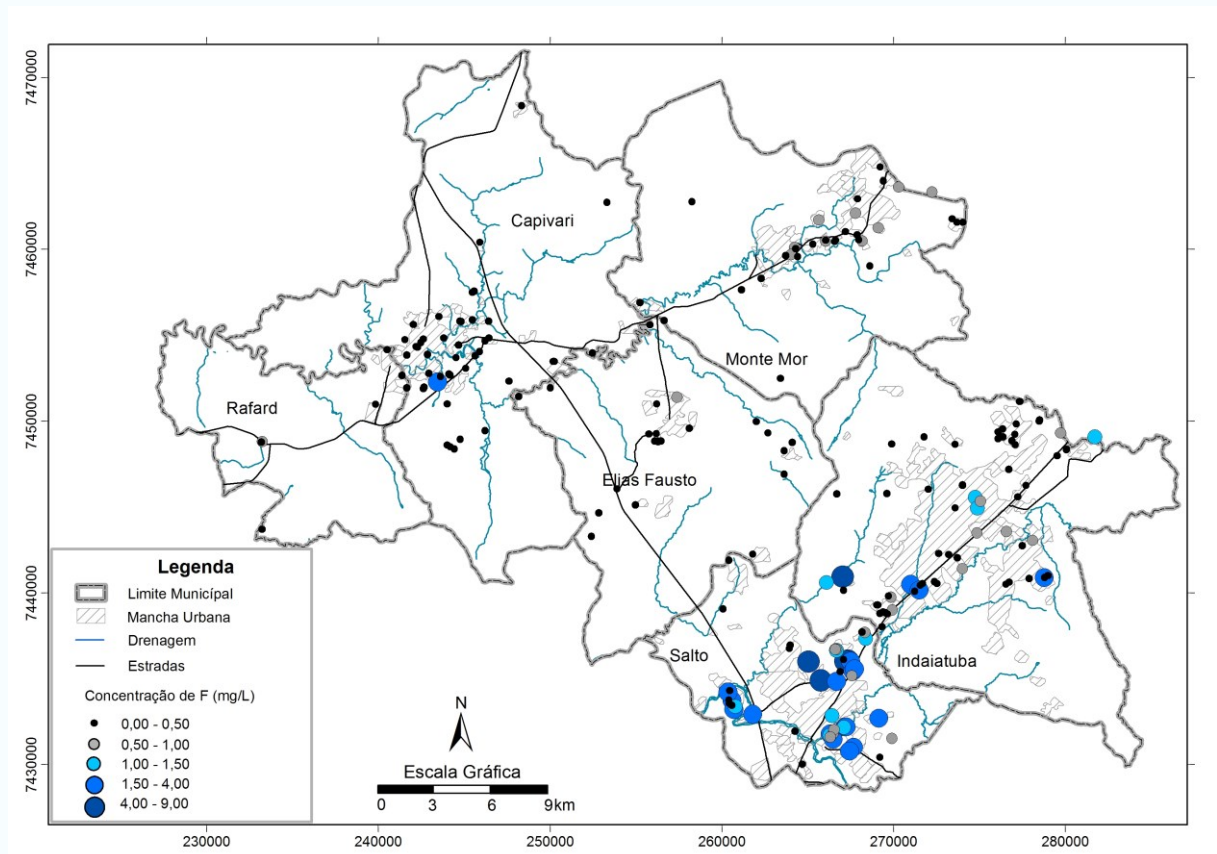
Alguns exemplos podem ser citados como fontes de fluoreto para as águas como: atividades industriais como cerâmica, produção de alumínio, fertilizantes (rochas fosfáticas), fabricação de sabões e detergentes, preparação de couros, entre outras.

Na área estudada a origem provável está na alteração e hidrólise de minerais de rocha enriquecidos em flúor, sob condições específicas de pH, temperatura, alcalinidade, etc., do meio por onde a água subterrânea percola. Ezaki *et al.* (2008) consideram a presença de flúor nas águas subterrâneas como ocorrência natural associada à alteração de minerais das rochas sedimentares e graníticas da região de Salto (SP), com teores mais elevados no Aquífero Tubarão em relação ao



Cristalino. Assim como outros autores, foram constatadas correlações positivas entre as concentrações de fluoreto, valores de pH superior a 7,5 e teores elevados de sódio.

Considerando 222 poços levantados na região de estudo, 25 ultrapassam o limite de potabilidade, predominando nos municípios de Salto e Indaiatuba em poços particulares, e pontualmente em Capivari num poço do SAAE (nº IG 1675) (Figura 36). O teor médio de fluoreto nas águas é de 0,72 mg/L e mediana 0,25 mg/L, atingindo o máximo de 8,75 mg/L.



**FIGURA 36 - Localização de poços com resultado de fluór.**

### Total de Sólidos Dissolvidos (TSD)

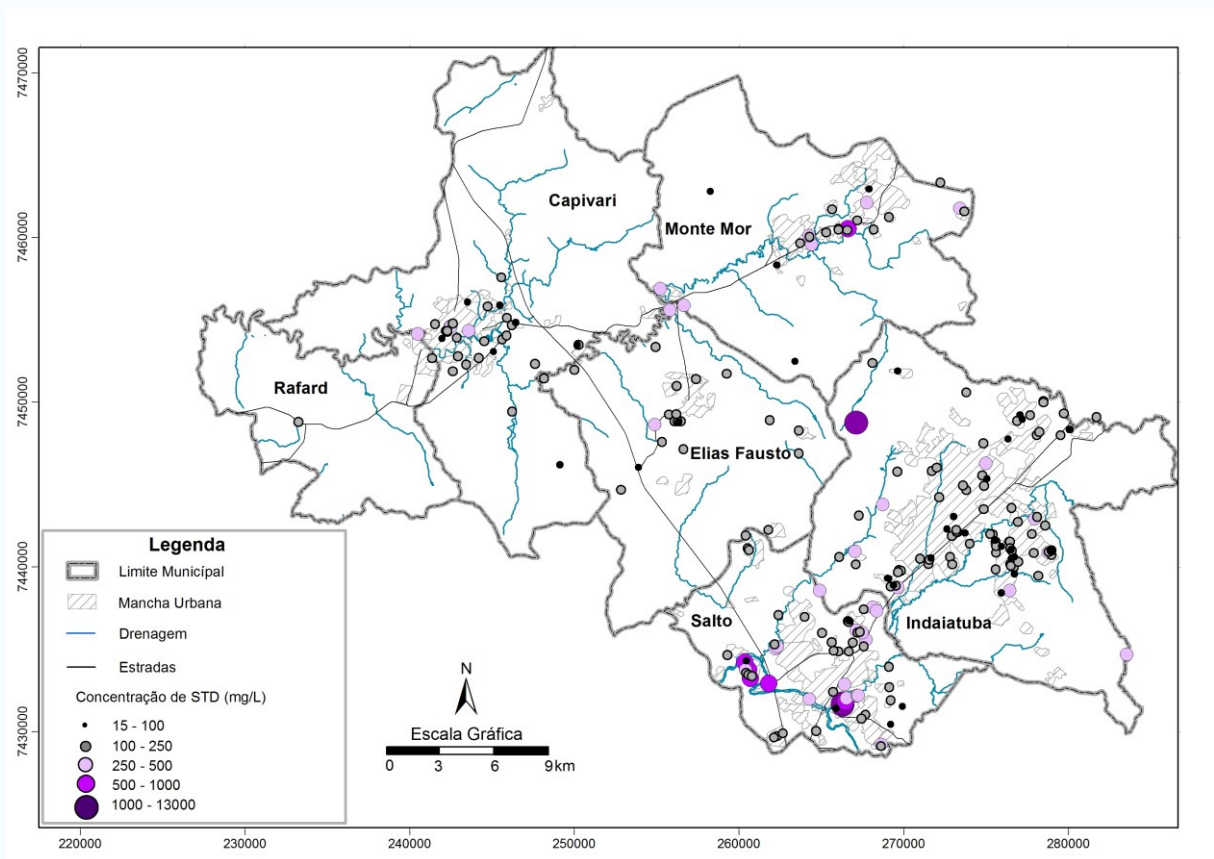
Outro aspecto relevante na região é a ocorrência de água com sabor amargo/salgado, conforme depoimentos de moradores de Salto e Indaiatuba, que denominam a água subterrânea destes poços como salobra.

Conforme Freeze & Cherry (1979), as águas são classificadas, quanto a salinidade, da seguinte forma: 0-1 g/L – águas doces; 1-10 g/L – salobras; 10-100 g/L – salinas; > 100 g/L – salmouras. Em termos de águas superficiais a Resolução CONAMA nº 357, de 17/03/2005, as classifica no território nacional em: doces – TSD<500 mg/L; salobras – 500<TSD<30.000 mg/L; e salgadas – TSD>30.000 mg/L.

O padrão de aceitação para consumo humano, segundo Portaria de Potabilidade nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, é de, no máximo, 1.000 mg/L de total de sólidos dissolvidos.

Menegasse *et al.* (2003) utilizam, como referência, o trabalho de Companhia de Saneamento de Minas Gerais/ Hidrosistemas Engenharia de Recursos Hídricos (1995) para atribuir qualidade de água para consumo humano e irrigação, conforme faixa de concentração de total de sólidos dissolvidos (mg/L): TSD ≤ 150 – Boa; 150 < TSD ≤ 500 – Razoável; 500 < TSD ≤ 1000 – Tolerável; TSD > 1000 - Inaceitável.

Para análise de TSD foram considerados 235 poços (Figura 37), dos quais 17% apresentam valores na faixa de 10 a 100 mg/L; 63,4% entre 100 e 250 mg/L; e 15,7% entre 250 e 500 mg/L. A maioria, portanto, apresenta qualidade de boa a razoável conforme Menegasse *et al.* (2003). Uma pequena parcela apresenta elevados valores de TSD, dos quais 2,6% na faixa de 500 a 1.000 mg/L e 1,3% com valores maiores que 1.000 mg/L, sendo já consideradas águas salobras.



**FIGURA 37 - Mapa de concentração de total de sólidos dissolvidos em poços profundos.**

## Nitrato

Os íons nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) ocorrem naturalmente nas águas, sendo o primeiro, a forma estável de nitrogênio combinado para sistemas oxigenados, muito solúvel e pouco reativo quimicamente, mas que pode ser reduzido a nitrito por ação microbiana (WHO, 2007).

As principais fontes de nitrato para as águas superficiais e subterrâneas podem estar associadas ao uso excessivo de fertilizantes inorgânicos nitrogenados e de esterco nas atividades agrícolas; ao vazamento de tratamento de efluentes e de tanques e fossas sépticas (excreta humano e animal); a aplicação de resíduos orgânicos em solos como lodos de tratamentos; falta de



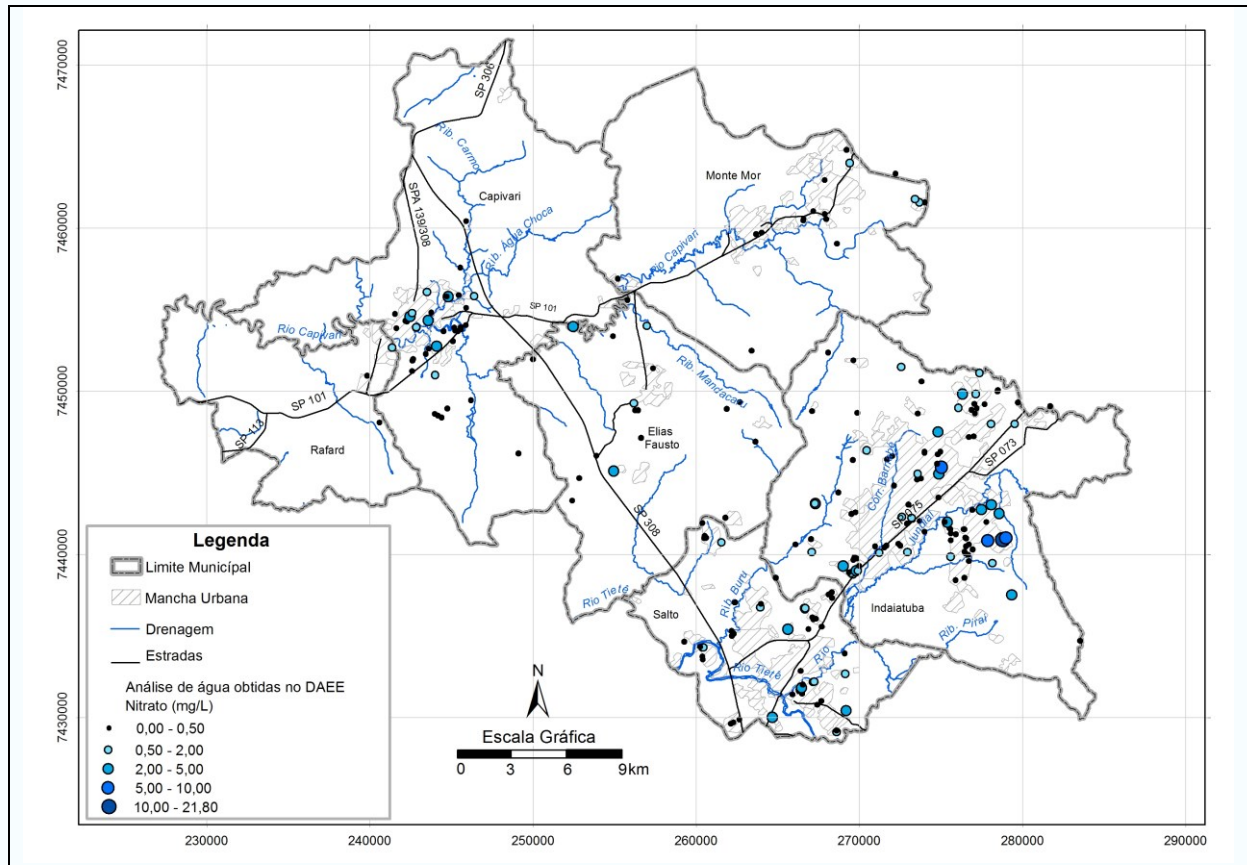
saneamento nas zonas urbanas. No solo, estes fertilizantes inorgânicos e os resíduos contendo nitrogênio orgânico são decompostos formando amônia, que é oxidado a nitrito e nitrato. Parte do nitrato pode ser absorvido pelas plantas, mas o excedente move-se rapidamente para as águas subterrâneas. Sob condições anaeróbias o nitrato pode ser denitrificado ou degradado para nitrogênio.

O limite de ingestão de nitrato pela água é de 10 mg/L de  $N-NO_3^-$  (ou o equivalente a 45 mg/L  $NO_3^-$ ), conforme Ministério da Saúde. Sua toxicidade é principalmente atribuída à redução do nitrato a nitrito no organismo, cujo efeito biológico é a oxidação de hemoglobinas normais a metahemoglobinas (10% ou mais) que são instáveis para o transporte de oxigênio para os tecidos. A redução no transporte de oxigênio (metahemoglobinemia) pode causar a coloração azul da pele e até asfixia, sendo as crianças com menos de 3 meses, as mais suscetíveis. Outros estudos envolvendo má formação congênita, efeitos cardiovasculares na tiroide e carcinogenicidade foram efetuados mas não comprovados (WHO, 2007).

O nitrato é mundialmente utilizado como indicador da contaminação das águas subterrâneas, por apresentar alta mobilidade na água subterrânea e persistência, podendo atingir extensas áreas. Nas áreas urbanas, onde os sistemas de saneamento são precários, a presença de nitrato nas águas também pode estar associada a contaminantes microbiológicos (bactérias patogênicas, vírus e protozoários) e, em alguns casos, substâncias orgânicas sintéticas ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)).

A CETESB considera concentrações de nitrogênio nitrato acima de 5,0 mg/L como indicativas de alteração do equilíbrio natural, e adota este valor como um valor de prevenção.

Ao se analisar os resultados de águas de 322 poços (sendo 41 analisados neste projeto e 281 dados compilados de laudos), constatou-se que em 3 casos o limite de potabilidade foi ultrapassado (poços IG n<sup>os</sup> 4247, 4277 e 4293) (Figura 38).



**FIGURA 38 - Mapa de concentração de nitrato em poços profundos.**

Em outros 4 poços (poços IG n<sup>os</sup> 1765, 3854, 3864 e 4345) teores entre 5 e 10 mg/L N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram constatados, já indicando a influência de atividade antrópica sobre a qualidade das águas.

O valor médio da concentração de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nesta região é de 0,85 mg/L, a mediana de 0,14 mg/L, variando de 0,00 a 21,80 mg/L.

## 7. CLASSIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA

Informações atualizadas sobre as dimensões e distribuição das diferentes formas de uso e cobertura da terra, bem como o monitoramento da expansão urbana e sua tendência de crescimento são indispensáveis para a efetivação de um planejamento preocupado em minimizar os impactos ambientais decorrentes da intervenção antrópica. Os diferentes tipos de uso da terra estão relacionados com as diversas atividades antrópicas, sejam elas urbanas ou rurais, expressando a forma como os espaços estão sendo ocupados.

O desenvolvimento de um sistema de classificação de uso e cobertura da terra teve como objetivo sua aplicação na análise de risco e vulnerabilidade à contaminação de aquíferos.

## 7.1. Sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra

O Mapa de Uso e Cobertura da Terra foi realizado em escala regional de 1:100.000 por meio da utilização de técnicas de processamento digital de imagens Landsat-TM (órbita 220 e ponto 76, de 04/06/2007) cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, que se mostraram mais adequadas ao estudo por apresentarem média resolução e disponibilidade de um maior número de bandas espectrais para análise digital dos dados.

Utilizando o Sistema de Informações Geo-referenciadas – SPRING/INPE, estas imagens foram georeferenciadas e convertidas para o sistema de projeção e datum adotados no projeto (UTM/Córrego Alegre). Para melhorar a qualidade visual da imagem, foi aplicada a técnica de realce de contraste sobre as bandas de interesse e gerada uma composição colorida (RGB – 453).

A interpretação visual deste produto foi complementada com informações e dados de campo e de ortofotos da área de estudo disponíveis.

Para as análises pretendidas foi necessário, inicialmente, realizar a fragmentação ou compartimentação do território em unidades espaciais homogêneas quanto a tipologia de uso e cobertura da terra. Estas unidades homogêneas representam as menores unidades de análise e apresentam tamanhos diferenciados em função da escala de análise ou do fenômeno a ser analisado. Sua configuração resulta da associação ou combinação de diferentes elementos da paisagem, os quais definem padrões espaciais específicos.

O mapa temático foi obtido por meio da classificação orientada a objetos no software Spring versão 4.3.3 (INPE-DPI, 2011). A análise orientada a objeto realiza uma análise sobre segmentos da imagem ou objetos construídos por meio de segmentação. Neste trabalho foi utilizado o método *battacharya* onde os objetos são construídos com base na técnica de crescimento de regiões. Neste processo, os objetos são fundidos ou não de acordo com critérios de decisão como homogeneidade e parâmetro de escala. Em função da escala de mapeamento e das características da área de estudo, foram obtidas no processo de classificação do uso e cobertura da terra sete classes temáticas, conforme Tabela 30.

**TABELA 30 - Classes de uso e cobertura da terra na escala regional.**

CLASSE TEMÁTICA	DESCRIÇÃO
Área Urbana ou Edificada	Áreas de arruamento definido, com edificações destinadas ao uso residencial, comercial e serviços, industrial, chácaras de lazer ou residenciais. Incluem ocupações consolidadas (com infra-estrutura) ou em fase de consolidação, podendo-se apresentar de forma contígua ou esparsa em relação à mancha urbana principal.
Mata	Áreas cobertas com vegetação natural, homogênea, constituída por árvores de médio a grande porte, caracterizada por alta densidade de copas.
Pasto	Áreas cobertas com vegetação rasteira, constituída predominantemente por gramíneas, podendo apresentar árvores ou arbustos isolados.
Canavicultura	Áreas cobertas predominantemente pelo cultivo de cana-de-açúcar.
Outras Culturas	Áreas cobertas com culturas temporárias e/ou permanentes (batata, uva, figo, milho, tomate, trigo, laranja).
Solo Exposto	Inclui terra arada para cultivos diversos; áreas desprovidas de vegetação devido à ação de processos erosivos ou destinadas à futura ocupação urbana (terraplanagem).
Corpos d'água	Superfícies cobertas com água (rios, córregos, açudes, lagos, tanques de piscicultura).

A Figura 39 apresenta o Mapa de uso e cobertura da terra obtido para os 6 municípios estudados, contendo a distribuição espacial das diferentes classes abordadas. Para facilitar a visualização das informações, de uso e cobertura da terra e análise por município, procedeu-se o recorte deste mapa a partir dos limites municipais (Figuras 39 a 44).

A Tabela 31 apresenta a quantificação das áreas das diversas classes de uso e cobertura da terra mapeadas no ano de 2007.

**TABELA 31 - Área e porcentagem em área das classes de uso e cobertura da terra da região estudada em 2007.**

Uso e Ocupação da Terra	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem
Urbano	140,39	10,5%
Solo Exposto	121,70	9,1%
Mata	174,10	13,0%
Pasto	259,30	19,4%
Cana	406,12	30,4%
Outras Culturas	220,10	16,5%
Corpos d'água	12,50	0,9%
<b>Área Total</b>	<b>1334,19</b>	<b>100,0%</b>

Na região estudada, quanto aos usos rurais, observa-se uma predominância das áreas cobertas com cana, outras culturas e pasto. A presença da cultura de cana-de-açúcar em extensas áreas pode causar um impacto à qualidade das águas subterrâneas em função da quantidade de insumos agrícolas e da forma de sua aplicação no solo ao longo dos anos. É, portanto, uma atividade que merece ser avaliada quanto ao seu potencial de contaminação e monitorada para averiguar possíveis alterações na composição da água.



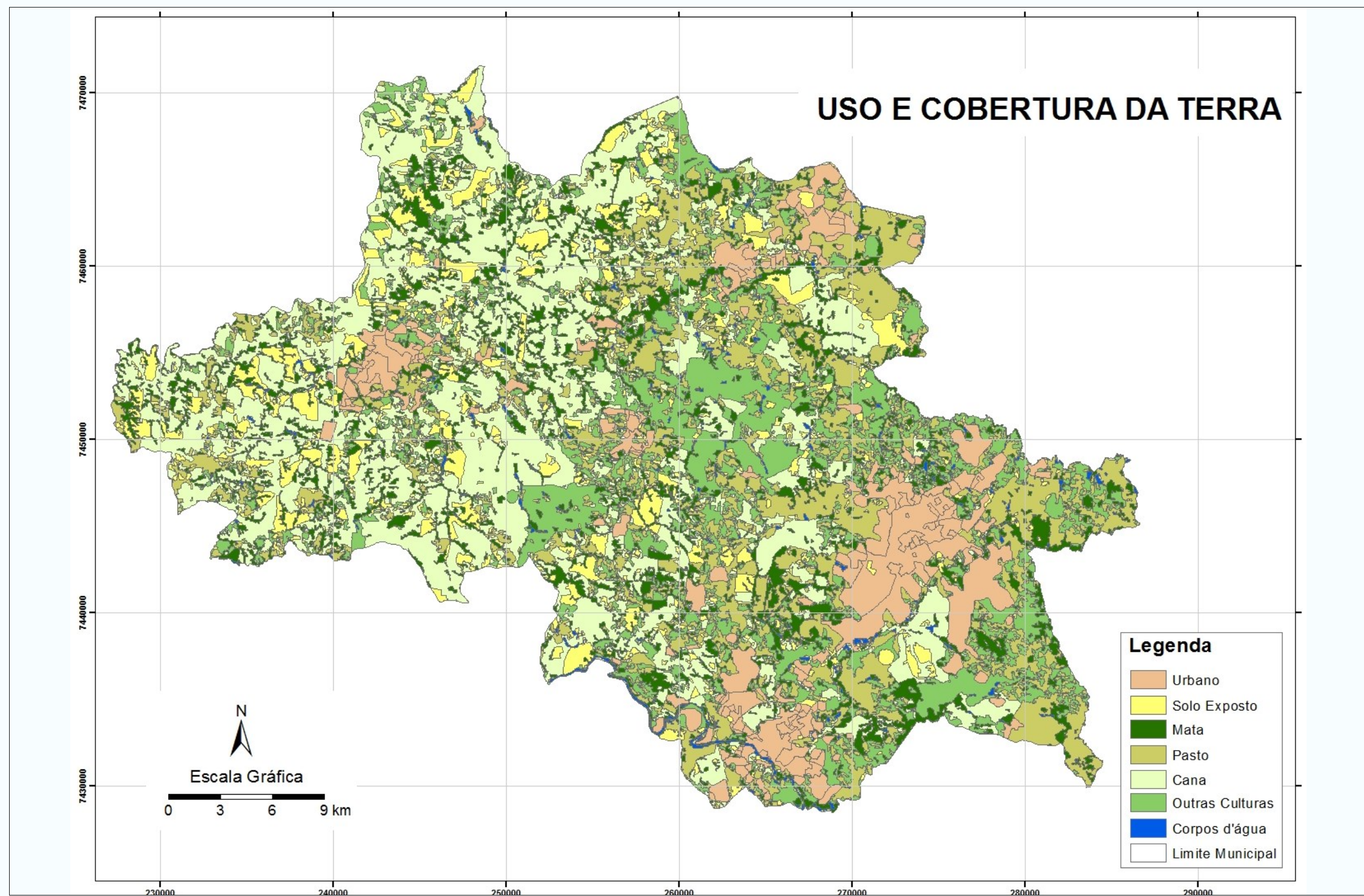


FIGURA 39 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da região que abrange os Municípios de Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard e Salto (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007; SPOT, 2007).

As culturas perenes, semiperenes e anuais foram agrupadas na classe Outras culturas, uma vez que a escala de trabalho e produtos de sensoriamento remoto utilizados não permitiram este nível de detalhamento e classificação. As culturas que necessitam de maior ou menor quantidade e variedade de defensivos agrícolas foram reunidas no mesmo grupo. Desta forma, nesta escala não foi possível estabelecer áreas em que predominam determinados tipos de culturas com potencial maior de contaminação das águas subterrâneas, o que deverá ser contemplado em estudos posteriores de maior detalhe.

Há ainda um percentual em área de mata relativamente preservado, quando se compara ao percentual em área da classe de ocupação Urbano.

A importância da análise do uso e ocupação do solo urbano em relação à proteção das águas subterrâneas está associada aos impactos que podem causar na sua qualidade e quantidade explotável, decorrentes de uma sobrecarga de atividades antrópicas, seja pelas fontes potenciais de contaminação ou pela pressão por captação de água para abastecimento.

Desta forma, é importante destacar, em cada município, as áreas mais densamente ocupadas, o tipo de ocupação do solo urbano e localização de fontes potenciais de contaminação, bem como áreas ainda pouco ocupadas, visando sua proteção.

No mapa de uso e cobertura da terra (Figura 39) são destacadas as delimitações das áreas urbanas as quais são apresentadas na forma de manchas urbanas. No item a seguir (7.2) a área urbana foi analisada de forma pormenorizada, destacando-se a tipologia de uso e a especificidade do padrão da ocupação considerando as diferenças relacionadas a densidade de ocupação.

Por meio da Tabela 32 é possível observar o total e porcentagem de área ocupada em cada categoria de uso e cobertura da terra no ano de 2007 nos 6 municípios estudados.

**TABELA 32 - Área e porcentagem em área das classes de uso e cobertura da terra por município em 2007.**

MUNICÍPIO	USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	URBANO	SOLO EXPOSTO	MATA	PASTO	CANA	OUTRAS CULTURAS	CORPOS D'ÁGUA	ÁREA TOTAL (km <sup>2</sup> )
Capivari	Área (km <sup>2</sup> )	14,60	43,41	45,80	20,00	173,30	25,10	1,44	323,65
	(%)	4,50	13,40	14,20	6,20	53,50	7,80	0,40	100,00
Elias Fausto	Área (km <sup>2</sup> )	6,40	19,40	24,70	36,05	60,50	53,72	1,82	202,59
	(%)	3,20	9,60	12,20	17,80	29,90	26,50	0,90	100,00
Indaiatuba	Área (km <sup>2</sup> )	65,84	9,41	38,42	91,00	35,00	68,43	4,00	312,10
	(%)	21,10	3,00	12,30	29,20	11,20	21,90	1,30	100,00
Monte Mor	Área (km <sup>2</sup> )	18,43	23,17	29,30	72,30	54,34	40,34	2,05	239,92
	(%)	7,70	9,70	12,20	30,10	22,60	16,80	0,90	100,00
Rafard	Área (km <sup>2</sup> )	3,00	19,72	18,73	13,00	61,10	6,40	0,70	122,65
	(%)	2,40	16,10	15,30	10,60	49,80	5,20	0,60	100,00
Salto	Área (km <sup>2</sup> )	32,20	6,61	16,55	27,31	21,74	25,80	3,00	133,21
	(%)	24,20	5,00	12,40	20,50	16,30	19,40	2,30	100,00

Ao se analisar as áreas das diferentes classes por município observa-se uma variação nos



percentuais, principalmente relacionados à classe de uso Urbano os quais serão analisados nos itens posteriores. Esta classe merece destaque uma vez que concentra a maior parte dos empreendimentos, que serão tratados como fontes potenciais de contaminação.

A seguir são apresentados os mapas de uso e cobertura da terra obtidos em cada município estudado.

- **MUNICÍPIO DE CAPIVARI**

No Município de Capivari a classe de uso do solo com maior destaque em área é a cultura canavieira que ocupa metade de seu território (53,5%) (Figura 40). Vale ressaltar que a classe solo exposto (13,40%) nas áreas rurais incluem áreas preparadas e destinadas ao cultivo da cana. Isso deve ser considerado uma vez que amplia as áreas de cultivo da monocultura.

O plantio de cana-de-açúcar é voltado para a agroindústria, tendo como principal empreendimento a Usina Açucareira Bom Retiro S/A, também produtora de álcool ([www.capivari.sp.gov.br](http://www.capivari.sp.gov.br)).



**Canavial ao norte de Capivari, próximo à Usina Bom Retiro (Fonte IG - 31/10/2005).**

As áreas das classes pasto (6,2%), outras culturas (7,8%) e mata (14,2%) distribuem-se por todo o município, havendo maior extensão das áreas de mata na porção norte.

A área urbana (4,5%) está situada na porção centro-oeste do município, com núcleos dispersos ao leste e ao norte. Apresenta elevado grau de urbanização (84,08%) (IBGE, 2006) e densidade demográfica de 150,53 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Pela proximidade com o Rio Capivari, que atravessa a cidade, a população está sujeita a eventos críticos de enchentes, como os ocorridos em fevereiro de 1970 e dezembro de 2009. Estas enchentes implicam na necessidade de um monitoramento da qualidade das águas subterrâneas de poços de abastecimento situados na área afetada, uma vez que eles podem atuar como canal de ligação entre águas superficiais e o aquífero.

O Distrito Industrial está instalado à margem da Rodovia do Açúcar SP-308, a alguns quilômetros da mancha urbana principal do município. Muitos empreendimentos industriais são anteriores a este distrito e encontram-se dispersos ou aglomerados no centro urbano.



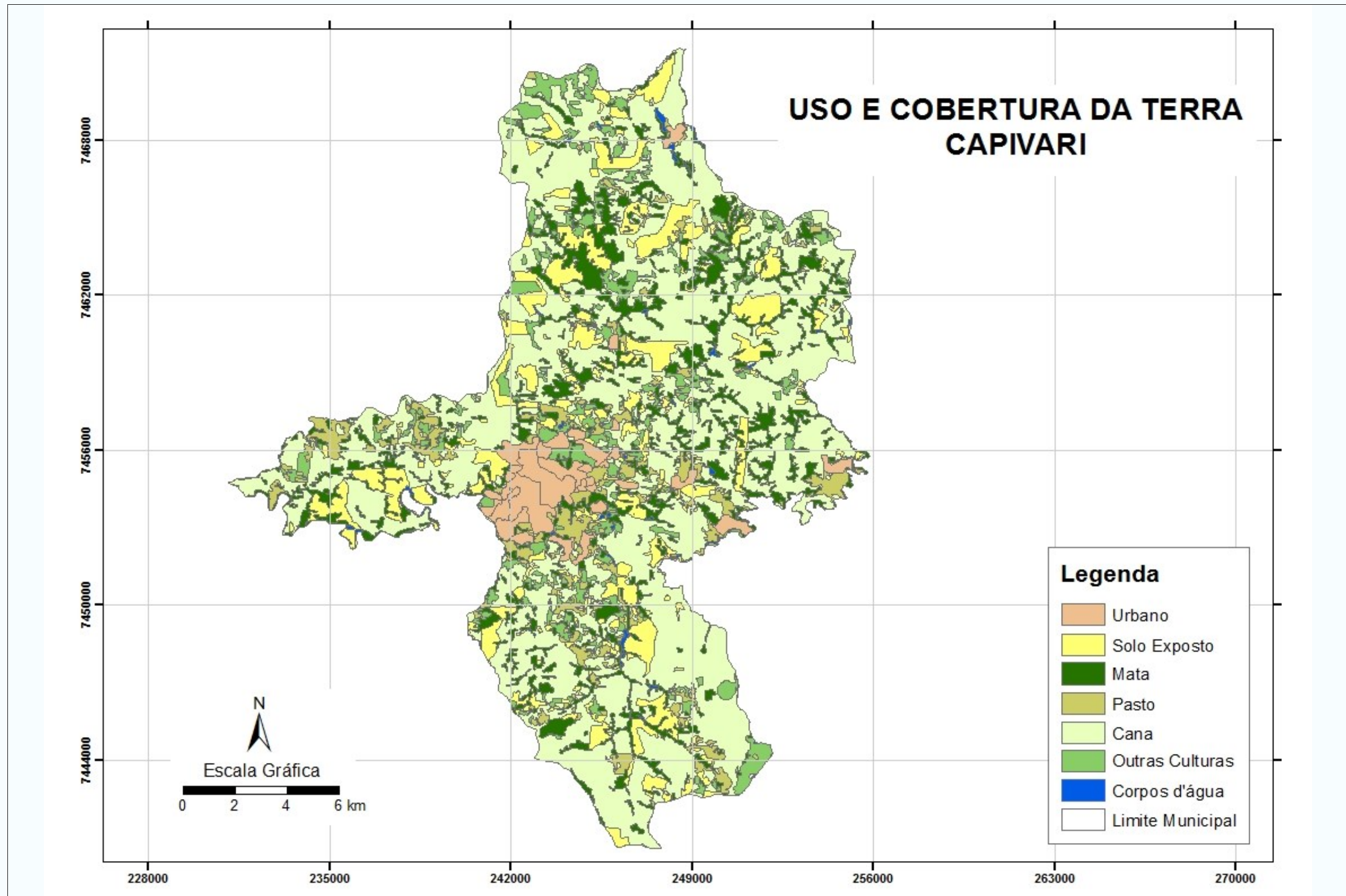


FIGURA 40- Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Capivari (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007 e SPOT, 2007).

- **MUNICÍPIO DE ELIAS FAUSTO**

O Município de Elias Fausto apresenta 75% de sua área ocupada com usos relacionados as atividades rurais: cultivo de cana-de-açúcar (29,90%), outras culturas (26,5%) e pasto (17,8%) (Figura 41). A presença de solo exposto em 9,60% da área do território, também pode estar relacionada à cultura da cana.

A cana desempenha importante papel na economia agrícola, tendo destaque na agroindústria empresas como a Indústria Açucareira São Francisco - Grupo Cosan e produtores de aguardente e de produtos derivados da cana. Dentre as demais culturas ressalta-se a lavoura irrigada (tomate, berinjela, pimentão, etc.) e uva de mesa. A pecuária bovina é destinada ao corte e à produção de leite para consumo na propriedade ([www.eliasfausto.sp.gov.br](http://www.eliasfausto.sp.gov.br)).

As matas encontram-se predominantemente associadas às linhas de drenagem e suas cabeceiras. A porcentagem de mata (12,2%) encontra-se um pouco abaixo da média regional que é de 13,1%.

Comparando-se a área urbana de Elias Fausto com outros municípios estudados, este apresenta uma baixa densidade demográfica (77,83 hab./km<sup>2</sup>) (IBGE, 2010) e menor grau de urbanização (78,29%) (IBGE, 2006). Situa-se na porção centro norte do município, e um pequeno distrito, denominado de Cardeal, localiza-se na porção leste, próximo do limite com Indaiatuba.

A Prefeitura dispõe de uma área de 20 alqueires destinada à instalação de empreendimentos do Distrito Industrial Gramado ([www.eliasfausto.sp.gov.br](http://www.eliasfausto.sp.gov.br)). Este loteamento situa-se no extremo leste da mancha urbana.

- **MUNICÍPIO DE INDAIATUBA**

O Mapa de Uso e Cobertura da Terra de Indaiatuba (Figura 42) apresenta extensa mancha urbana que corresponde a 21,1% da área territorial. A área urbana de Indaiatuba reflete o acentuado processo de desenvolvimento econômico (industrial, comercial e em serviços) e de crescimento populacional. O município apresenta elevado grau urbanização (98,79% conforme IBGE, 2006) e se caracteriza por uma alta densidade demográfica de 647,54 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).



**Vista do bairro Jardim Morada do Sol, porção sudoeste de Indaiatuba (Fonte: IG - 29/11/2009).**

A área urbana atravessa o município, seguindo na direção nordeste-sudoeste, ao longo da Rodovia Eng. Ermênio de Oliveira Penteado (Rodovia Santos Dumont SP-75).



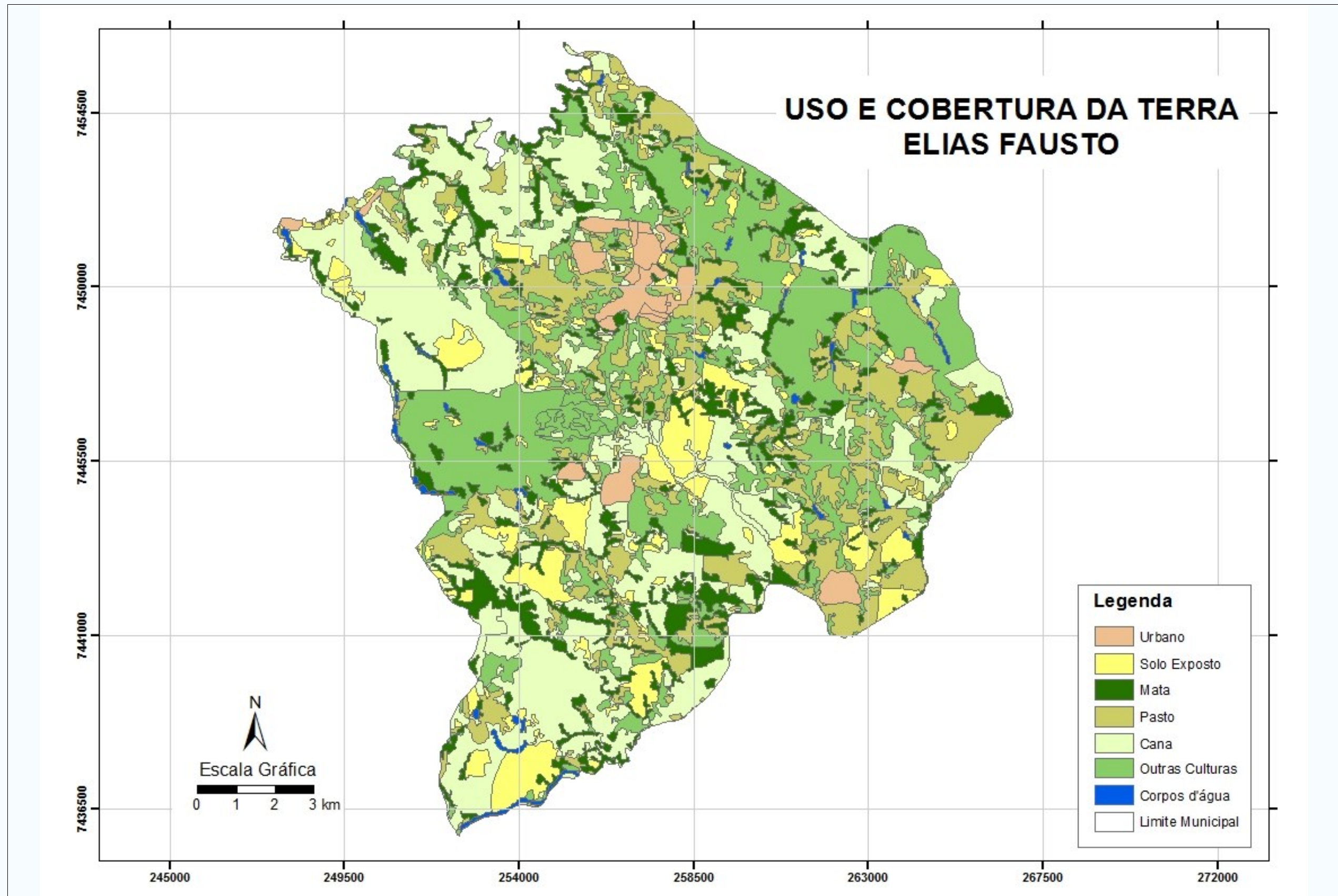


FIGURA 41 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Elias Fausto (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007 e SPOT, 2007).

A principal zona industrial encontra-se instalada e se amplia ao longo desta via que constitui importante eixo de ligação e de escoamento da produção entre Campinas e a Rodovia do Açúcar, outra importante via que dá acesso a municípios do interior do Estado. Indústrias instaladas na década de 1970, portanto anteriores à implantação do distrito industrial, encontram-se dispersas pela área urbana da cidade.

Outra característica são os inúmeros loteamentos transformados em condomínios de chácaras de lazer (geralmente utilizados nos finais de semana) e residenciais, muitos dos quais situados nas áreas periféricas da mancha urbana.



**Condomínio próximo à Rodovia Ceccon, saída de Indaiatuba para Elias Fausto (Fonte IG- 02/12/2009).**

Embora Indaiatuba seja um município com expressiva área urbana, destaca-se como produtor agrícola, característica advinda do período anterior a 1970. A cultura de cana ocupa 11,2% de sua área e outros tipos de cultura como uva, morango, tomate, batata, entre outras, especialmente a fruticultura, ocupam 21,90%. Indaiatuba corresponde a um dos maiores produtores de uva do Estado ([www.indaiatuba.sp.gov.br](http://www.indaiatuba.sp.gov.br))



**Cultura de uva e ao fundo, pasto com matações (30/07/2007).**

As áreas de pasto também ocupam uma significativa porção do território municipal (29,20%), demonstrando a tradição rural de Indaiatuba. Correspondem às áreas com vegetação rasteira destinadas à criação de animais em fazendas e sítios, mas também incluem áreas de campos de pólos, haras, clubes de campo, entre outras ocupações. Assim como nos condomínios de chácaras, estas atividades associadas ao lazer desempenham relevante atratividade para o município. As áreas de solo exposto são pouco significativas (3,00%), podendo estar associadas às terras preparadas para cultivo, como também às áreas terraplenadas, destinadas para a futura ocupação urbana. As áreas de mata encontram-se dispersas pelo município, predominantemente na zona rural.



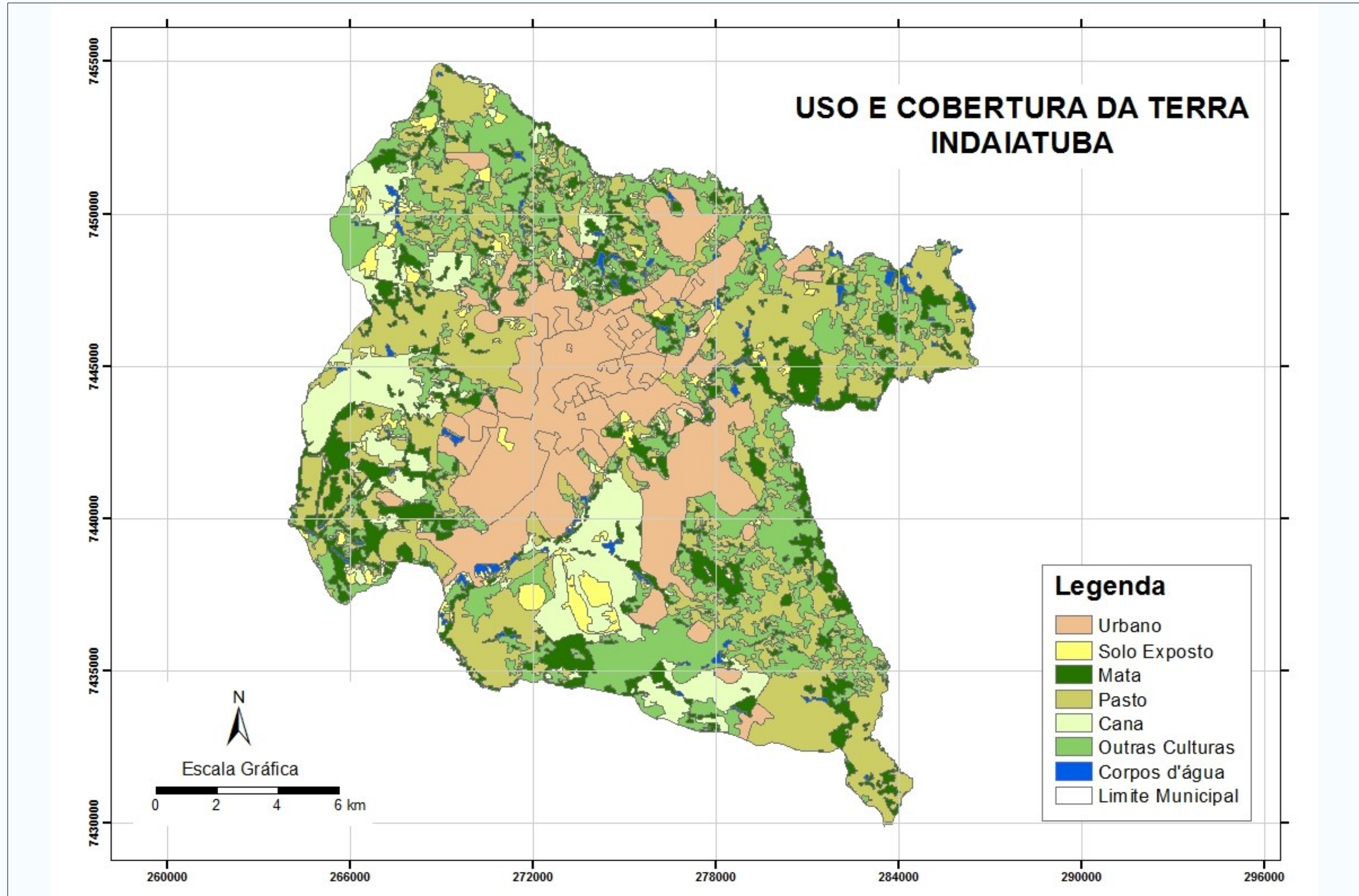


FIGURA 42 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Indaiatuba (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007 e SPOT, 2007).

- **MUNICÍPIO DE MONTE MOR**

Monte Mor é um município com economia predominantemente voltada à agropecuária, apresentando cerca de 60% de sua área ocupada com pasto (30,10%), cana (22,60%) e outras culturas (16,80%) (Figura 43). Dentre as culturas destacam-se: tomate, batata, feijão, milho, pimentão, berinjela, abobrinha, arroz, soja, sorgo, café, alface, batata doce, milho verde, uva e figo. Na pecuária predomina o gado de corte, seguido do leiteiro; granjas suína e de frango e produção de ovos; equinos e muare ( [www.montemor.sp.gov.br](http://www.montemor.sp.gov.br)).



**Plantação de tomate, Monte Mor (Fonte IG - 26/06/2007).**

A área coberta com mata está próxima à média regional, ocupando 12,20 % do território. Também está associada aos cursos de drenagem. Assim como nos demais municípios, as áreas de solo exposto (9,70%) podem estar associadas ao preparo do solo para cultivo de cana ou outras culturas, bem como a ocupação urbana.

A mancha urbana de Monte Mor, que ocupa 7,70% da área, desenvolveu-se de forma muito irregular e sem planejamento, predominando nas porções central e nordeste do território. Apesar da forte vocação agropecuária, o município apresenta elevado grau de urbanização (93,56%, IBGE 2006) e densidade demográfica de 203,55 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2010) associados ao crescimento populacional e desenvolvimento nos setores industrial, comercial e de serviços.

Vários loteamentos foram criados no final da década de 1970, dispersos e isolados uns dos outros ( [www.montemor.sp.gov.br](http://www.montemor.sp.gov.br)), o que dificulta o saneamento do município. Monte Mor apresenta o menor nível de atendimento de esgotamento sanitário (44,37%) dentre os 6 municípios estudados. Estes loteamentos têm como principal via de interligação e de acesso ao centro da cidade a Rodovia Jornalista Francisco Aguirra Proença SP-101, dificultando a mobilidade urbana. Ao longo desta rodovia, também estão instaladas, de forma dispersa, inúmeras indústrias.



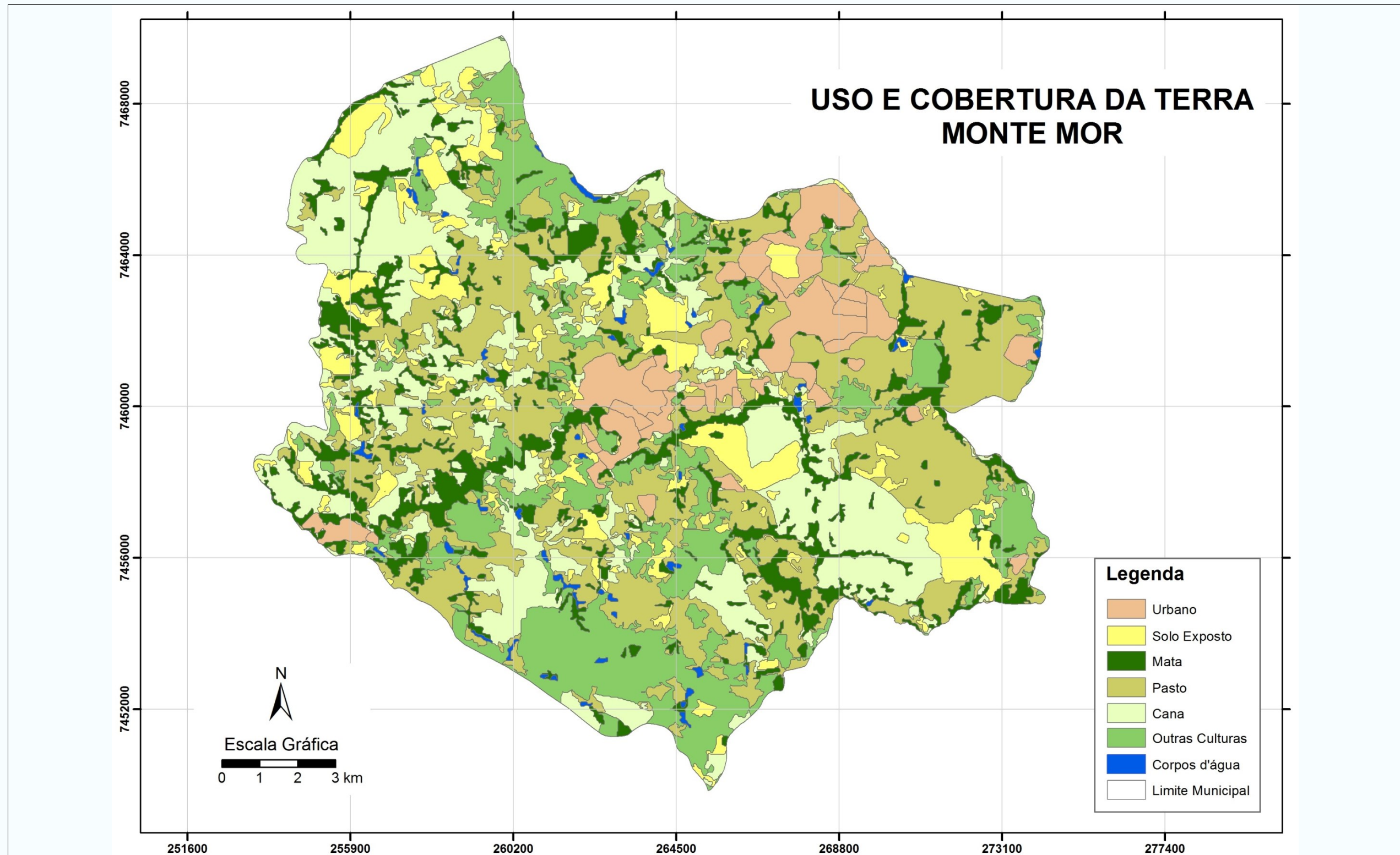


FIGURA 43 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Monte Mor (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007 e SPOT, 2007).



- **MUNICÍPIO DE RAFARD**

O Município de Rafard apresenta características predominantemente rurais quanto ao uso e ocupação do solo, encontrando-se cana (49,50%) e pasto (10,60%) dispersos por todo o território e outras culturas (5,20%), predominantemente na porção sul (Figura 44) Dentre os 6 municípios, Rafard é o que apresenta maior área de mata (15,30%).

Metade das áreas do município é ocupada com canaviais, tendo ainda como prováveis áreas adicionais destinadas ao cultivo de cana aquelas classificadas como solo exposto (16,10%).



**Solo exposto em área de cultivo de cana, Rafard (Fonte IG - 31/07/2007).**

A Indústria Cosan, antiga União São Paulo, é uma usina de produção e de comercialização de açúcar e álcool e de produtos derivados, situada na área urbana do município.



**Usina da Cosan próxima ao centro da cidade de Rafard (Fonte IG - 12/05/2006).**

A mancha urbana está situada no extremo nordeste do município, apresenta-se de forma contínua à mancha urbana de Capivari, tendo como limite o Rio Capivari, ocupando apenas 2,40% do território. Apresenta baixa densidade demográfica de 70,93 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), mas um grau de urbanização de 87,28% (IBGE, 2006), mais elevado que Capivari e Elias Fausto. Rafard possui um distrito industrial em desenvolvimento, com instalação de novos empreendimentos situados a sudoeste da mancha urbana principal.

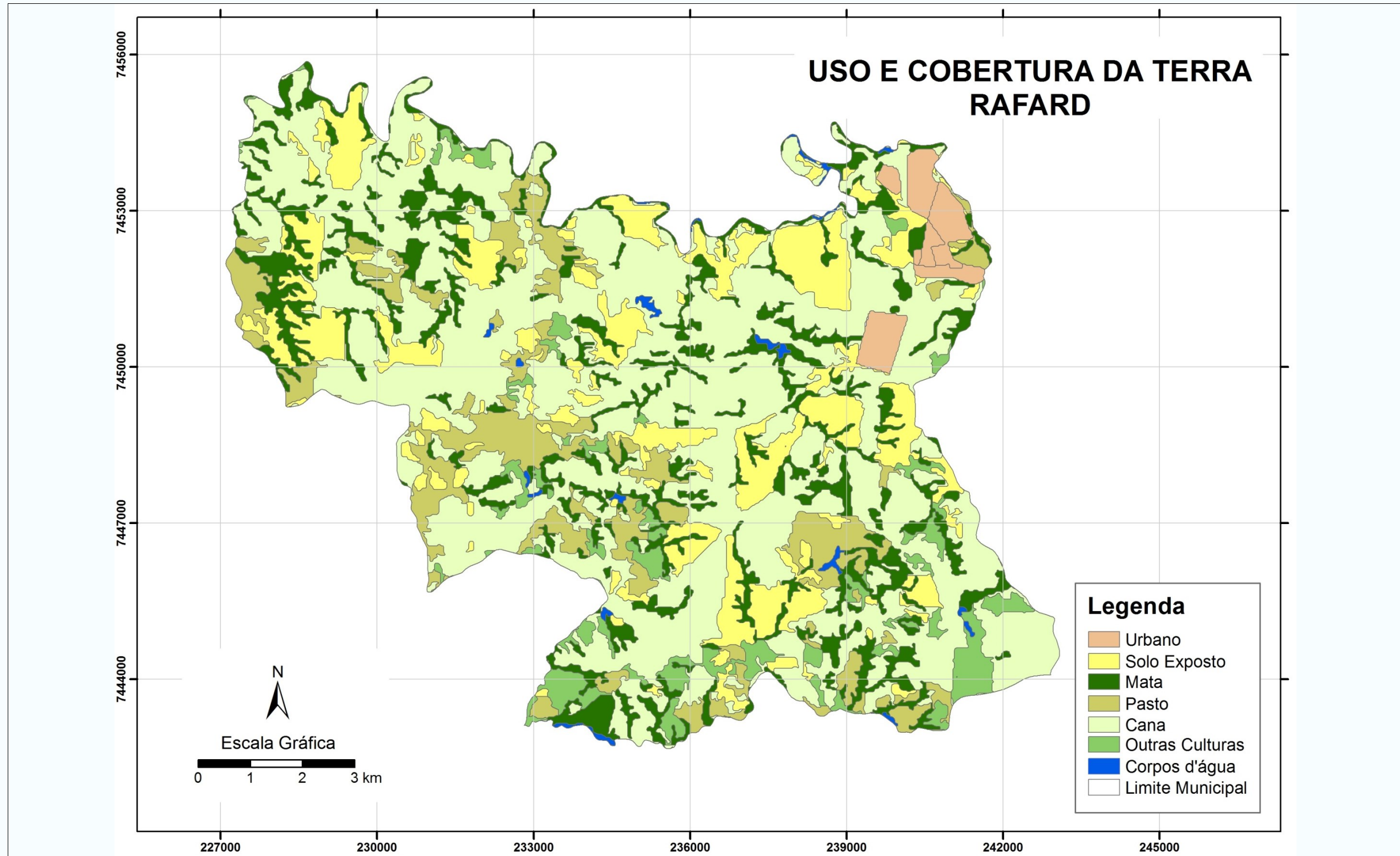


FIGURA 44 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Rafard(SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007 e SPOT, 2007).

## • MUNICÍPIO DE SALTO

O Município de Salto assemelha-se ao de Indaiatuba quanto ao uso e ocupação do solo e apresenta o mais elevado grau de urbanização (98,97%) (IBGE, 2006) e densidade demográfica 792,17 hab./km<sup>2</sup> da região (IBGE, 2010). A mancha urbana ocupa 24,20% de seu território (Figura 45).

É um município bastante industrializado, comportando três distritos industriais (Guaraú e Parque do Lago na porção sul; Lajeado ao norte, atingindo limite com Indaiatuba) e outros quatro núcleos (Alert na Rodovia Hilário Ferrari SPA-097/300; outro próximo ao Ribeirão Guaraú – porção sudoeste; imediações da APA do Pirai – no leste; e áreas marginais às Rodovias do Açúcar SP-308 e Santos Dumont SP-75) (PREFEITURA DA ESTÂNCIA MUNICIPAL DE SALTO, 2006). Demais áreas industriais estão associadas a usos urbanos mistos (industrial, comercial, serviços e residencial), com destaque para indústrias antigas que se instalaram no centro da cidade e ao longo dos rios Jundiá e Tietê, como Eucatex (papel), Alcoa, York, Porto Góes (celulose), entre outras desativadas.



**Distrito Industrial Parque do Lago, ao fundo do plano do parque (Fonte IG - 11/08/2008)**

Assim como Indaiatuba, Salto também se destaca pela existência de loteamentos do tipo condomínios residenciais na área urbana.



**Condomínio Monte Belo, em terreno granítico, na porção sudeste de Salto (Fonte IG - 26/11/2006).**

Na área rural, a cana ocupa 16,30% do município, outras culturas 19,40% e pasto 20,50%. As áreas de mata correspondem a 12,40%, próxima a média regional. Boa parte concentra-se na porção leste do município onde está a Área de Proteção Ambiental Pirai.



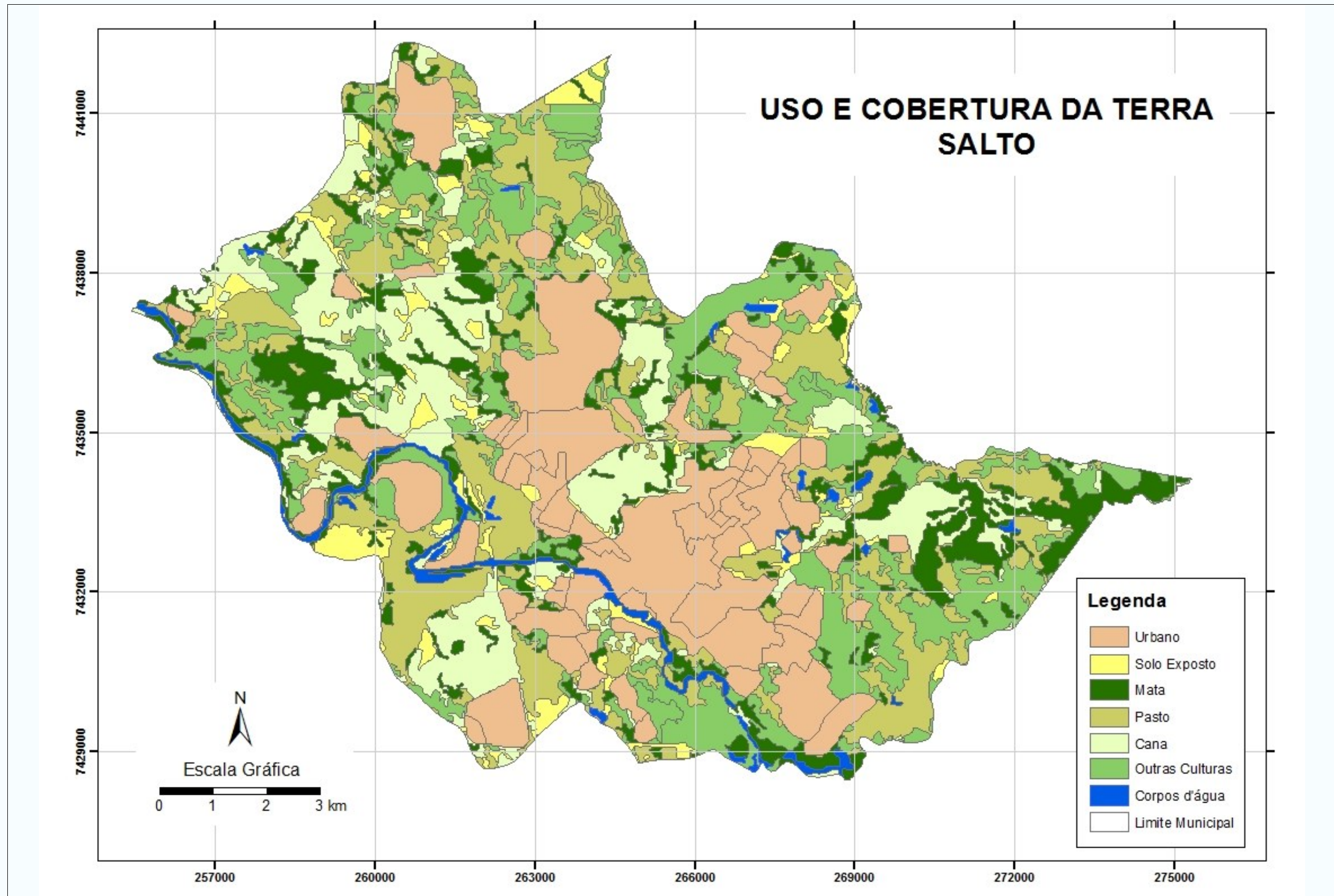


FIGURA 45 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Município de Salto (SP) (Fonte: imagem Landsat-TM, 2007 e SPOT, 2007).

## 7.2. Área Urbana ou Edificada

Tendo como base os polígonos da Classe de Uso “Área Urbana ou Edificada” de 2007, foi realizada uma setorização e classificação detalhada das áreas urbanizadas (KURKDJIAN, 1986). Este procedimento foi desenvolvido de forma manual, por interpretação visual de imagens SPOT de 2007-2008, com resolução espacial de 2,5 metros, envolvendo edição digital diretamente na tela do computador.

As áreas urbanizadas foram então caracterizadas quanto à tipologia e padrão da ocupação, sendo discriminadas e diferenciadas as áreas com ocupação predominantemente do tipo “Residencial/Comercial/Serviços”; “Loteamento” e “Grande Equipamento”, de acordo com as classes de atributo apresentadas na Tabela 33.

**TABELA 33 - Descrição das classes de atributo do uso “Área Urbana ou Edificada”.**

ATRIBUTOS DA CLASSE “ÁREA URBANA OU EDIFICADA”	DESCRIÇÃO
Comercial/Residencial/ Serviços	Inclui áreas destinadas ao uso residencial, comercial e de serviços, loteamentos parcialmente ocupados, além de chácaras e residências de lazer, diferenciadas quanto à densidade de ocupação.
Loteamento	Inclui loteamento destinado à edificação de qualquer natureza, em fase de implantação (até 30% dos lotes ocupados), com traçado do arruamento definido e situado dentro do perímetro urbano.
Grande Equipamento	Esta categoria de uso foi diferenciada quanto ao tipo de atividade desenvolvida, incluindo: distritos e complexos industriais e/ou de serviços; indústrias isoladas; e equipamentos urbanos do tipo Estações de Tratamento de Esgoto (ETE); Estações de Tratamento de Água (ETA); aterros sanitários; cemitérios, mineração, clubes e áreas institucionais.
Área Desocupada	Inclui áreas de solo exposto situadas dentro do perímetro urbano, e destinadas à futura ocupação urbana.

A classe de uso urbano do tipo “Residencial/Comercial/Serviços” foi setorizada e caracterizada com base no critério densidade de ocupação, conforme metodologia proposta em ROSSINI-PENTEADO *et al.* (2005, 2007). A densidade de ocupação, um dos atributos que expressam o padrão da ocupação, está diretamente relacionada com a intensidade do uso do solo, representando a relação entre o número ou tamanho dos lotes por unidade de área. Permite diferenciar áreas de ocupação mais densa, daquelas de ocupação mais esparsa, sendo identificadas 3 grandes classes (Tabela 34).

**TABELA 34 - Descrição do atributo Densidade de Ocupação.**

CLASSES DO ATRIBUTO DENSIDADE DE OCUPAÇÃO	DESCRIÇÃO
Alta densidade	Inclui áreas com predomínio de lotes de até 200 m <sup>2</sup>
Média densidade	Inclui áreas com predomínio de lotes entre 200 e 450 m <sup>2</sup>
Baixa densidade	Inclui áreas com predomínio de lotes maiores de 450 m <sup>2</sup>

Nesta etapa foi gerado no software ArcGIS um banco de dados contendo o limite dos polígonos das classes de uso e cobertura da terra e de ocupação do solo urbano mapeadas e respectiva tabela de atributos.

Na Figura 46 é apresentado o Mapa de Uso e Ocupação do Solo Urbano com a distribuição das quatro principais tipologias e as densidades de ocupação dos usos comercial/residencial/serviços e loteamentos.

A densidade de ocupação das áreas de uso comercial/ residencial/ serviços, assim como de loteamento em implantação, pode ser relacionada à densidade populacional e, conseqüentemente, com carga estimada de esgoto produzido pela população em cada área, a idade da rede coletora e o percentual de atendimento de cada município.

Densidades altas e moderadas estão associadas aos centros das manchas urbanas, enquanto densidades baixas estão localizadas nas bordas das manchas ou desassociadas a elas.

Nas porções norte e centro-leste de Indaiatuba, e ao norte e oeste de Salto, as áreas de baixa densidade estão associadas a condomínios de chácaras de lazer ou de lotes residenciais de alto padrão.

Dentre as classes de atributos, a categoria *Grande Equipamento* merece especial atenção, uma vez que destaca as áreas com concentração industrial e, portanto, de fontes potenciais de contaminação do solo e das águas.

Os distritos industriais são equipamentos relativamente recentes, estabelecidos a partir da década de 1970 e se caracterizam por estarem localizados nos limites externos das manchas urbanas principais ou mesmo afastados delas. Em Indaiatuba, Monte Mor, Salto e Capivari os grandes equipamentos se desenvolvem predominantemente às margens das rodovias.

Em Salto, Capivari, Elias Fausto e Rafard, também são observados núcleos industriais instalados no centro urbano ou como focos isolados no município, provavelmente correspondendo aos estabelecimentos mais antigos que os dos distritos industriais.

Loteamentos em Indaiatuba e Salto devem estar associados a novos condomínios de chácaras de lazer ou residenciais de alto padrão, e normalmente situam-se de forma periférica à mancha urbana. Em Monte Mor os loteamentos de baixo padrão estão situados, principalmente, às margens da rodovia e próximos ao limite com Campinas.



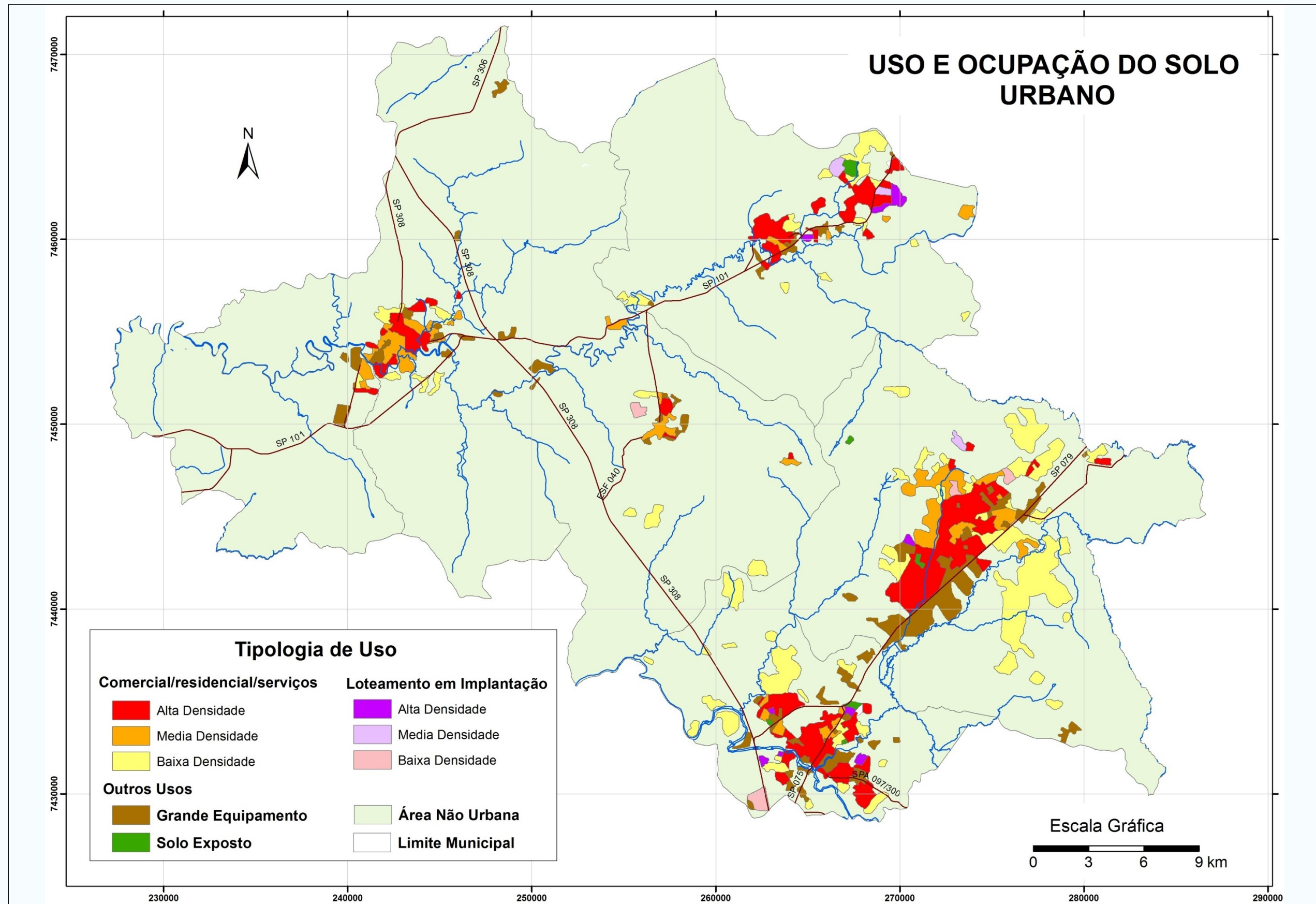


FIGURA 46 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo Urbano da região que abrange os Municípios de Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard e Salto (SP) – 2007.

### 7.3. Expansão das Áreas Urbanas

Além do mapa de uso e cobertura da terra foi realizado o mapeamento e análise da expansão urbana dos municípios que compõem a área de estudo. A partir dos limites das áreas urbanas gerados pela classificação digital de 2007, e com base nas composições coloridas (R4G5B3) das imagens LANDSAT-TM de anos anteriores (1987 e 1997), foram feitas interpretações visuais de modo a se reconstituir as aglomerações urbanas principais e núcleos dispersos para os anos de 1987, 1997 e 2007 (OLIVEIRA *et al.*, 1984; PEREIRA *et al.*, 1989). Informações relativas à dinâmica da expansão das cidades são relevantes uma vez que permitem análises quantitativas e de tendência de crescimento no âmbito espacial e temporal.

Na Figura 47 é apresentado o Mapa de Expansão Urbana da região estudada. Pela análise deste mapa, constata-se que o crescimento das cidades ocorre ao longo das principais rodovias, bem como nos limites da mancha urbana, avançando para a zona rural.

A expansão urbana ocorre de forma considerável nos municípios de Indaiatuba, Salto e Monte Mor:

- Indaiatuba – Um importante eixo de crescimento da cidade está nas margens da Rodovia Santos Dumont SP-75, direção Campinas-Salto, mas o principal eixo de expansão ocorre a noroeste da mancha urbana onde foram implantados loteamentos avançando na zona rural, em direção a Monte Mor e Elias Fausto. Este avanço se processa em direção a uma das poucas áreas de boa produtividade em termos de água subterrânea, denominada M3-1 no *Mapa de Produtividade Similar* da Figura 21 (Capítulo 6 - Item 6.3). A outra área de boa produtividade similar (M3-2), situada na porção centro-oeste do município, está praticamente ocupada por uso urbano do tipo comercial/residencial/serviços. É recomendável que seja prevista uma avaliação sobre a reserva desta área M3-1 para uso futuro em termos de captação de água para o município.
  
- Monte Mor – O principal eixo de crescimento ocorre ao longo da Rodovia Jornalista Francisco Aguirra Proença SP-101, em direção a Campinas, incluindo loteamentos próximos ao limite norte do município. Parte do município está implantada sobre área de melhor produtividade em termos de captação de águas subterrâneas, denominada T3-6 (*Mapa de Produtividade Similar* da Figura 21 do Item 6.3). Esta área está situada entre as duas principais manchas urbanas, interligadas pela rodovia SP-101, e, certamente, será ocupada em um futuro próximo. Desta forma, é importante que haja um plano de ocupação e proteção desta área T3-6 visando preservar as águas do Aquífero Tubarão, tanto em termos de qualidade para consumo humano, como em quantidade mantendo uma reserva para a cidade.

- Salto – Desenvolve-se ao longo da Rodovia Santos Dummont SP-75, estando praticamente interligada a Indaiatuba. A expansão ocorre de forma irregular com focos ao sul, em direção a Itu, e a Sudeste, pela Rodovia SP097/300, em direção a Itupeva. A porção norte do município, onde se tem implantados núcleos indústrias com acesso pela Rodovia SP-75, apresenta boa produtividade em termos de captação de águas subterrâneas – área M3-3 (*Mapa de Produtividade Similar* da Figura 21 do Item 6.3).



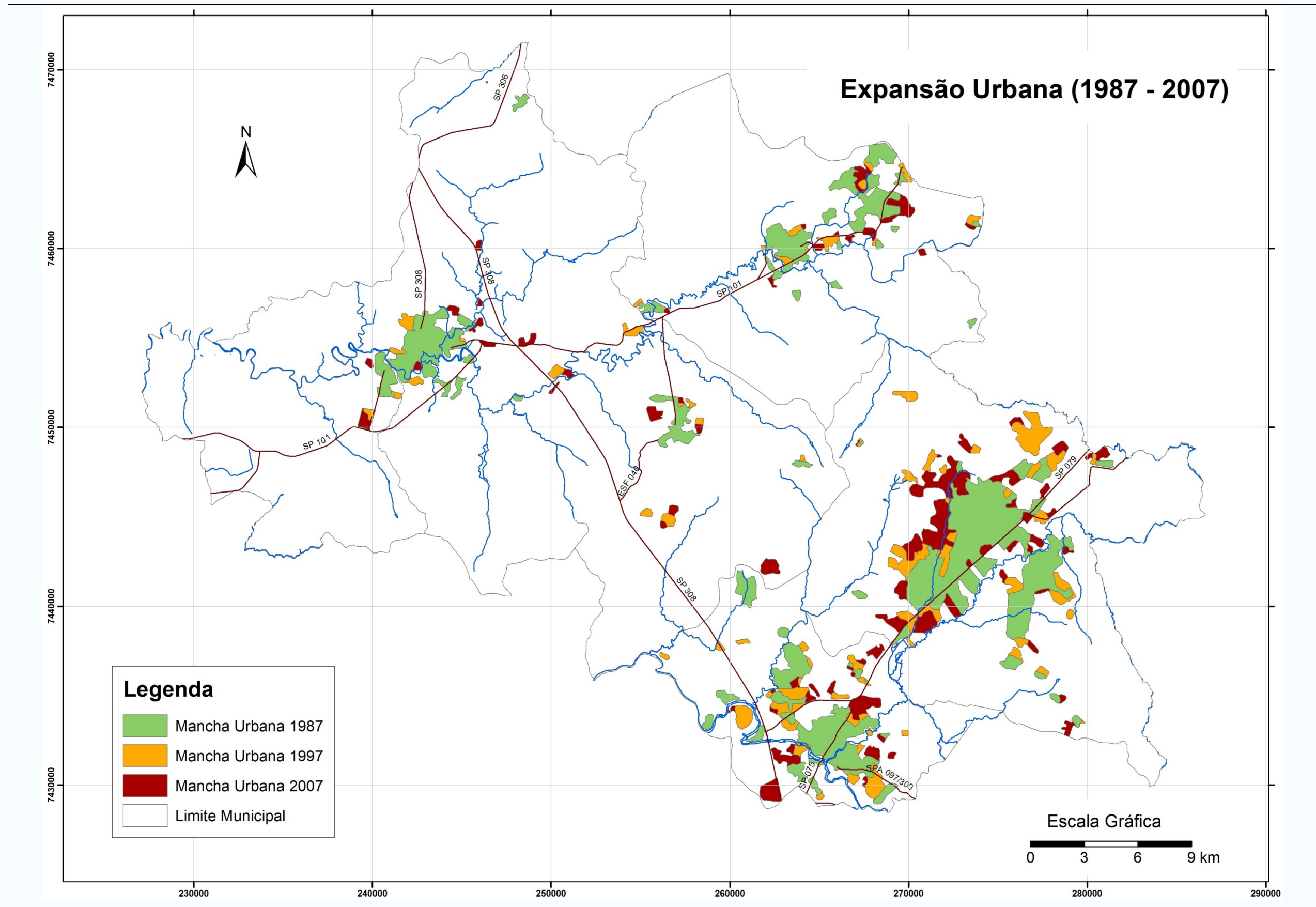


FIGURA 47 - Mapa de Expansão Urbana da região que abrange os Municípios de Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard e Salto (SP) – 1987 a 2007.

Assim como em Indaiatuba, é recomendável o estabelecimento de um plano de proteção dos recursos hídricos desta área, em termos de qualidade e quantidade de águas, visando a manutenção de uma reserva para a cidade.

Nos demais municípios a expansão ocorre de forma dispersa e pontual:

- Capivari – a expansão ocorre em alguns pontos ao longo da Rodovia do Açúcar SP -308 e da Rodovia SP-101. Há uma área entre o entroncamento das rodovias SP-101/SP-308 até o Rio Capivari, denominada de T3-2 na Figura 20 (Item 6.3), onde a produtividade em termos de água subterrânea é boa. Recomenda-se o acompanhamento da expansão urbana neste local, uma vez que pode constituir uma área de reserva hídrica subterrânea.
- Elias Fausto – a expansão ocorre em alguns vazios nas porções leste, oeste e norte da mancha urbana.
- Rafard – a expansão se processa na direção sudoeste, onde se desenvolve um distrito industrial, com acesso pela rodovia SP-101.

## 8. FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO

O levantamento e classificação dos empreendimentos considerados como fontes potenciais de poluição foram divididos em pontuais e dispersos, de acordo com o tipo e a distribuição espacial da contaminação que pode ser gerada pela atividade antrópica.

Fontes potenciais pontuais são aquelas que geram plumas bem definidas de contaminantes, abrangendo áreas no entorno do empreendimento, enquanto fontes difusas impactam extensas áreas, não necessariamente gerando plumas de contaminação, por serem geradas por atividades extensivas como agricultura ou por serem multipontuais como aglomerados urbanos sem rede coletora de esgoto (Foster *et al.*, 2002).

O levantamento das fontes potenciais pontuais de poluição partiu do cadastro de empreendimentos fornecidos pela CETESB e as fontes difusas foram obtidas a partir do mapa de uso do solo elaborado no projeto.

A classificação das fontes potenciais de poluição foi adaptada do método POSH, desenvolvido por Foster *et al.* (2002), para o cenário de informações disponíveis. Para destacar as modificações adotadas, o método foi denominado POSH-IG.

### 8.1. Fontes Pontuais de Poluição

#### 8.1.1. Levantamento

O Decreto Estadual nº 47.397/2002, que modifica o Decreto Estadual nº 8.468/1976 de regulamentação da Lei Estadual nº 997/1976, relaciona o rol de atividades consideradas como



fontes potenciais de poluição e que necessitam de licença do órgão ambiental para instalação e funcionamento. As classes e subclasses de atividades foram elencadas a partir da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), estabelecida pelo IBGE.

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001), em seus capítulos 3100 e 3101, utilizando a classificação de atividade econômica adotada pelo IBGE à época (IBGE, 1984 *in* CETESB, 1999), elenca um rol de atividades que possuem potencial de contaminação do solo e da água subterrânea.

A Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº 3, de 21 de junho de 2006, usando como base esta lista do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas e a classificação de atividades adotada no Decreto Estadual nº 47.397/2002 supra citado, reagrupa e lista as atividades que podem ser consideradas como fontes pontuais com potencial de contaminação do solo e da água subterrânea.

A Deliberação CRH nº 52, de 15 de abril de 2005, também elenca, no Apêndice III, algumas atividades com potencial de contaminação que devem ser consideradas na implantação das Áreas de Restrição e Controle de uso das águas subterrâneas, incluindo nesta lista, corpo d'água receptor de efluentes.

Foster *et al.*, (2006), ao estabelecer um sistema de classificação do potencial poluidor, também estabelece, de forma sintética, uma listagem das fontes potenciais de contaminação, incluindo as vias de transporte regular de cargas perigosas, como as rodovias.

O **Anexo 3** apresenta as atividades consideradas potencialmente contaminantes neste Projeto resultado da comparação dessas referências acima citadas.

Com base nessas informações, para a identificação das fontes potenciais de contaminação na área de estudo, obteve-se junto à CETESB uma relação de empreendimentos industriais e de serviços cadastrados no sistema de controle de poluição, denominado SIPOL.

Este sistema contém o registro de empreendimentos, ativos e desativados, mas por ser um banco de dados antigo, não possui informações de localização geográfica (coordenadas) e, eventualmente, possui registros duplicados.

Dessa forma, a partir da listagem com 1770 empreendimentos, fornecida pela CETESB em abril/2010, foram identificados e eliminados os registros duplicados, resultando em um total de 1757 empreendimentos, como mostra a Tabela 35.

**TABELA35 - Número de empreendimentos fornecidos pela CETESB, após a eliminação de registros duplicados (data de referência: abril/2010).**

	CAPIVARI	RAFARD	SALTO	INDAIATUBA	ELIAS FAUSTO	MONTE MOR	TOTAL
<b>Nº de registros de empreendimentos</b>	153	41	391	948	94	130	1757

A listagem fornecida pela CETESB continha dados de identificação, localização (endereço), caracterização da atividade desenvolvida (descrição, código IBGE e fator de complexidade W) e porte do empreendimento (área construída e número de funcionários).

O código IBGE da atividade desenvolvida é baseado na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE). O IBGE, ao longo dos anos, publicou revisões dessa classificação e o código da atividade utilizada no banco de dados de empreendimentos da CETESB, também acompanhou essa evolução. Assim, como os dados fornecidos pela CETESB incluem todos os empreendimentos (ativos ou desativados) registrados no banco de dados SIPOL, existem registros com código de atividade baseado em diferentes edições do CNAE.

O Fator de Complexidade (W) para cada tipo de atividade está estabelecido no Decreto Estadual nº 47.397/2002, que é utilizado pela CETESB no licenciamento de empreendimentos.

### 8.1.2. Localização

Na listagem de empreendimentos, os dados de localização restringiam-se ao endereço do local, com coordenadas escassas e, em sua maioria, incorretas.

Dessa maneira, foram realizadas campanhas de campo (2º semestre/2010 e 1º semestre/2011) para obtenção das coordenadas dos empreendimentos, de forma a permitir uma avaliação da sua distribuição espacial.

Para a obtenção da localização dos empreendimentos foi utilizado equipamento GPS modelo GarminMAP 76CSx e as coordenadas foram obtidas em Datum Córrego Alegre.

Para a locação dos empreendimentos no campo utilizou-se, como sistemática, a medição da coordenada na entrada ou na parte frontal da propriedade.

Alguns empreendimentos possuem poços que foram cadastrados em etapa anterior e, para agilizar a locação, essa coordenada foi adotada como a localização do empreendimento.

No Cadastro das Fontes Potenciais Pontuais de Contaminação foi inserido um campo, denominado Origem (**Anexo 6**), que indica se a localização foi obtida a partir da coordenada do poço, através do mapa topográfico ou obtida em campo. Para cada empreendimento também foi dado um número (NPonto), de acordo com o município em que se localiza.

Durante o levantamento de campo não se verificou se o empreendimento estava ativo ou desativado, pois o fato de determinada atividade ter sido desenvolvida no local, já implica na existência de um potencial passivo ambiental. Alguns empreendimentos que não constavam da lista de registros fornecida pela CETESB foram identificados e locados durante os trabalhos de campo que, somando-se à listagem original da CETESB, totalizaram um cadastro com 1918 registros.

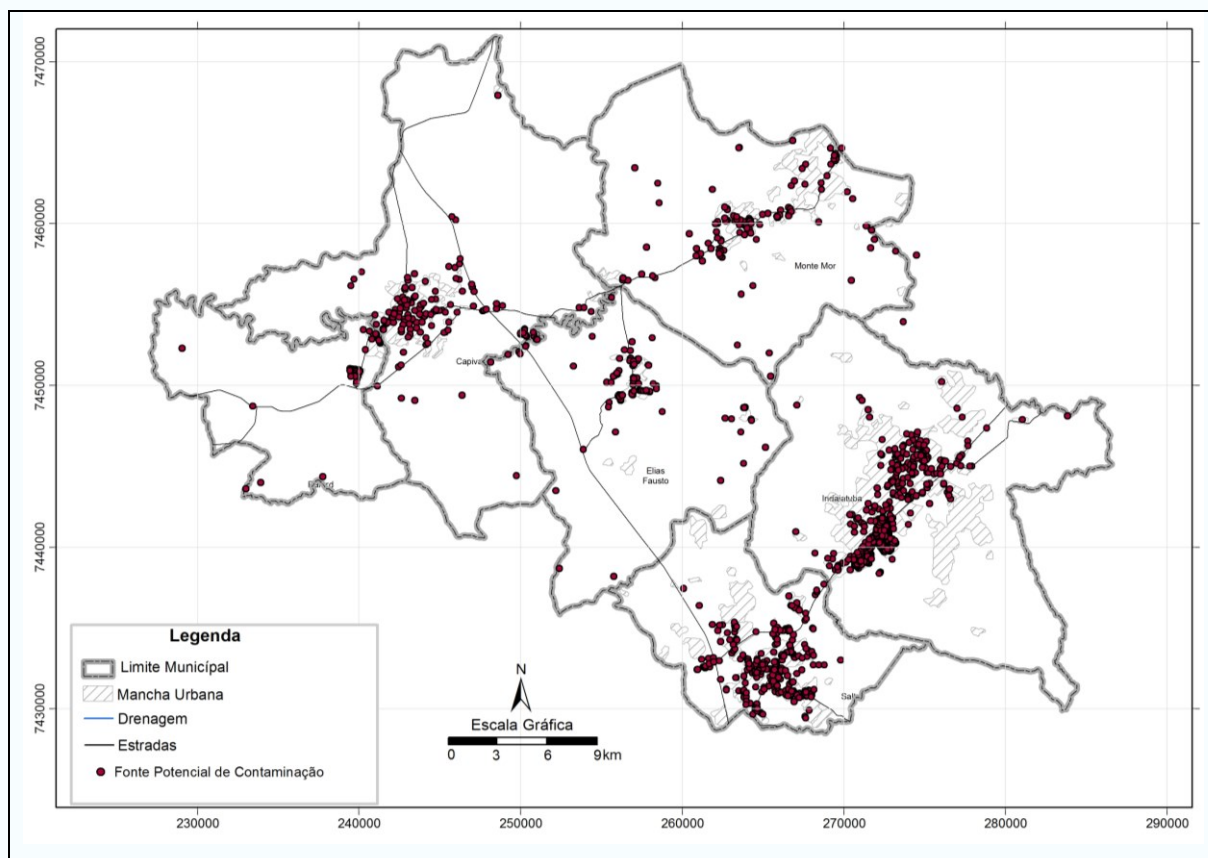
Vários empreendimentos, entretanto, não foram encontrados no decorrer destes trabalhos, devido à incorreção ou insuficiência de detalhes sobre o endereço. Esses registros estão identificados como NENC (não encontrado) no campo NPonto (**Anexo 6**).

Algumas atividades foram consideradas como potencial poluidor muito reduzido a reduzido e por esse motivo não foram locadas em campo, como por exemplo, aquelas relacionadas à mineração e agrosilvopastoril, em geral localizadas na área rural ou na periferia da área urbana, além de algumas atividades de serralheria e processamento de materiais não metálicos. As atividades não locadas foram identificadas como NLOC no campo NPonto (**Anexo 6**).

A Tabela 36 indica a quantidade de empreendimentos locados em cada município e a Figura 48 mostra a distribuição em área. O Município de Indaiatuba concentra o maior número de empreendimentos (1028), enquanto o Município de Rafard possui apenas 51 empreendimentos considerados como fontes potenciais de contaminação.

**TABELA 36 - Número de empreendimentos locados em cada município.**

	CAPIVARI	RAFARD	SALTO	INDAIATUBA	ELIAS FAUSTO	MONTE MOR	TOTAL
<b>Locados</b>	156	47	330	875	95	133	1636
<b>Não encontrados</b>	9	4	20	46	7	12	98
<b>Não locados</b>			60	107	11	6	184
<b>Total</b>	165	51	410	1028	113	151	1918



**FIGURA 48 - Localização dos empreendimentos cadastrados.**

Observa-se que os empreendimentos distribuem-se principalmente ao longo das rodovias e os municípios de Salto e Indaiatuba, com distritos industriais bem consolidados, concentram o maior número de atividades com potencial de contaminação.

Ressalta-se que em um mesmo endereço pode ter funcionado diferentes empreendimentos e no Cadastro de Fontes Potenciais Pontuais de Contaminação (**Anexo 6**), cada empreendimento corresponde a um registro, mas em mapa, correspondem a apenas um ponto locado.

### 8.1.3. Consolidação dos dados

Os empreendimentos cadastrados foram agrupados de acordo com a atividade desenvolvida em: Atividade agrosilvopastoril, Mineração, Indústrias de transformação, Comércio e serviço, Resíduos e efluentes.

O maior número de registros está no grupo de Indústrias de transformação, que soma 1520 empreendimentos concentrados principalmente em Indaiatuba e Salto, refletindo o perfil econômico dessas cidades, que fazem parte do eixo de industrialização entre Sorocaba e Campinas. O segundo grupo de atividade com maior número é o de Comércio e serviço, com 210 empreendimentos, onde Indaiatuba, que é o município mais populoso na área de estudo, novamente se destaca com 99 empreendimentos comerciais com potencial de contaminação da água subterrânea.

A Figura 49 e a Tabela 37 mostram a distribuição dos empreendimentos cadastrados nos municípios da área de estudo. Os gráficos tridimensionais de distribuição das atividades foram elaborados com o programa Statistica, versão Trial 10.0 (Statsoft Incorporation, 2012).

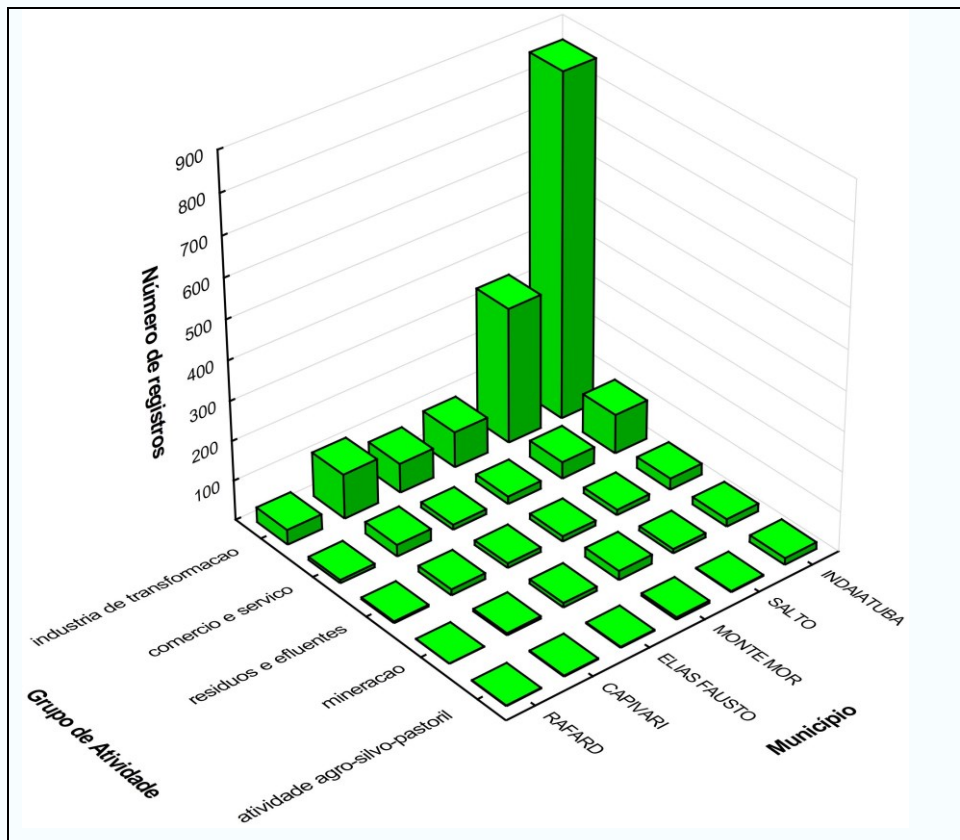


FIGURA 49 - Distribuição dos empreendimentos por grupo de atividade e por município.

**TABELA 37 - Grupos de atividades dos empreendimentos cadastrados.**

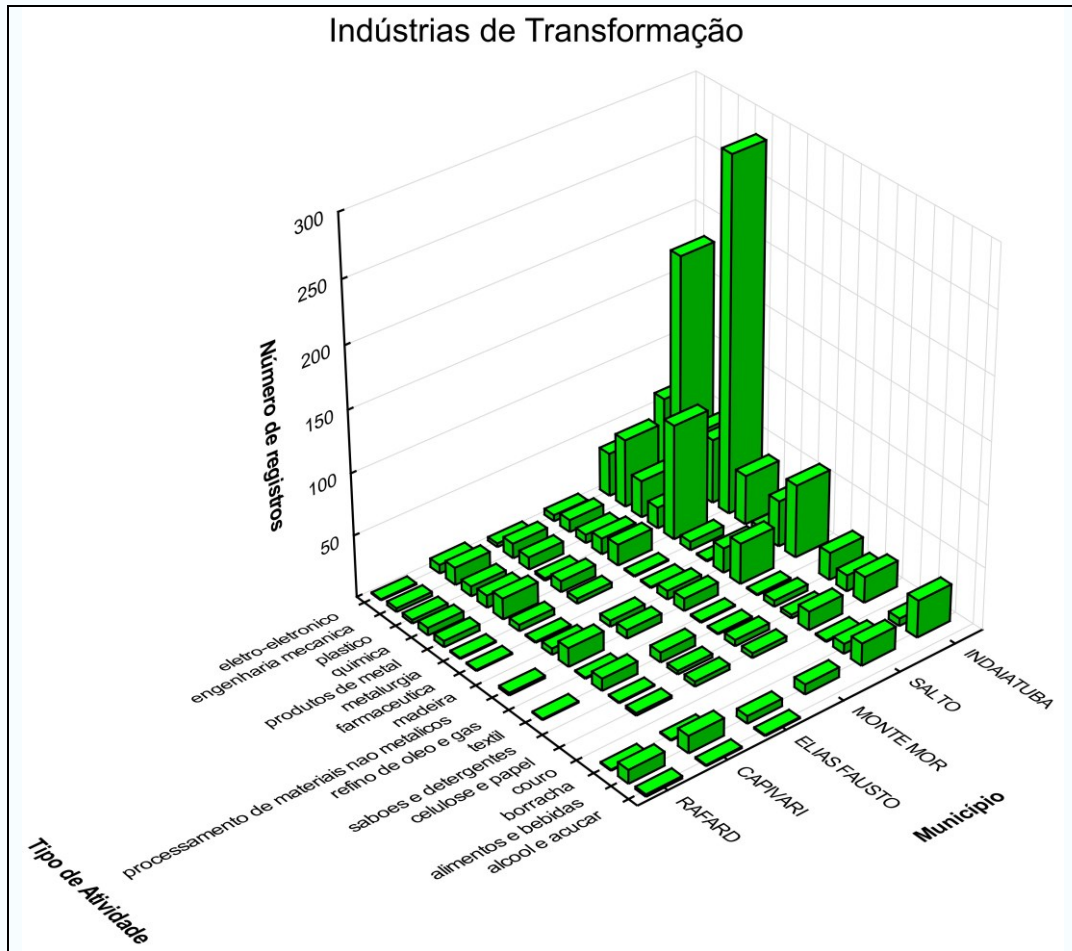
GRUPO ATIVIDADE	DE	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO	TOTAL
Atividade agrosilvopastoril		3	3	17	6	1	2	32
Mineração		6	11	19	23	1	10	70
Indústria de transformação		112	74	865	90	37	342	1520
Comércio e serviço		29	13	99	19	8	42	210
Resíduos e efluentes		15	12	28	13	4	14	86

Cada grupo foi caracterizado pelos tipos de atividades desenvolvidas pelos empreendimentos. Assim, no grupo de atividade agrosilvopastoril, com base no código IBGE e nas informações fornecidas pela CETESB, identificaram-se três tipos de atividades, a saber: agricultura, beneficiamento de sementes e criação animal. Entretanto, não há muitos registros desses tipos de empreendimentos no cadastro, uma vez que são atividades apenas parcialmente controladas pela CETESB. Somente a criação animal confinada foi considerada como fonte pontual de poluição, pois na área em questão, existem propriedades pequenas com atividade de granja de aves e suínos, que não se enquadram em fonte difusa de poluição.

Para o grupo de atividade Mineração, consideraram-se os seguintes tipos de atividade: mineração de minerais não-metálicos, metálicos e fósseis. Na área de estudo ocorre apenas o primeiro tipo.

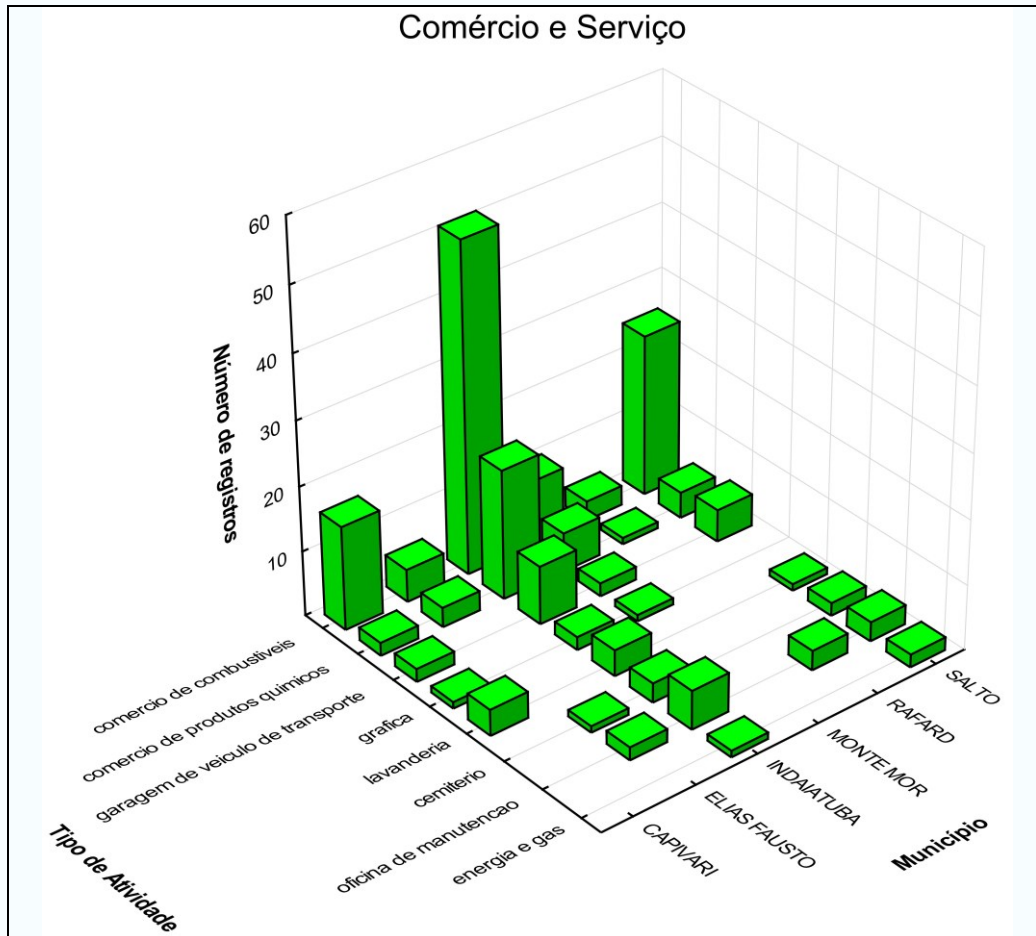
No grupo de atividade Indústrias de transformação, os tipos de atividades foram definidos com base nos produtos gerados, observando-se a descrição e código IBGE presente no cadastro e a classificação CNAE 2.0 (IBGE, 2007). Na Figura 50 destacam-se, numericamente, as atividades voltadas à fabricação de produtos de metal e de engenharia mecânica, especialmente em Salto e Indaiatuba.





**FIGURA 50 - Tipos de atividade do grupo das indústrias de transformação.**

No grupo de Comércio e Serviço, destacam-se os postos de combustíveis em todos os municípios, decorrência das exigências da CETESB e do CONAMA em relação ao licenciamento e avaliação do passivo ambiental. Em Indaiatuba destaca-se ainda, o comércio de produtos químicos como mostra a Figura 51.



**FIGURA 51 - Tipos de atividade do grupo de comércio e serviço.**

Para os outros tipos de atividades com carga potencial de contaminação relacionadas a comércio e serviço existem poucos registros no cadastro original fornecido pela CETESB, pois não são licenciáveis ou passaram a ser a pouco tempo. Como exemplo, citam-se cemitérios e oficinas de manutenção. Cemitérios antigos, instalados antes das exigências de licenciamento, não constam da listagem original fornecida pela CETESB e durante o levantamento de campo, alguns foram inseridos no Cadastro de Fontes Potenciais Pontuais de Contaminação. Em relação às oficinas de manutenção, que incluem funilarias e oficinas mecânicas, sabe-se que a quantidade é muito maior que aquela registrada na listagem original da CETESB, mas a busca desses estabelecimentos em campo, sem informação inicial, foi inviável. Desta forma, o Cadastro final produzido neste projeto restringiu-se aos registros previamente existentes.

No grupo de Resíduos e Efluentes, os tipos de atividade foram elencados em Destino final de resíduos sólidos, Reciclagem e recuperação de sucatas, óleos e produtos químicos e Tratamento de efluentes (Tabela 38). No tipo Reciclagem e recuperação incluem-se os empreendimentos de recuperação de sucatas (metálicas ou não), mas, da mesma forma que as oficinas de manutenção, o cadastro ateu-se apenas àqueles previamente registrados na listagem original da CETESB visto que há inúmeros empreendimentos de pequenos sucateiros.

**TABELA 38 - Número de empreendimentos por tipos de atividade relacionados ao grupo de Resíduos e efluentes.**

TIPO DE ATIVIDADE	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONT E MOR	RAFARD	SALTO
Destino final	3	5	5	3	2	2
Reciclagem e recuperação	4	4	17	4		9
Tratamento	8	3	6	6	2	3

Esta organização dos empreendimentos cadastrados em grupo e tipo de atividade serviu de base para a elaboração do sistema de classificação das fontes potenciais pontuais de contaminação da área de estudo.

#### **8.1.4. Definição do sistema de classificação da potencial carga pontual de contaminação**

Os empreendimentos foram classificados de acordo com seu potencial de contaminar a água subterrânea. Considerando a grande quantidade de empreendimentos existentes na área de estudo e as informações prontamente disponíveis, optou-se por aplicar um sistema simplificado de classificação e que fosse baseado em um método amplamente aplicado e aceito no Estado de São Paulo.

Assim, o sistema de classificação desenvolvido para este estudo baseia-se fundamentalmente no método POSH (acrônimo em inglês de “Pollutant Origin and Surcharge Hydraulically”), desenvolvido por Foster *et al.* (2002), modificado e detalhado com base em outros parâmetros com compatibilidade e com facilidade de obtenção no sistema de licenciamento ambiental.

O método POSH baseia-se em duas características de mais fácil estimativa: as substâncias geralmente presentes em cada tipo de atividade humana e a sobrecarga hidráulica associada que seja capaz de gerar um transporte de contaminantes para o aquífero. A Tabela 39 ilustra o método POSH para fontes pontuais de contaminação.

Atualmente muito utilizada, a metodologia POSH é voltada para avaliações mais gerais e não considera um detalhamento dos tipos de atividade e a influência que a variedade de atividades pode causar na carga contaminante potencial gerada pelos empreendimentos. Por exemplo, nas indústrias de plástico, existem aquelas que produzem os polímeros e aquelas que apenas fabricam artefatos plásticos, onde as primeiras tem um maior potencial de gerar carga contaminante.

Buscando um refinamento do método POSH de forma a contemplar as especificidades dos empreendimentos dentro de um mesmo grupo de atividade, desenvolveu-se um sistema de classificação que considerou informações ou critérios com compatibilidade e facilidade de obtenção no sistema de licenciamento ambiental de forma a identificar aqueles com maior ou menor potencial poluidor.

**TABELA 39 - Sistema POSH de classificação de fontes pontuais de contaminação (Fonte: Foster et al., 2006, corrigido com base em Foster et al., 2002).**

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	DEPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	ÁREAS INDUSTRIAIS*	LAGOAS DE ÁGUAS RESIDUAIS	OUTRAS (URBANAS)	MINERAÇÃO E EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO
Elevado	resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos	todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área >5 ha		operações em campos de petróleo, mineração de metais
Moderado	chuva >500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1, ou todos os demais casos	indústria tipo 2	esgoto residencial se a área >5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	postos de gasolina, vias de transporte com tráfego regular de produtos químicos perigosos	algumas atividades de mineração/ extração de materiais inertes
Reduzido	chuva <500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1	indústria tipo 1	águas residuais residenciais, urbanas mistas, agro industriais e de mineração de não metálicos se a área < 1 ha	cemitérios	

\* solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria

Indústrias Tipo 1: madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos  
Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão

Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal

Assim, foram avaliadas as seguintes informações:

- *Critério Principal 1* da Ficha de Pontuação de Áreas Contaminadas do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (Capítulo 7100 e 7101) (CETESB, 2001);
- Lista das fontes pontuais com potencial de contaminação do solo e da água subterrânea da Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº 3, de 21 de junho de 2006;
- Critérios de classificação de empreendimentos de baixo potencial poluidor (CETESB, 2010b) utilizado pela CETESB no Sistema de Licenciamento Simplificado (SILIS);
- Fator de complexidade (W) definido no Decreto Estadual nº 47.397/2002, utilizado para o licenciamento ambiental dos empreendimentos junto à CETESB (São Paulo, 2002).

O Sistema de Pontuação para priorização de Áreas Contaminadas, definido no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001), é composto de quatro partes, denominados de Critérios Principais, e enfocam dados gerais no Critério Principal 1 e dados de maior detalhe sobre resíduos, bens a proteger e vias de propagação nos demais Critérios.

Considerando os dados disponíveis, avaliou-se apenas o Critério Principal 1, que utiliza informações gerais, aplicando peso 1 a 3 para cada atividade, conforme seu potencial contaminador. O **Anexo 4** mostra os pesos para cada tipo de atividade utilizado no Critério Principal 1 do sistema de pontuação do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

(CETESB, 2001).

A Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº 3/2006 lista as fontes pontuais descrevendo as atividades que apresentam potencial de contaminação da água subterrânea para cada tipologia ou grupo de atividade.

O Sistema de Licenciamento Simplificado (SILIS) adotado pela CETESB também elenca um rol de atividades e critérios para identificação de empreendimentos com baixo potencial poluidor (CETESB, 2010b). Estas informações auxiliaram no refinamento do método de classificação adotado neste estudo, permitindo identificar empreendimentos com menor potencial de contaminação quando pertencentes ao mesmo grupo ou tipo de atividade.

Da mesma forma, foi utilizado o Fator de Complexidade (W) aplicado pela CETESB no licenciamento dos empreendimentos. O Fator de Complexidade para cada tipo de atividade está definido no Decreto Estadual nº 47.397/2002 (São Paulo, 2002). Este fator varia de 1 a 5 e reflete uma ponderação entre as características, a natureza, a complexidade e o potencial poluidor do empreendimento ou atividade. Assim, é possível fazer comparações relativas entre os tipos de atividade dentro de um mesmo grupo.

Utilizando o método POSH como base metodológica, associado ao Fator de Complexidade (W) e a critérios estabelecidos no SILIS, elaborou-se um sistema de classificação da carga potencial de contaminação de acordo com o grupo, tipo ou especificidade da atividade desenvolvida pelo empreendimento e para indicar que houveram adaptações, foi denominado de POSH-IG.

Este sistema classifica as potenciais fontes pontuais de contaminação em quatro classes, a saber: Elevado, Moderado, Reduzido e Muito Reduzido. A classe *Muito Reduzido* não existe no método POSH, mas foi incluída neste sistema POSH-IG, pois existem alguns empreendimentos que se enquadram em determinado grupo de atividade, como por exemplo, Alimentos e Bebidas ou Madeira, que não representam potencial significativo de contaminação devido ao tipo de atividade desenvolvida ou ao porte do empreendimento.

Algumas atividades não foram consideradas no sistema de classificação, apesar de haver empreendimentos na listagem original fornecida pela CETESB, pois não se encontrou um equivalente no método POSH, como é o caso de beneficiamento de sementes, serviços de saúde e laboratório e não foram consideradas como fontes potenciais de contaminação classificáveis. Os empreendimentos do tipo de atividade Agricultura também não foram classificados nesta etapa, pois foram avaliados de forma conjunta como fonte difusa de poluição, conforme descrito adiante. Esses empreendimentos também não foram localizados em campo, pois os dados de endereço eram, em geral, insuficientes.

O **Anexo 5** mostra o sistema de classificação POSH-IG, aplicado neste estudo, considerando cada tipo de atividade desenvolvida pelas fontes potenciais pontuais de contaminação cadastradas.



### 8.1.5. Classificação das potenciais fontes pontuais de contaminação

Como descrito no item anterior, alguns tipos de atividade não foram incluídos no sistema de classificação. Para que as informações relacionadas a tais atividades não fosse perdida, os empreendimentos foram registrados no Cadastro como “Não Classificado”.

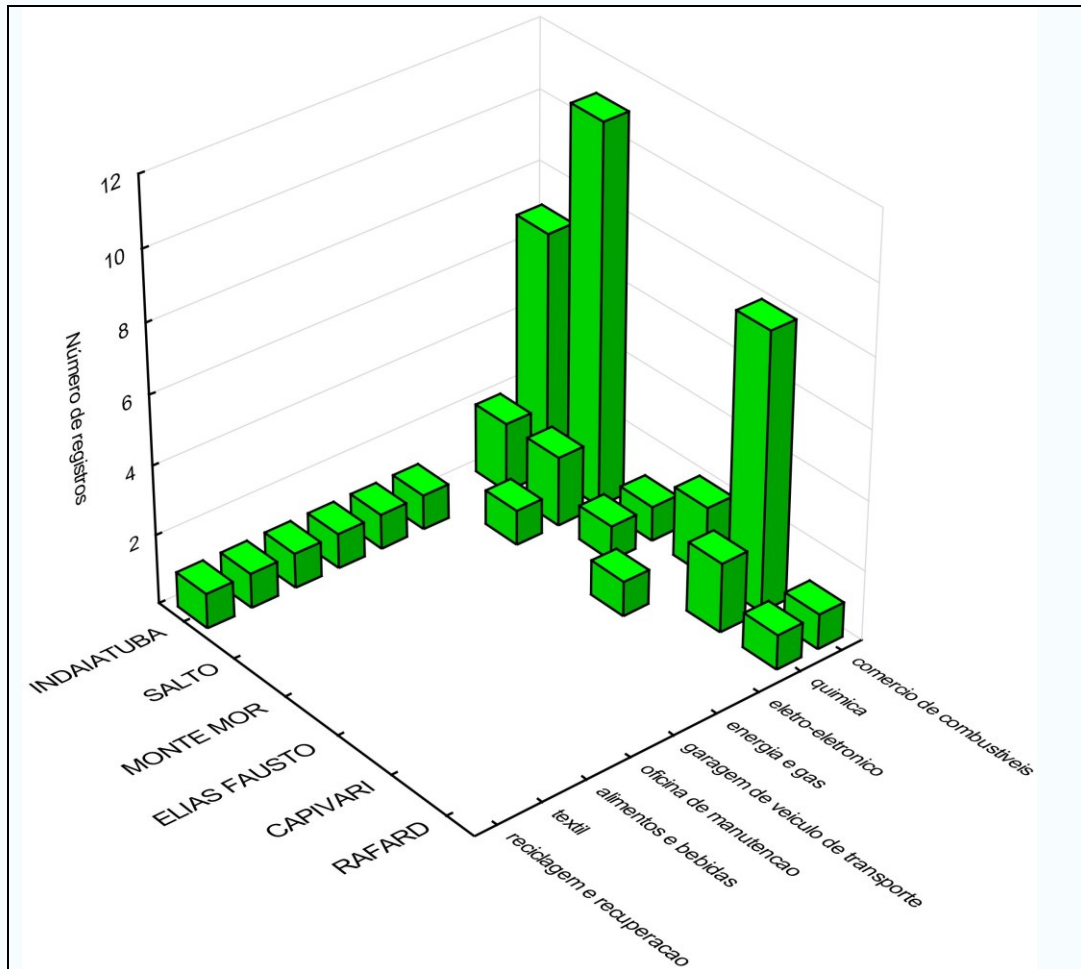
Outros empreendimentos também não foram classificados pois se referiam apenas a armazéns e escritórios, com localização não condizente com a descrição da atividade. Da mesma forma, esses registros também foram mantidos no Cadastro, mas estão identificados como “Não Classificado”.

Dos empreendimentos cadastrados no banco de dados, 46 deles constam da Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo (CETESB, 2011), cada qual em diferente estágio de investigação e remediação da contaminação. Esses registros estão inseridos e identificados no Cadastro deste estudo como “Área Contaminada”. A maior parte dos empreendimentos é de postos de serviço (Figura 52) e estão em fase de investigação da contaminação. Para conhecer a etapa atual de gerenciamento em que se encontra cada área contaminada, recomenda-se consultar a Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas, disponível no site da CETESB ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)).

Dentre os 1918 registros presentes no Cadastro das Potenciais Fontes Pontuais de Contaminação (Anexo 6), foram classificados 1835 empreendimentos (Tabela 40), dos quais 1573 possuem coordenadas. Mesmo aqueles empreendimentos não encontrados (identificados como NENC) ou não locados (identificados como NLOC) na etapa de campo, quando possuíam uma descrição adequada do tipo de atividade desenvolvida, foram classificados em relação ao potencial de contaminação da água subterrânea.

**TABELA 40 - Número de empreendimentos classificados de acordo com o potencial de contaminação da água subterrânea.**

	Áreas contaminadas	Classificados	Não classificados
<b>Capivari</b>	10	149	6
<b>Elias Fausto</b>	3	106	4
<b>Indaiatuba</b>	15	995	18
<b>Monte Mor</b>	2	144	5
<b>Rafard</b>	2	47	2
<b>Salto</b>	14	394	2
<b>Total</b>	46	1835	37



**FIGURA 52 - Tipo de atividade das áreas contaminadas nos municípios.**

Os empreendimentos cadastrados com maior potencial de contaminação da água subterrânea estão localizados em Indaiatuba e Salto e estão relacionados principalmente às indústrias químicas, de metalurgia, fabricação de produtos de metal e eletro-eletrônicos e engenharia mecânica, ao comércio de produtos perigosos e disposição inadequada de resíduos (Figuras 53 e 54).

O índice W (Fator de Complexidade) foi utilizado na classificação dos empreendimentos, para alguns tipos de atividade, como critério de classificação da carga potencial de contaminação. Para os registros onde este campo estava vazio ou com valor incompatível, o índice W foi estimado de acordo com base na descrição da atividade. O valor de W para cada atividade está disponível no site da CETESB, em <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/cetesb/fator.asp>.

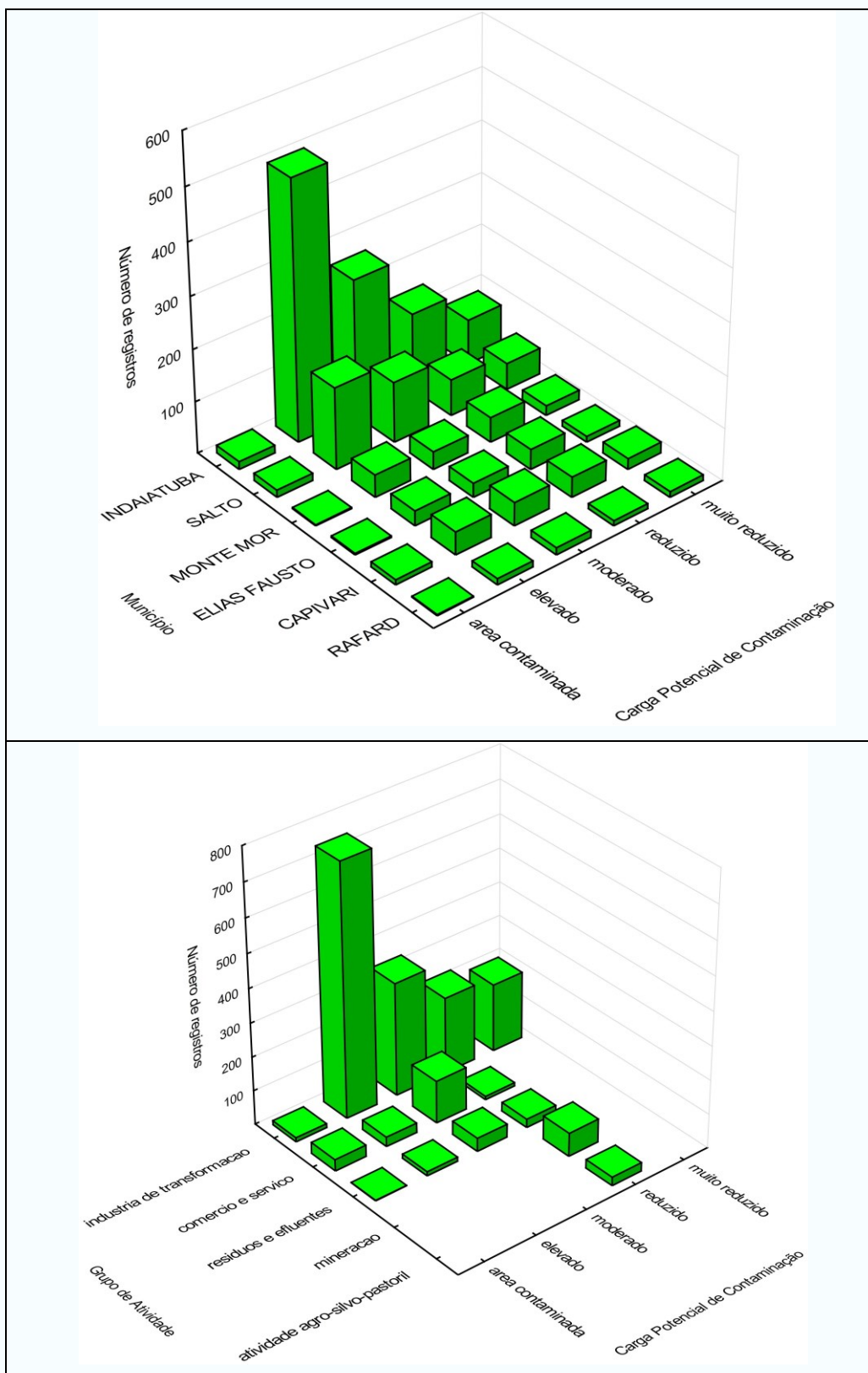
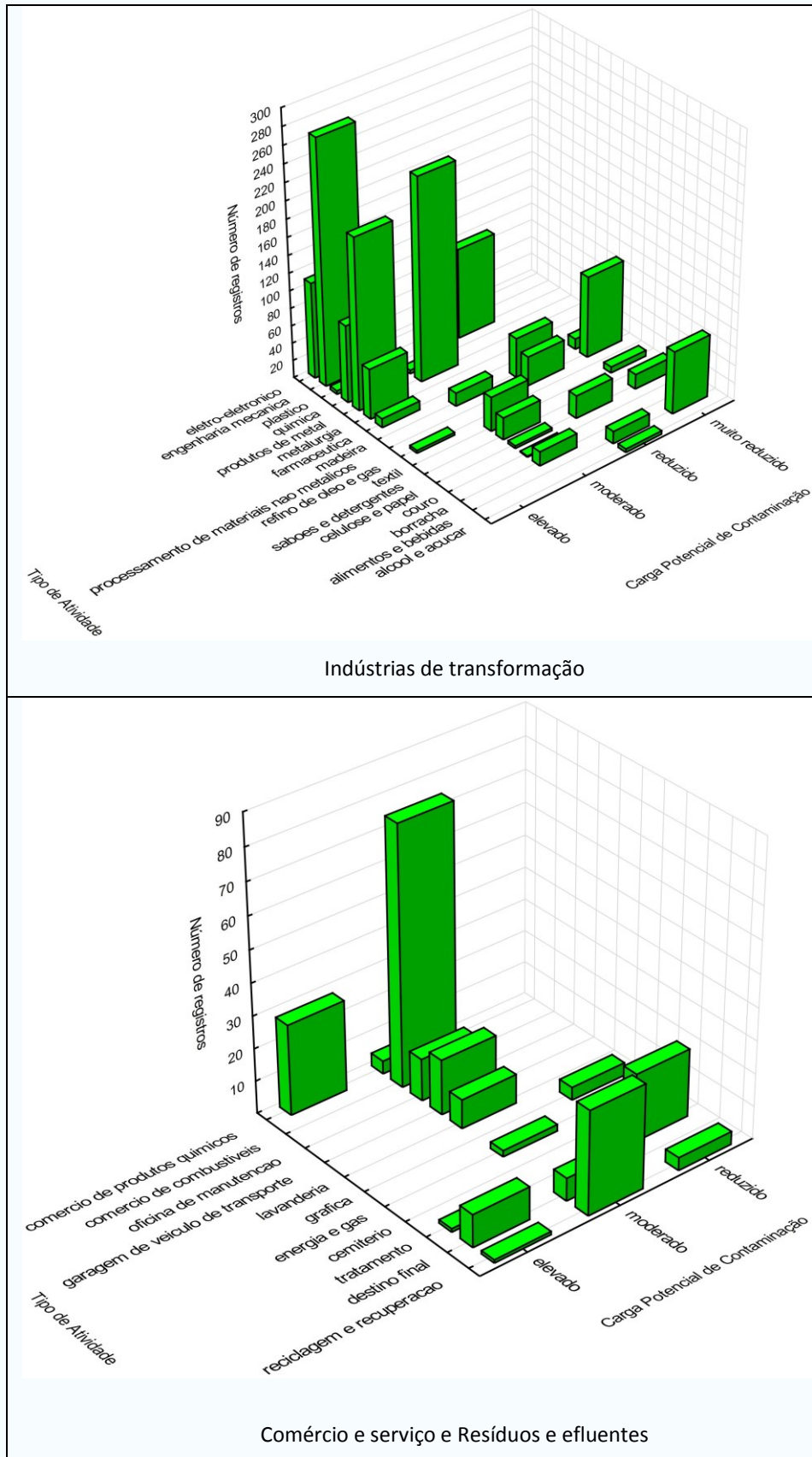


FIGURA 53 - Distribuição das cargas pontuais de contaminação por município e por grupo de atividade.



**FIGURA 54 - Distribuição das cargas pontuais de contaminação por tipo de atividade para os grupos: Indústrias de transformação, Comércio e serviços e Resíduos e efluentes.**

A Figura 55 mostra a localização das potenciais fontes pontuais de contaminação, de acordo com a sua classificação, cabe lembrar que um mesmo ponto pode estar associado a mais de um registro visto que existem empreendimentos que funcionam ou funcionaram no mesmo endereço. Como já identificado na Figura 53, Indaiatuba e Salto concentram os empreendimentos com maior carga potencial de contaminação, principalmente concentrados nos distritos industriais, que já estão bastante consolidados nesses municípios.



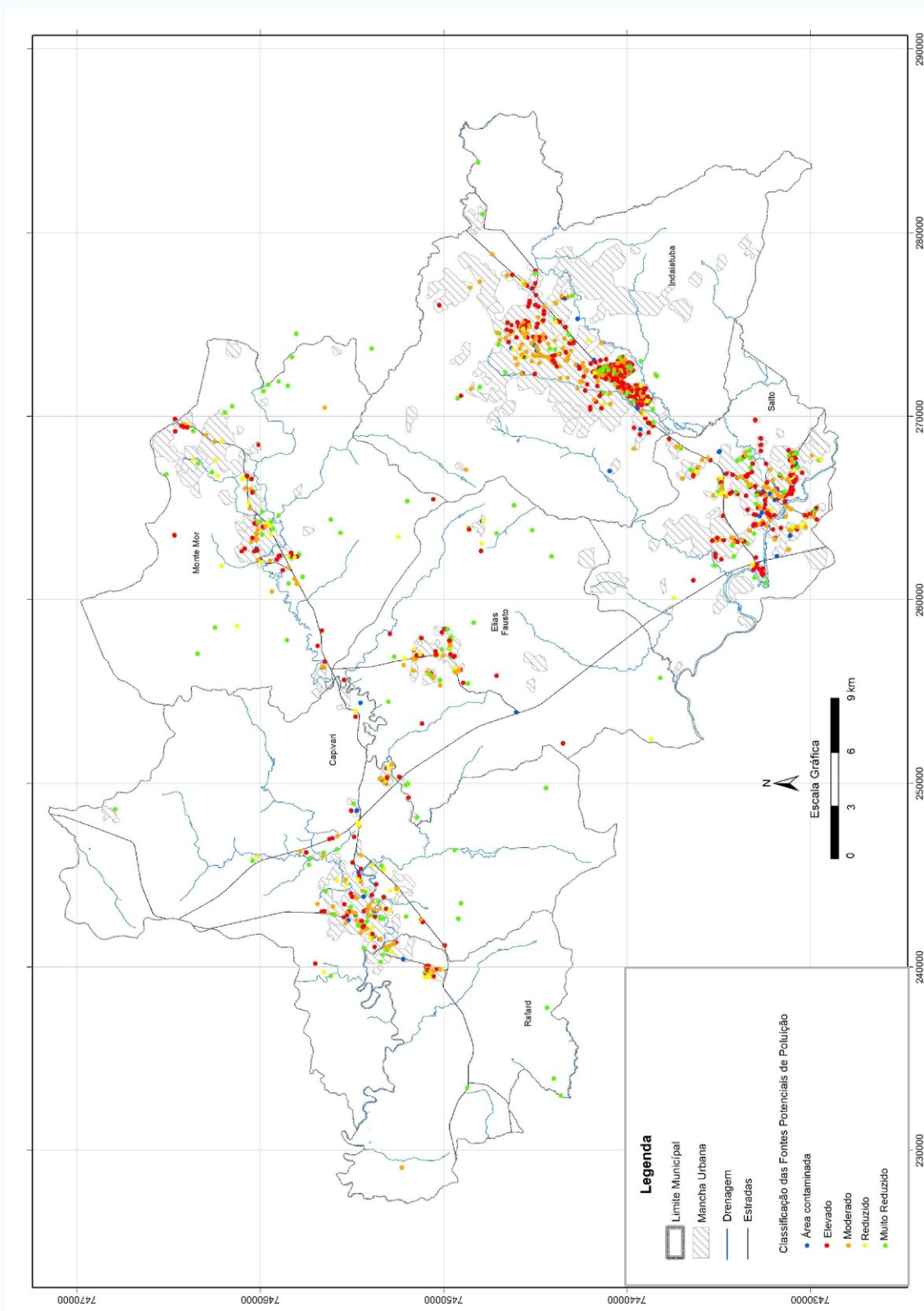


FIGURA 55 - Localização e classificação das potenciais fontes pontuais de contaminação.

## 8.2. Fontes Difusas de Poluição

### 8.2.1. Levantamento e localização

O levantamento das atividades que abrangem extensas áreas e que são consideradas fontes potenciais difusas de poluição foi baseado no Mapa de uso e cobertura da terra elaborado neste projeto (item 7).

A área urbana foi considerada como fonte difusa de poluição devido à potencial carga contaminante proveniente dos efluentes domésticos. Entre os contaminantes presentes, o nitrato causa preocupação por ser um composto persistente e muito móvel. Na área rural, o saneamento *in situ* não foi considerado como uma fonte difusa de poluição devido à distância entre as residências.

Em áreas com sistemas de saneamento *in situ*, o esgoto é infiltrado diretamente no solo ou através de fossas e sumidouros. Em áreas atendidas por rede coletora de esgoto, há possibilidade de contaminação da água subterrânea proveniente de vazamentos.

Segundo estudo realizado por Varnier *et al.* (2010a), na área urbana de Presidente Prudente (SP) há indícios de que as altas concentrações de nitrato sejam provenientes tanto das antigas fossas instaladas nos primórdios da formação da cidade como também de vazamentos da rede coletora de esgoto.

Por esse motivo, as Áreas edificadas e Loteamentos, identificados no mapa de uso do solo urbano (Figura 46 – *Mapa de uso e ocupação do solo urbano do item 7*, baseado em imagens de 2007), foram considerados como potenciais fontes difusas de poluição. Os distritos industriais, identificados neste mapa, não foram classificados como fontes difusas, pois foram considerados no item de Fontes Pontuais.

Na área rural, destaca-se a atividade agrícola, cuja prática pode contaminar a água subterrânea com nutrientes, especialmente nitrato, e compostos orgânicos provenientes dos defensivos agrícolas. Segundo CETESB (2010c), o Estado de São Paulo é o maior consumidor brasileiro de agrotóxicos, sendo que os herbicidas lideram em termos de valor entre os defensivos vendidos em 2006, principalmente para uso nas culturas de cana-de-açúcar, soja e milho.

Vários estudos também mostram que a adubação do solo praticada na agricultura e pastagem aumenta significativamente as concentrações de nitrato na água subterrânea (Xu *et al.*, 2007; Benson *et al.*, 2006; Rupert, 2008).

A metodologia aplicada para elaboração do *Mapa de uso e cobertura da terra* permitiu diferenciar as áreas com cultivo de cana-de-açúcar, das demais culturas e também das áreas de pasto, como mostra a Figura 38. As plantações de cana-de-açúcar predominam na região, especialmente na porção oeste da área de estudo, nos municípios de Capivari e Rafard.

As culturas temporárias e/ou permanentes como batata, uva, figo, milho, tomate, trigo e laranja foram agrupadas na classe “Outras culturas”, uma vez que não foi possível diferenciá-las em função da escala de mapeamento e das características da área de estudo. Estas culturas, muitas vezes cultivadas em pequenas propriedades, distribuem-se em todos os municípios, mas tendem a ter maior ocorrência na porção centro-leste da área de estudo.

## 8.2.2. Definição do sistema de classificação da carga difusa de contaminação

As potenciais fontes difusas de contaminação foram classificadas de acordo com o tipo de atividade. O sistema de classificação aplicado é uma adaptação do método POSH, considerando as informações disponíveis e as características da região.

O método POSH, desenvolvido por Foster *et al.* (2002), foi utilizado como base metodológica devido sua facilidade de aplicação e por ser amplamente aceito no Estado de São Paulo. A Tabela 41 ilustra os critérios do método POSH para classificação da carga contaminante proveniente de fontes difusas de contaminação.

**TABELA 41 - Sistema POSH de classificação de fontes difusas de contaminação (Fonte: Foster *et al.*, 2006, corrigido com base em Foster *et al.*, 2002).**

POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE	SANEAMENTO <i>IN SITU</i>	PRÁTICAS AGRÍCOLAS
Elevado	Cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/há	Culturas comerciais intensivas e maioria das monoculturas em solos bem drenados em climas úmidos ou com baixa eficiência de irrigação, pastagem intensiva com intenso uso de fertilizante
Moderado	Situação intermediária entre elevado e reduzido	
Reduzido	Cobertura da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 50 pessoas/há	Rotação de culturas, campos de pastagem extensiva, sistemas de cultivo agroecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em áreas áridas

Neste projeto foram adotadas algumas modificações quanto aos parâmetros e intervalos propostos no método POSH, de forma a contemplar as informações disponíveis para a área de estudo. Para destacar as adaptações feitas no sistema de classificação, o método aplicado foi denominado de POSH-IG, discriminado para a área urbana, onde a carga potencial de contaminação provém dos sistemas de saneamento, e para a área rural, enfocando a atividade agrícola.

### • SISTEMA DE SANEAMENTO - ÁREA URBANA

O método POSH de classificação de fontes difusas de contaminação considera apenas a porcentagem de atendimento por rede coletora de esgoto e densidade de população para determinar a carga potencial de contaminação proveniente dos sistemas de saneamento.

Contudo, estudos realizados no Sistema Aquífero Bauru por Cagnon & Hirata (2004), Varnier *et al.* (2010a, 2010b) e Procel (2011) mostraram que as concentrações de nitrato estão relacionadas com a evolução da urbanização, sendo encontradas relações positivas entre teores de nitrato e as porções mais antigas e com maior adensamento urbano.

No Estado de São Paulo, as cidades tiveram um intenso processo de urbanização a partir da década de 1950 e, nessa época, o uso de fossas era prática comum (Varnier *et al.*, 2010b). A partir da década de 70, com a instituição do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), iniciou-se o investimento em instalação de redes coletoras de esgoto.

A avaliação da evolução da urbanização na área de estudo permitiu mapear a mancha urbana em 1987, 1997 e 2007 como mostra a Figura 47 (*Mapa de expansão da urbana do item 7*). Com essa informação, assume-se que na área mais antiga, mancha urbana de 1987, o uso de fossas foi mais intenso, aumentando a carga potencial de contaminação.

Atualmente, nos municípios estudados, o atendimento por rede coletora de esgoto é acima de 90% (Tabela 4 – Item 4.2), com exceção de Monte Mor, com apenas 44%.

O adensamento urbano também influencia a carga potencial de contaminação, como observado por Cagnon & Hirata (2004), Varnier *et al.* (2010a, 2010b) e Procel (2011) e para as Áreas edificadas e Loteamentos, o mapa de uso do solo urbano (Figura 45) faz uma diferenciação em alta, média e baixa densidade de ocupação. Esta densidade foi definida a partir do tamanho dos lotes, não implicando necessariamente que os lotes estejam totalmente ocupados, mas refletem a carga potencial de contaminação que está ou estará instalada no local.

Buscou-se, dessa forma, refinar o método POSH de forma a contemplar essas informações, resultando no sistema de classificação ilustrado na Tabela 42, o qual foi denominado POSH-IG. Este sistema considera: 1) 3 classes de densidade de área edificada e loteamento: alta, média e baixa; 2) a mancha urbana de 1987, por delimitar as áreas mais antigas e que, conseqüentemente, sofreram influência de carga contaminante potencial por um período mais prolongado; 3) 3 classes de cobertura de rede coletora de esgoto. O cruzamento destes três fatores indica o potencial de contaminação por fontes difusas em área urbana.

**TABELA 42 - Sistema POSH-IG para classificação das fontes difusas de contaminação relacionadas a sistemas de saneamento em área urbana.**

ÁREA EDIFICADA E LOTEAMENTO	ALTA DENSIDADE		MEDIA DENSIDADE		BAIXA DENSIDADE		CLASSIFICAÇÃO DA CARGA POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO
	Antes 1987	Após 1987	Antes 1987	Após 1987	Antes 1987	Após 1987	
Mancha urbana							
Cobertura de rede coletora de esgoto	Até 25	Até 25	Até 25	Até 25%	Até 25%	Até 25%	elevado
	Entre 25 e 75%	Entre 25 e 75%	Entre 25 e 75%				
	Acima de 75%						
		Acima de 75%	Acima de 75%	Entre 25 e 75%	Entre 25 e 75%	Entre 25 e 75%	moderado
				Acima de 75%	Acima de 75%	Acima de 75%	reduzido

• **ATIVIDADE AGRÍCOLA - ÁREA RURAL**

Para a área rural, a escala e a metodologia empregadas para mapeamento do uso e cobertura da terra não permitiu um detalhamento das variedades cultivadas sendo possível diferenciar apenas as plantações de cana-de-açúcar das demais culturas temporárias e/ou permanentes. Outra classe de uso identificada foi área com vegetação rasteira, que foi correlacionada à ocorrência de pasto.

Assim, considerando essas classes de uso do solo e a proposição do método POSH, foram

definidos os critérios de classificação da carga potencial de contaminação relacionada à atividade agrícola, como mostra a Tabela 43.

**TABELA 43 - Sistema POSH-IG aplicado para classificação das fontes difusas de contaminação existentes na área rural, com base nas unidades do mapa de uso do solo.**

CLASSIFICAÇÃO	UNIDADE DE USO DO SOLO
Elevado	Cana-de-açúcar
Moderado	Outras culturas
Reduzido	Pasto

### 8.2.3. Classificação das potenciais fontes difusas de contaminação

Aplicando os critérios da metodologia desenvolvida (POSH-IG), as fontes difusas de contaminação foram classificadas quanto à potencial carga de contaminação.

- **SISTEMA DE SANEAMENTO - ÁREA URBANA**

Aplicando os critérios de classificação (Tabela 42) obteve-se o mapa de classificação das fontes potenciais difusas de contaminação na área urbana. As áreas com carga potencial mais elevada concentram-se nas porções mais antigas das cidades onde também se concentram as edificações mais adensadas. Em Monte Mor todas as áreas edificadas e loteamentos foram classificados com carga potencial média a alta, pois a cobertura de rede de esgoto da cidade é inferior a 50%, o que indica um uso ainda intensivo de fossas (Figura 56).

Foram observados alguns poços com concentrações elevadas de nitrato (acima de 3 mg/L) nas porções mais antigas das cidades de Capivari e Indaiatuba, corroborando a classificação de áreas com alta a moderada carga potencial de contaminação, como mostra a Figura 57.



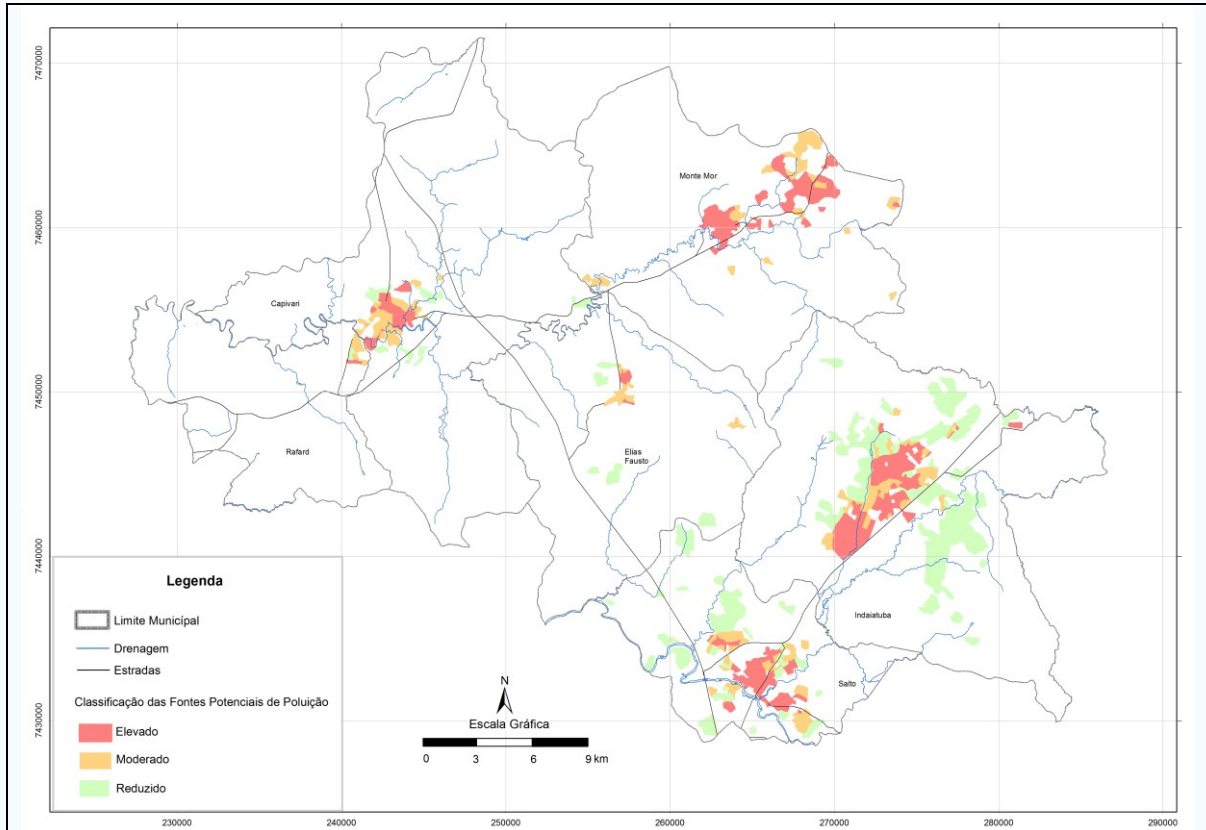


FIGURA 56 - Classificação das fontes potenciais difusas de contaminação da água subterrânea proveniente dos sistemas de saneamento.

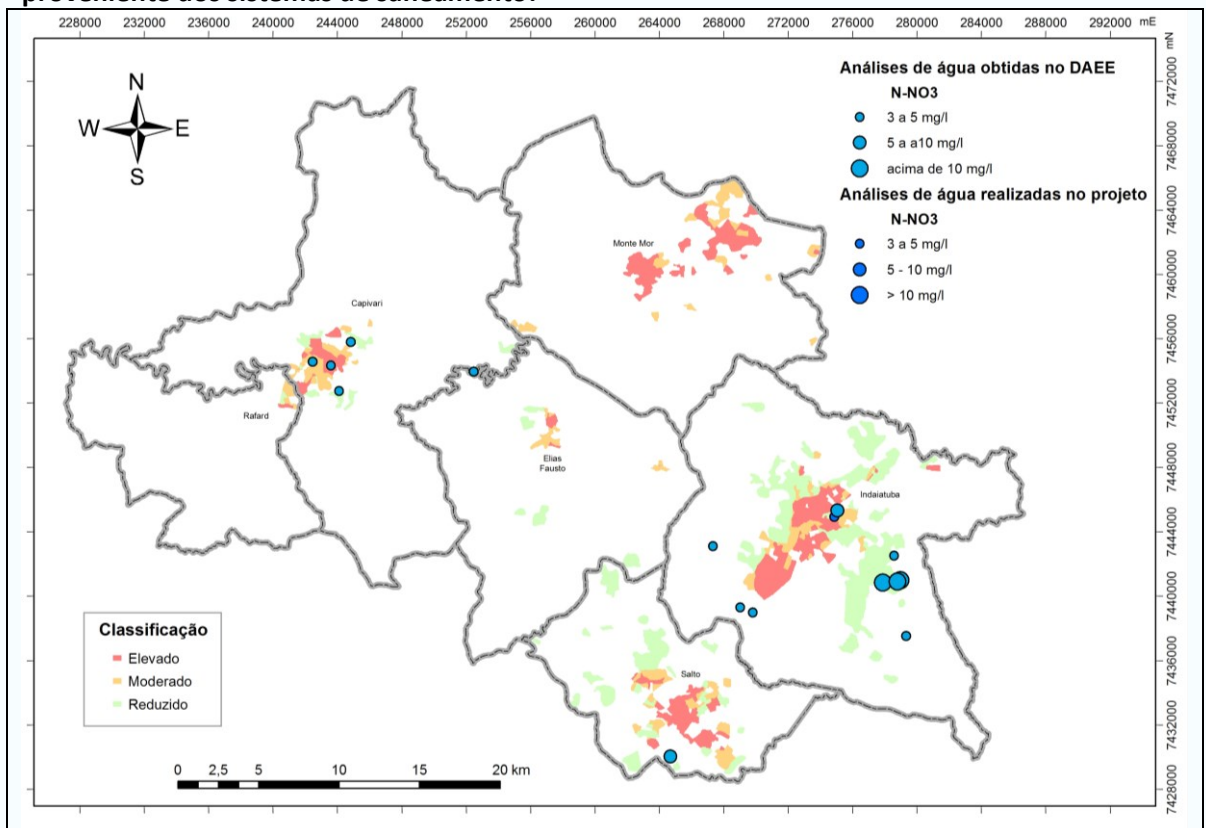


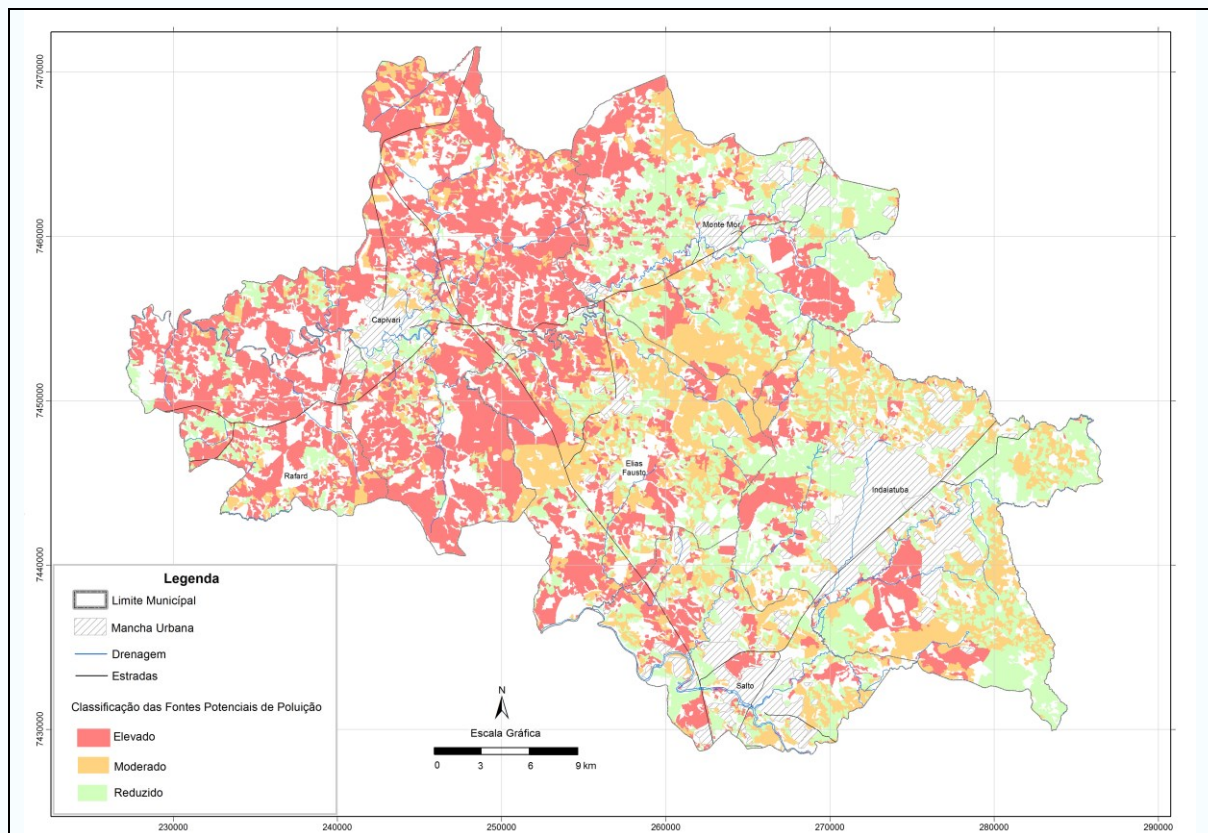
FIGURA 57 - Concentrações de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> acima de 3 mg/L em relação às potenciais fontes difusas de contaminação.

## • ATIVIDADE AGRÍCOLA - ÁREA RURAL

A monocultura de cana-de-açúcar domina grande parte da área de estudo, estendendo-se por 406 km<sup>2</sup>, especialmente nos municípios de Capivari e Rafard onde ocupa cerca de 50% do território municipal, e foi considerada com elevada carga potencial de contaminação da água subterrânea.

As demais culturas e as áreas de pasto, com carga potencial moderada e reduzida, respectivamente, concentram-se na porção leste da área de estudo, como mostra a Figura 58.

Cabe um detalhamento da categoria “Outras culturas” de forma a diferenciar os tipos de cultivo, como perenes e semi-perenes, em estudos futuros.



**FIGURA 58 - Classificação das potenciais fontes difusas de contaminação da água subterrânea proveniente da prática agrícola.**

### 8.3. Perigo Potencial de Poluição

Foster *et al.* (2006) definem o perigo de contaminação da água subterrânea como a probabilidade de um aquífero sofrer impactos negativos causados pela atividade antrópica, de tal maneira que a água deixe de atender os padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde para o consumo humano.

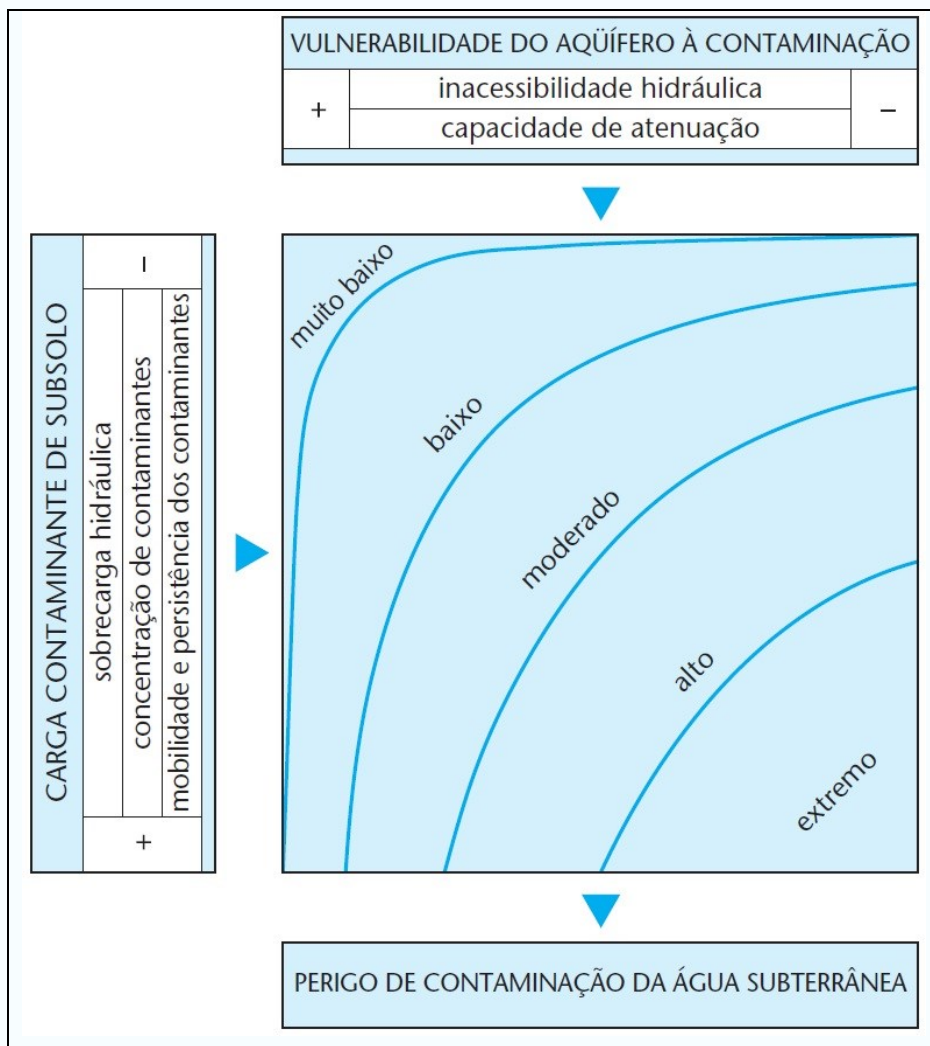
Para avaliar o perigo de contaminação de um aquífero, estes autores propõem uma interação entre a carga contaminante existente ou que poderá ser aplicada ao subsolo e a

vulnerabilidade natural desse aquífero, como mostra a Figura 59.

Assim, como exemplo, o perigo de contaminação será baixo a moderado mesmo em aquíferos altamente vulneráveis se a carga de contaminação existente for reduzida.

Como visto anteriormente, na área dos municípios estudados predomina vulnerabilidade baixa. Ao longo das drenagens, o índice de vulnerabilidade é médio e somente em algumas porções isoladas, os índices chegam a ser altos a extremos, como na várzea do rio Jundiáí, entre Indaiatuba e Salto, e nas cabeceiras de algumas drenagens (Figura 26 – *Mapa de vulnerabilidade do item 6.5*).

Com base na distribuição da vulnerabilidade natural dos aquíferos e nos conceitos estabelecidos por Foster *et al.* (2006), adaptou-se o sistema de classificação do perigo potencial de contaminação para as informações disponíveis e para as técnicas de análise espacial em SIG (sistema de informação geográfica), considerando as fontes potenciais pontuais e difusas.



**FIGURA 59 - Esquema conceitual para avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea (Foster *et al.*, 2006).**

### 8.3.1. Perigo potencial em relação às fontes pontuais de poluição

Para permitir a aplicação de técnicas de análise espacial em SIG, considerando a escala de trabalho aplicada neste estudo, a carga potencial de contaminação imposta pelas fontes pontuais foi totalizada por unidade de área de 200 por 200 metros, de forma a permitir um cruzamento com o mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos.

Para a determinação do perigo potencial de contaminação foram aplicados os critérios definidos na Figura 60, sendo que a carga de contaminação adotada para cada célula é sempre baseada na totalização das fontes pontuais com maior carga potencial.

		CÉLULA de 200 x 200m	VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS			
		Nº DE OCORRÊNCIAS POR CÉLULA	Baixa	Média	Alta	Extrema
CARGA PONTUAL DE CONTAMINAÇÃO	Muito reduzida	Até 4	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo
		5 a 10	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo
		Acima de 11	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Reduzida	Até 4	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado
		5 a 10	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado
		Acima de 11	Baixo	Moderado	Moderado	Moderado
	Moderada	Até 4	Baixo	Moderado	Alto	Alto
		5 a 10	Baixo	Moderado	Alto	Alto
		Acima de 11	Moderado	Alto	Alto	Alto
	Elevada	Até 4	Moderado	Alto	Alto	Extremo
		5 a 10	Alto	Alto	Extremo	Extremo
		Acima de 11	Alto	Alto	Extremo	Extremo

**FIGURA 60 - Sistema de classificação do perigo potencial de contaminação da água subterrânea frente às fontes potenciais pontuais.**

A Deliberação CRH nº 52/2005 estabelece distâncias indicativas mínimas para delimitação das Áreas de Restrição e Controle frente às atividades com potencial de contaminação da água subterrânea, que variam de 30 a 500 metros, conforme a atividade desenvolvida (**Anexo 7**). Para as indústrias de produção e transformação de metais, a distância indicativa é de 200 metros, e como este tipo de indústria é predominante na área de estudo, este foi o tamanho adotado para a unidade de área utilizada para a totalização da carga potencial de contaminação.

Assim, a partir de técnicas de análise espacial em SIG, procedeu-se o cálculo do número de fontes pontuais com maior carga potencial de contaminação em cada célula de 40.000 m<sup>2</sup> (200 x 200 metros). Este plano de informação foi cruzado com o plano de informação da vulnerabilidade, gerando o mapa de perigo potencial de contaminação da água subterrânea (Figura 61).

As classes mais elevadas de perigo potencial de contaminação são observadas nos distritos industriais de Salto e Indaiatuba, principalmente quando se encontram nas áreas próximas às drenagens, onde a vulnerabilidade natural também é maior.

Os distritos industriais concentrados na porção sul da área urbana de Indaiatuba (Nova Era, Recreio Campestre Joia, Vitoria Martini, American Park Empresarial, Domingos Giomi e João Narezzi) estão bastante consolidados, com alta concentração de indústrias das mais variadas

atividades e, por essa razão, destacam-se formando uma extensa área com perigo potencial extremo a alto de contaminação da água subterrânea. Outros núcleos industriais consolidados e outros que começam a se consolidar em outras partes da cidade mostram pontualmente alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea como nos bairros Cidade Nova I e II.

Em Salto também existem distritos industriais consolidados como o Núcleo Industrial Allert, Julio Ustrito e Parque do Lago que também apresentam um alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea, estendendo-se principalmente ao longo da rodovia Marechal Rondon e nas proximidades do rio Tietê.

Nos demais municípios, as áreas com alto perigo potencial de contaminação não são extensas e ocorrem principalmente ao longo do rio Capivari e das rodovias. Predominam nesses municípios, um perigo moderado a baixo, lembrando que algumas atividades com reduzida carga potencial não foram localizadas em campo. Em Capivari ressalta a área do distrito industrial com alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea, afastada da área urbana, localizado ao longo da Rodovia do Açúcar, próxima ao rio Capivari (Figura 61).



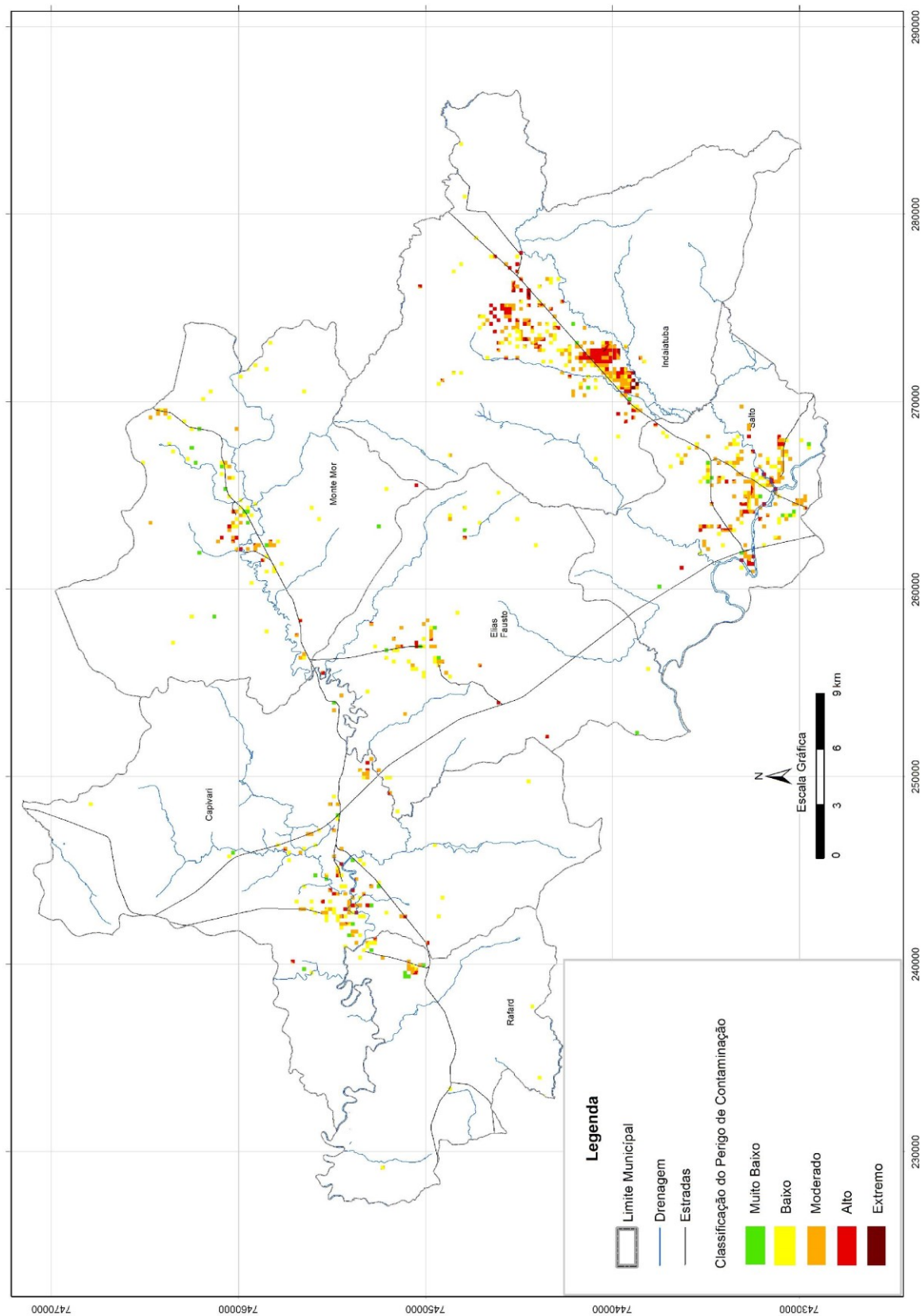


FIGURA 61 - Perigo potencial de contaminação da água subterrânea frente às fontes pontuais existentes.

### 8.3.2. Perigo potencial em relação às fontes difusas de poluição

Para as fontes difusas de contaminação, a análise espacial em SIG consistiu em cruzar os planos de informação da vulnerabilidade natural com os de carga potencial difusa proveniente dos sistemas de saneamento (área urbana) (Figura 62) e da atividade agrícola (área rural) (Figura 58).

As classes de perigo potencial de contaminação obedeceram aos critérios estabelecidos na Figura 62, adaptada do sistema proposto por Foster *et al.* (2006) para a área de estudo.

		Índice de vulnerabilidade natural dos aquíferos			
		Baixo	Médio	Alto	Extremo
Carga difusa de contaminação	Reduzida	Muito Baixo	Baixo	Moderado	Moderado
	Moderada	Baixo	Moderado	Alto	Alto
	Elevada	Moderado	Alto	Alto	Extremo

**FIGURA 62 - Sistema de classificação do perigo potencial de contaminação da água subterrânea frente às fontes potenciais difusas.**

Como há uma predominância de vulnerabilidade baixa, o perigo potencial de contaminação da água subterrânea, tanto para as fontes difusas da área urbana como na área rural, é, de forma geral, moderado a muito baixo.

- **SISTEMA DE SANEAMENTO - ÁREA URBANA**

O perigo potencial de contaminação por sistemas de saneamento foi avaliado apenas para a área urbana e de forma geral, predomina o índice moderado como mostra a Figura 63.

O maior perigo potencial de contaminação, com índices variando de moderado a alto concentra-se nas porções mais antigas das cidades, onde há também um maior adensamento urbano.

Em Monte Mor, a taxa de cobertura por rede de esgoto é pequena, mas, por sorte, a maior parte da área urbana estende-se por regiões com vulnerabilidade baixa, resultando também em um perigo potencial predominantemente moderado. Esta característica pode explicar o fato de não se observar poços com altas concentrações de N-Nitrato na cidade (Figura 57). Observam-se apenas algumas áreas onde o perigo potencial é alto devido à vulnerabilidade média associada às porções próximas às drenagens (Figura 63).

- **ATIVIDADE AGRÍCOLA - ÁREA RURAL**

Em relação à atividade agrícola, o perigo potencial de contaminação é maior principalmente nos municípios de Capivari e Rafard e na porção oeste de Elias Fausto onde há um predomínio da monocultura canavieira. Uma extensa área com perigo potencial elevado a moderado é observada na divisa dos municípios de Elias Fausto e Capivari que está associada a uma área de alta a média vulnerabilidade na cabeceira do afluente do rio Capivari (Figura 64).

Nos demais municípios, na parte leste da área estudada, o perigo potencial de contaminação da água subterrânea é menor, predominando índices de baixo a muito baixo. Porções com alto a moderado perigo potencial estão associadas a algumas extensas áreas de plantação de cana em Monte Mor e Indaiatuba, e a outras culturas na várzea do rio Jundiá.

Pequenas áreas foram classificadas com perigo potencial extremo, mas estão restritas às várzeas de drenagem, com maior ocorrência nas proximidades do rio Jundiá, em Indaiatuba.

Algumas áreas na Figura 64 não foram classificadas por serem ocupadas por mata, que não é considerada fonte potencial de contaminação, e por solo exposto onde não foi possível identificar o tipo de atividade desenvolvida.

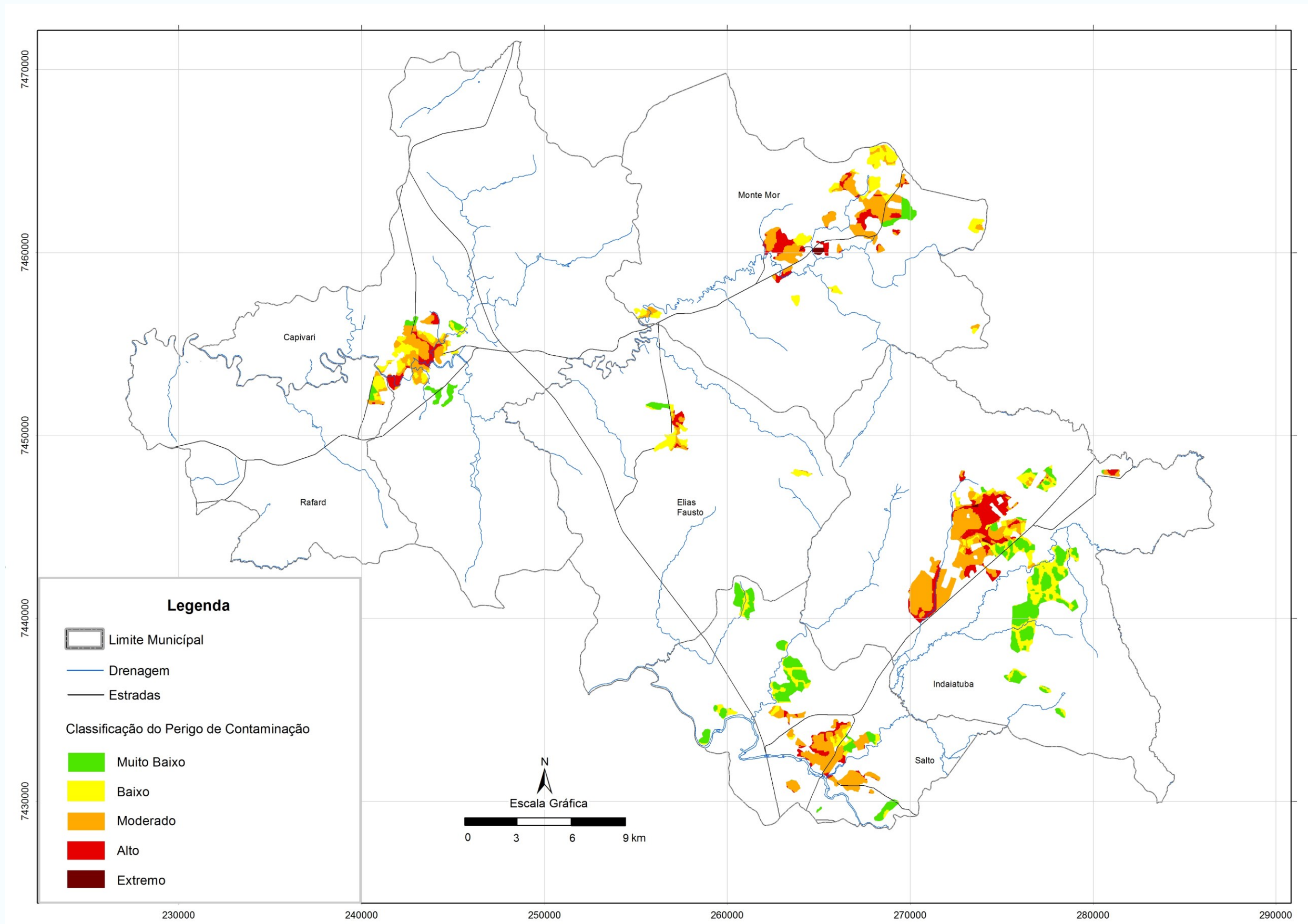


FIGURA 63 - Perigo potencial de contaminação da água subterrânea imposta pelos sistemas de saneamento na área urbana.



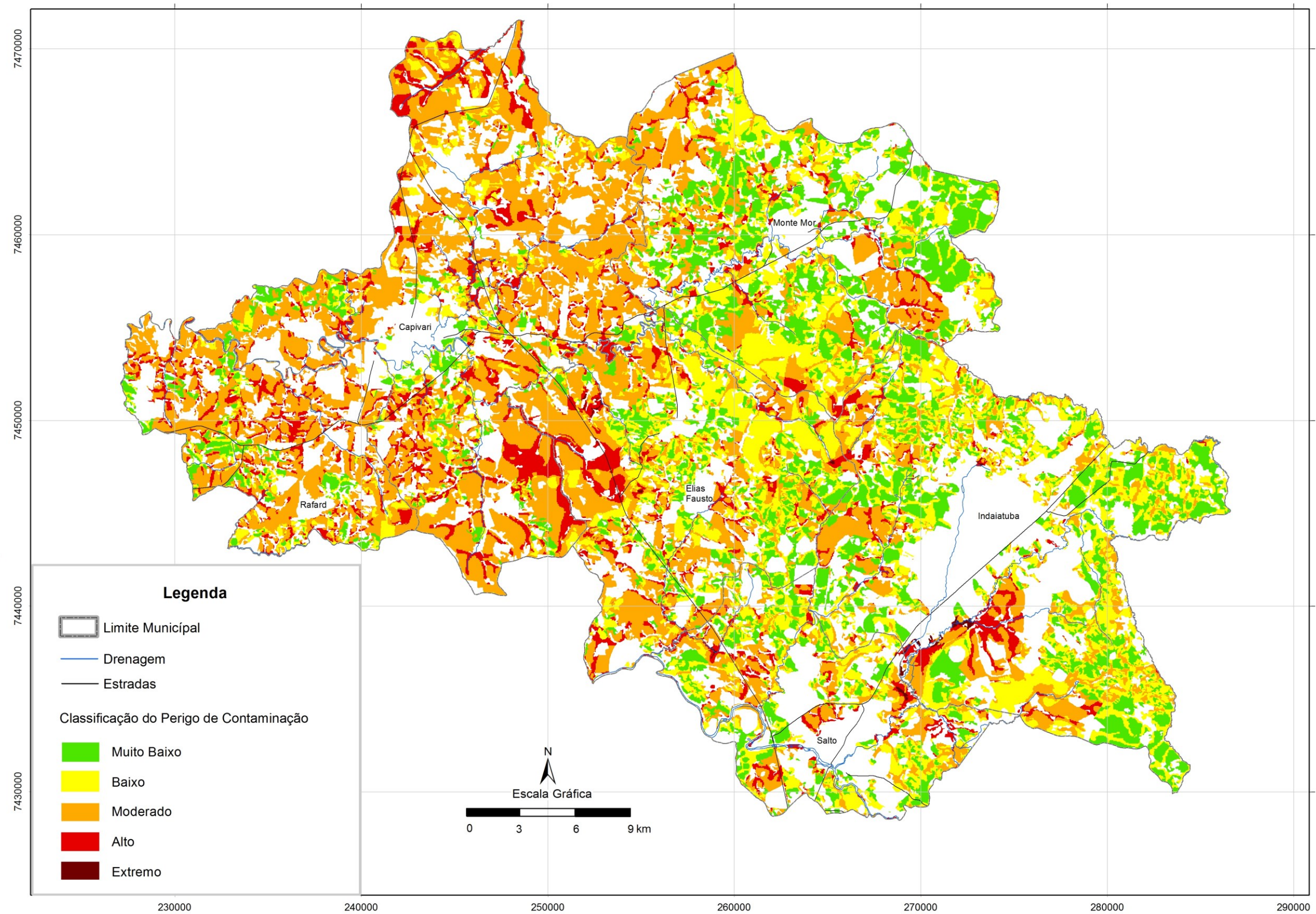


FIGURA 64 - Perigo potencial de contaminação da água subterrânea na área rural frente à atividade agrícola.



## 9. ÁREAS POTENCIAIS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE

De acordo com a Deliberação CRH nº 52/2005 as Áreas Potenciais de Restrição e Controle (ARC-PO) são “aquelas onde a densidade de poços e o volume de água extraído indicam superexploração ou onde estão sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras de solo e águas subterrâneas”.

As áreas classificadas como ARC-PO, como estabelece esta deliberação, deverão ser alvo de uma investigação mais detalhada, em escala adequada, de forma a identificar indícios de superexploração e/ou contaminação da água subterrânea.

Para a identificação das ARC-PO neste estudo avaliaram-se os parâmetros relacionados à quantidade e à qualidade da água explorada em relação aos possíveis impactos que poderão ser ou estão sendo impostos ao aquífero pela exploração intensiva ou pela elevada carga potencial de contaminação da água subterrânea.

Assim, os possíveis impactos avaliados foram: rebaixamento da superfície potenciométrica causada pela exploração intensiva; interferência entre poços; contaminação da água subterrânea.

### 9.1. Identificação das Áreas Potenciais de Restrição e Controle

#### 9.1.1. Potencial rebaixamento da superfície potenciométrica

A exploração intensiva através de poços profundos pode causar um rebaixamento da superfície potenciométrica. Esse rebaixamento pode ser localmente restrito e temporário, causado pela alta densidade ou bombeamento intensivo de poços, ou, quando o bombeamento supera a capacidade de recarga ou recuperação do aquífero, trazendo prejuízos econômicos ou socioambientais, o que pode levar à superexploração.

O mapa potenciométrico elaborado para a área de estudo (Figura 22) mostra que o fluxo, de forma geral, segue para as drenagens principais, que atuam como áreas de descarga regional.

Na região de Capivari e Rafard, como discutido no item 6.4, observa-se uma alteração da superfície potenciométrica, indicando um rebaixamento resultante do bombeamento intensivo dos poços. De acordo com os mapas potenciométricos elaborados para as décadas de 1990 e 2010 (Figuras 23 e 24), observa-se que este rebaixamento aumentou nos últimos 20 anos. Na porção sul da área urbana de Capivari, em 1990 a menor cota potenciométrica estava em torno de 480 metros (Figura 23) enquanto que a potencimetria atual indica cota em torno de 440 metros, o que soma um potencial rebaixamento de 40 metros.

Alguns poços com dados de teste de bombeamento em diferentes datas mostraram rebaixamento do nível da água, sendo que muitos deles localizam-se nesta porção do município de Capivari, indicando que pontualmente a queda do nível estático chega a ser superior a 60 metros (Tabela 24).

Ressalta-se que os mapas potenciométricos foram elaborados com dados de nível estático disponíveis no cadastro de poços e estes valores não foram aferidos em campo, pois a totalidade dos

poços visitados não possui tubo para medição do nível d'água.

Para a confirmação se está ocorrendo o rebaixamento da superfície potenciométrica ao longo do tempo deve ser realizado um estudo específico com monitoramento sistemático do nível da água e do regime de bombeamento dos poços.

Como não existem dados de monitoramento do nível da água no período para melhor definição da área com potencial rebaixamento do nível d'água, avaliou-se o mapa potenciométrico integrado com o mapa de densidade de poços, pois entende-se que a concentração de poços com bombeamento intensivo em pequenas áreas promovem um rebaixamento local do nível da água decorrente da somatório dos cones de influência.

No mapa de densidade de poços (Figura 65) foram identificados os poços ativos destinados ao abastecimento público, uma vez que possuem, em geral, regime de funcionamento intensivo, com grandes vazões e tempo de bombeamento superior a 20 horas.

Para a construção deste mapa de densidade (Figura 65) consideraram-se apenas os poços ativos. Aqueles que não possuíam informação sobre sua situação foram considerados como poços em funcionamento. A área de estudo foi discretizada em células de 250.000 m<sup>2</sup> (500 x 500 m) e este tamanho foi baseado em DAEE/IG/IPT/CPRM (2005) que propõe um espaçamento de 500 m entre poços visando uma exploração sustentável.

A avaliação da conformação das cotas potenciométricas 460 e 480 metros associada com a maior densidade de poços e a existência de poços de abastecimento público com intensivo regime de bombeamento permitiram delimitar duas áreas onde há indícios de rebaixamento do nível da água (Figura 66), corroborados pela ocorrência de alguns poços com indicação de alteração do nível estático nos últimos 20 anos. Estas áreas foram consideradas como Áreas Potenciais de Restrição e Controle relativas ao rebaixamento do nível da água.

Estas áreas localizam-se na mancha urbana de Capivari, sendo que a maior delas (ARC-PO-1), próxima ao rio Capivari, apresentou maior rebaixamento do nível da água e está abrangida, em sua maior parte, pela cota potenciométrica 460 metros.

Uma segunda área (ARC-PO-2), com menor extensão, localiza-se na porção norte da área urbana de Capivari. Nesta porção, em 1990, a cota potenciométrica estava em torno de 520 metros, mas em 2010 os poços mostram cotas da ordem de 480 metros, indicando um rebaixamento do nível da água como observado nos níveis estáticos registrados nos testes de bombeamento dos poços 853 e 1649.

Nestas áreas propostas como Áreas Potenciais de Restrição e Controle (ARC-PO-1 e ARC-PO-2) recomenda-se o controle do regime de funcionamento (vazão explorada e tempo de funcionamento) dos poços existentes, controle da perfuração de novos poços e o monitoramento do nível da água.

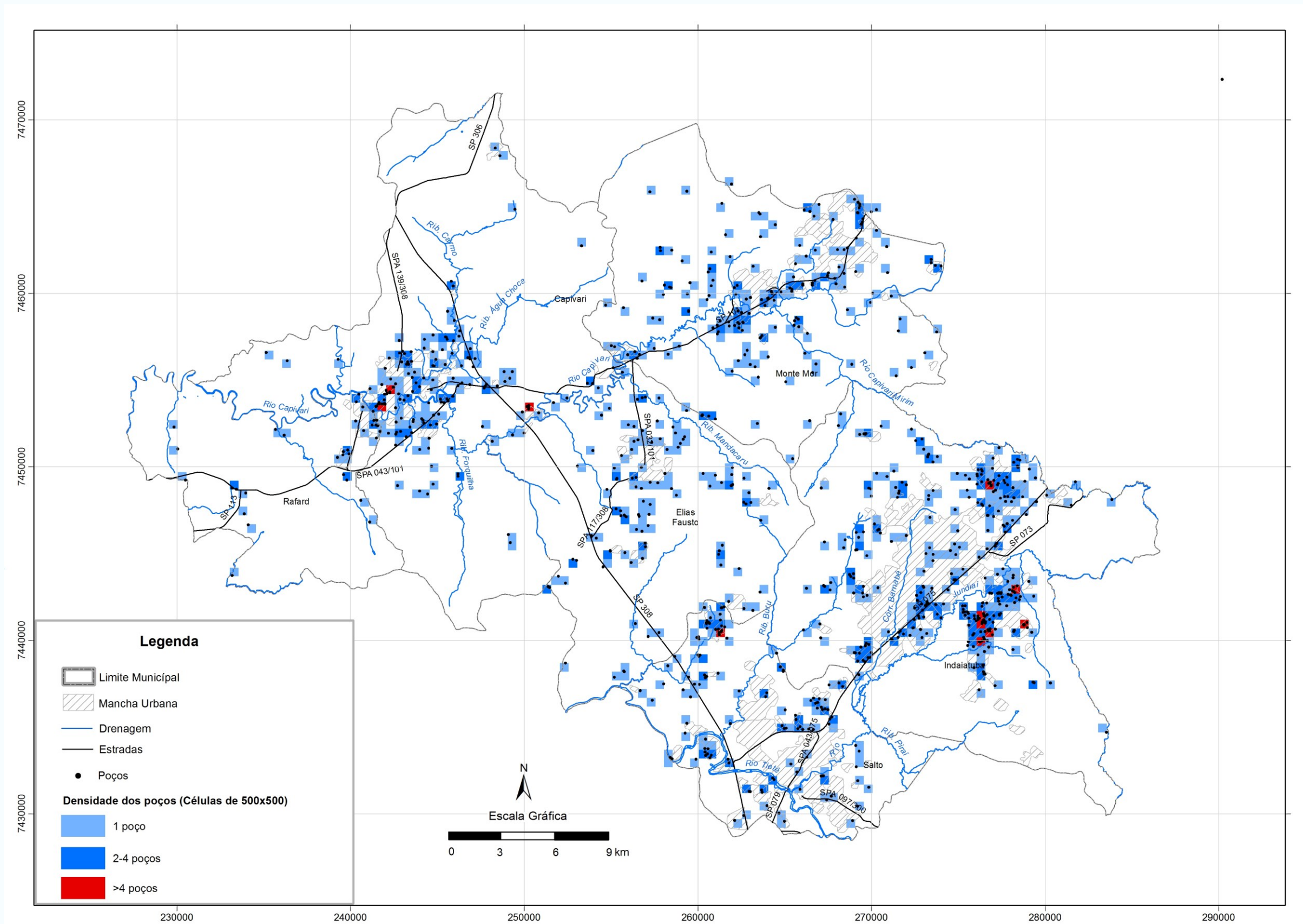


FIGURA 65 - Densidade de poços.



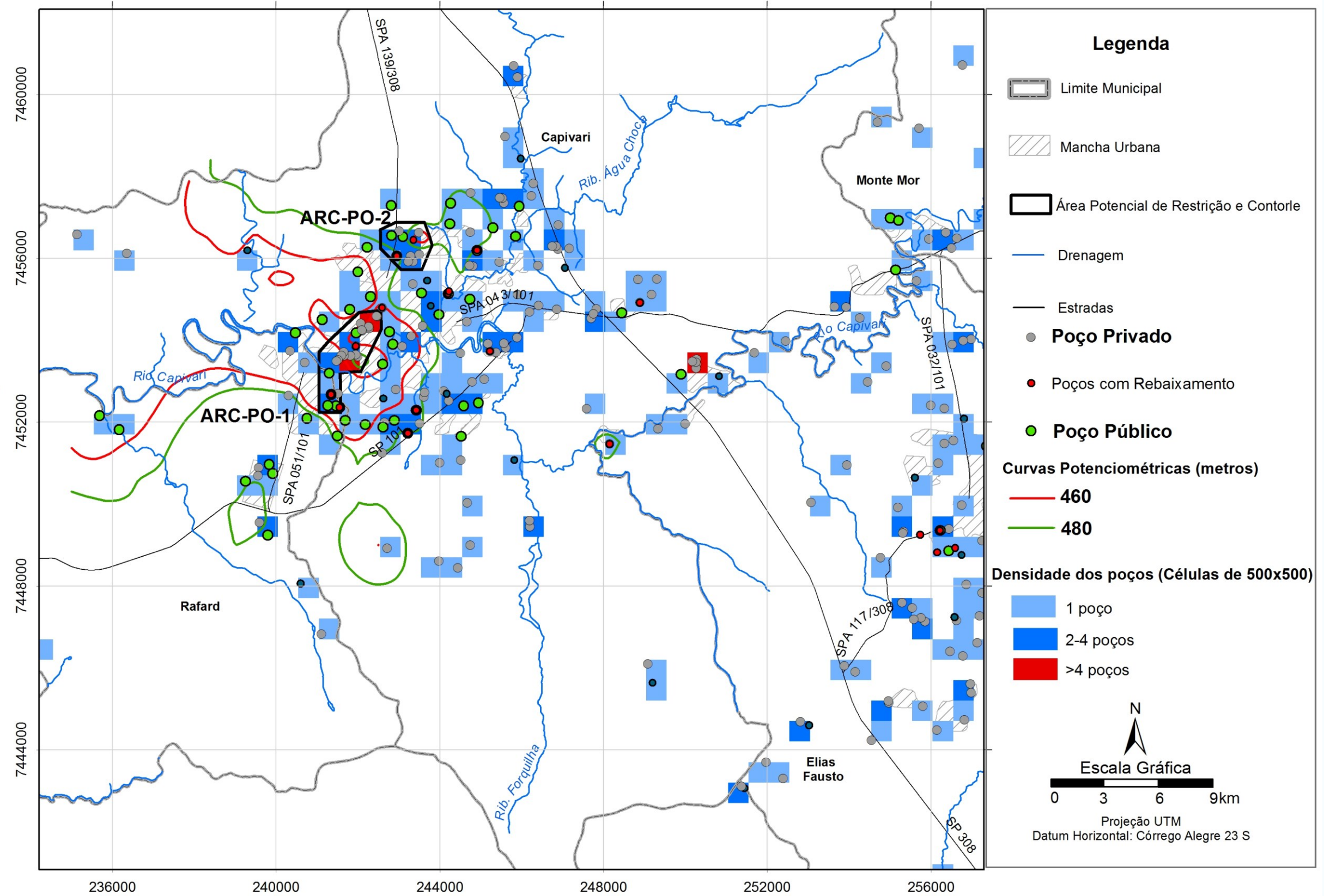


FIGURA 66 - Áreas Potenciais de Restrição e Controle considerando o potencial problema de rebaixamento da superfície potenciométrica.

### 9.1.2. Problema de interferência de poços

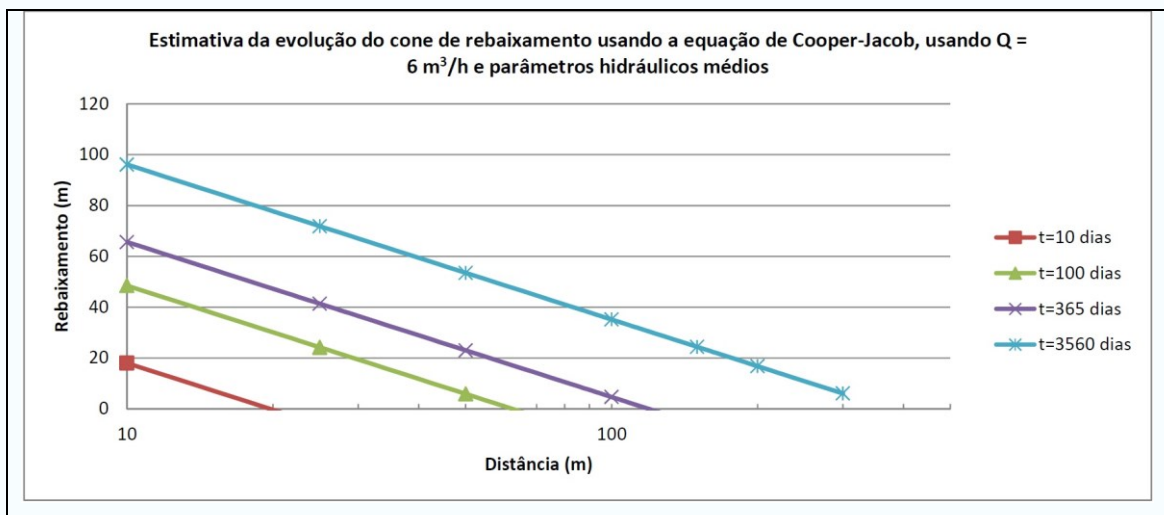
Para identificar áreas com potenciais problemas de interferência de poços foi elaborado o mapa de densidade de poços (Figura 65) para facilitar a análise quanto à quantidade e à distribuição em área.

Como mencionado no item anterior, foram considerados apenas os poços ativos e aqueles que não possuíam informação sobre a sua situação de funcionamento.

Os intervalos de densidade considerados foram: até um poço, entre 2 e 4 poços e acima de quatro poços em cada célula de 250.000 m<sup>2</sup>.

Considerando os parâmetros hidráulicos médios do Aquífero Tubarão e utilizando a equação de Cooper-Jacob, estimou-se que o cone de rebaixamento de um poço bombeando cerca de 1 ano possui um raio de influência em torno de 100 a 150 metros como mostra a Figura 67.

Por esse motivo, considerou-se que, quando ocorrem mais de 4 poços por unidade de área avaliada (500 m x 500 m), há maior possibilidade de haver interferência de poços.



**FIGURA 67 - Estimativa do cone de rebaixamento em função do tempo, com base na equação de Cooper-Jacob, considerando os parâmetros medianos do Sistema Aquífero Tubarão.**

Como mostra a Figura 65, as maiores densidades de poços ocorrem em Indaiatuba, especialmente em bairros residenciais como Colinas do Mosteiro de Itaiçi, Terras de Itaiçi e Recanto Campestre de Viracopos, localizados na porção leste e norte do município. Em Salto, a maior densidade de poços está localizada na porção noroeste do município, onde se concentram bairros residenciais como Jardim Arquidiocesano e Chácaras Maracajás e Iracema. Nestas áreas, a totalidade de poços é de propriedade privada, o que levanta a questão sobre a dificuldade de gestão dos recursos hídricos quando a exploração de água subterrânea é realizada de forma pulverizada em inúmeras propriedades com poço.

Outras áreas com densidade elevada são observadas em Capivari. Uma relacionada ao distrito industrial, no limite leste do município, e outra na área urbana onde estão concentrados poços de abastecimento público, que funcionam em regime intensivo de bombeamento.

Muitos poços cadastrados possuem dados de nível estático e nível dinâmico relacionados à vazão máxima que o poço pode produzir sem que ocorra prejuízo à integridade e funcionamento do



poço. Essas informações são obtidas através do teste de vazão realizado pela empresa perfuradora à época da construção do poço e/ou quando do pedido de outorga de uso da água, conforme exigência do DAEE.

Essas informações mostram o rebaixamento potencial que pode ocorrer caso o poço funcione em sua máxima capacidade produtiva. Para avaliar onde podem ocorrer os maiores rebaixamentos potenciais essas informações foram plotadas em mapa de isovalores, utilizando o programa *SURFER* da *Golden Software*, e foram avaliadas em conjunto com o mapa de densidade de poços para identificar as áreas com potenciais problemas de interferência de poços em Indaiatuba, Salto e Capivari.

A Figura 68 mostra a região de Indaiatuba e Salto com as curvas de isovalores de rebaixamento potencial acima de 60 metros, que auxiliaram na delimitação das Áreas Potenciais de Restrição e Controle relacionadas a possíveis problemas de interferência de poços, denominadas de ARC-PO-3, ARC-PO-4 e ARC-PO-5.

A ARC-PO-3 e a ARC-PO-4 englobam parte da região das Colinas do Mosteiro de Itaiaci que se caracteriza como uma área edificada com baixa densidade e onde há tendência de aumento da urbanização por novos loteamentos, com propriedades de alto padrão, muitas com poços próprios e, conseqüentemente, eleva a tendência de perfuração de poços. Nestas áreas os poços exploram o Sistema Aquífero Cristalino que, por se caracterizar pela porosidade secundária, a distribuição das fraturas pode afetar e controlar a interferência entre os poços.

A ARC-PO-5, ao norte, possui menor densidade de poços, mas é uma região em franco crescimento urbano em direção a Campinas, o que pode levar ao aumento do número de perfurações de poços e, por esse motivo, também foi delimitada como uma área com potencial interferência de poços. Nesta área a espessura do Sistema Aquífero Tubarão é pequena e por esse motivo, predominam poços mistos, onde as fraturas do Sistema Aquífero Cristalino podem afetar o fluxo da água subterrânea.

Em Salto, no extremo nordeste do município, há uma área edificada com baixa densidade nos bairros Jardim Arquidiocesano e Chácaras Iracema mas com tendência de consolidação do adensamento urbano. Por não serem atendidos pela rede pública de abastecimento de água, há um crescente número de poços sendo construídos na região. Por esse motivo, também foi delimitada uma área com potencial interferência de poços denominada de ARC-PO-6 (Figura 68).

Nas ARC-PO-5 e ARC-PO-6 a espessura do Sistema Aquífero Tubarão é pequena e por esse motivo, predominam poços mistos.

Em Capivari, a avaliação da densidade de poços e do rebaixamento potencial indicou apenas a área localizada na área urbana como tendo potencial para ocorrência de problemas de interferência de poços, que foi denominada de ARC-PO-7 (Figura 69).

Nas áreas ARC-PO-3 a ARC-PO-7 recomenda-se: monitoramento de poços vizinhos durante a execução dos futuros testes de bombeamento, orientação ao usuário para efetuar monitoramento sistemático da vazão e do nível da água.

A área definida em Capivari (ARC-PO-7) coincide parcialmente com a ARC-PO-1, identificada pelo potencial de ocorrência de rebaixamento da superfície potenciométrica devido ao bombeamento intensivo. Esse fato mostra que esta área é prioritária para uma avaliação detalhada e monitoramento sistemático de forma a confirmar a necessidade de implantação de uma área de restrição e controle.

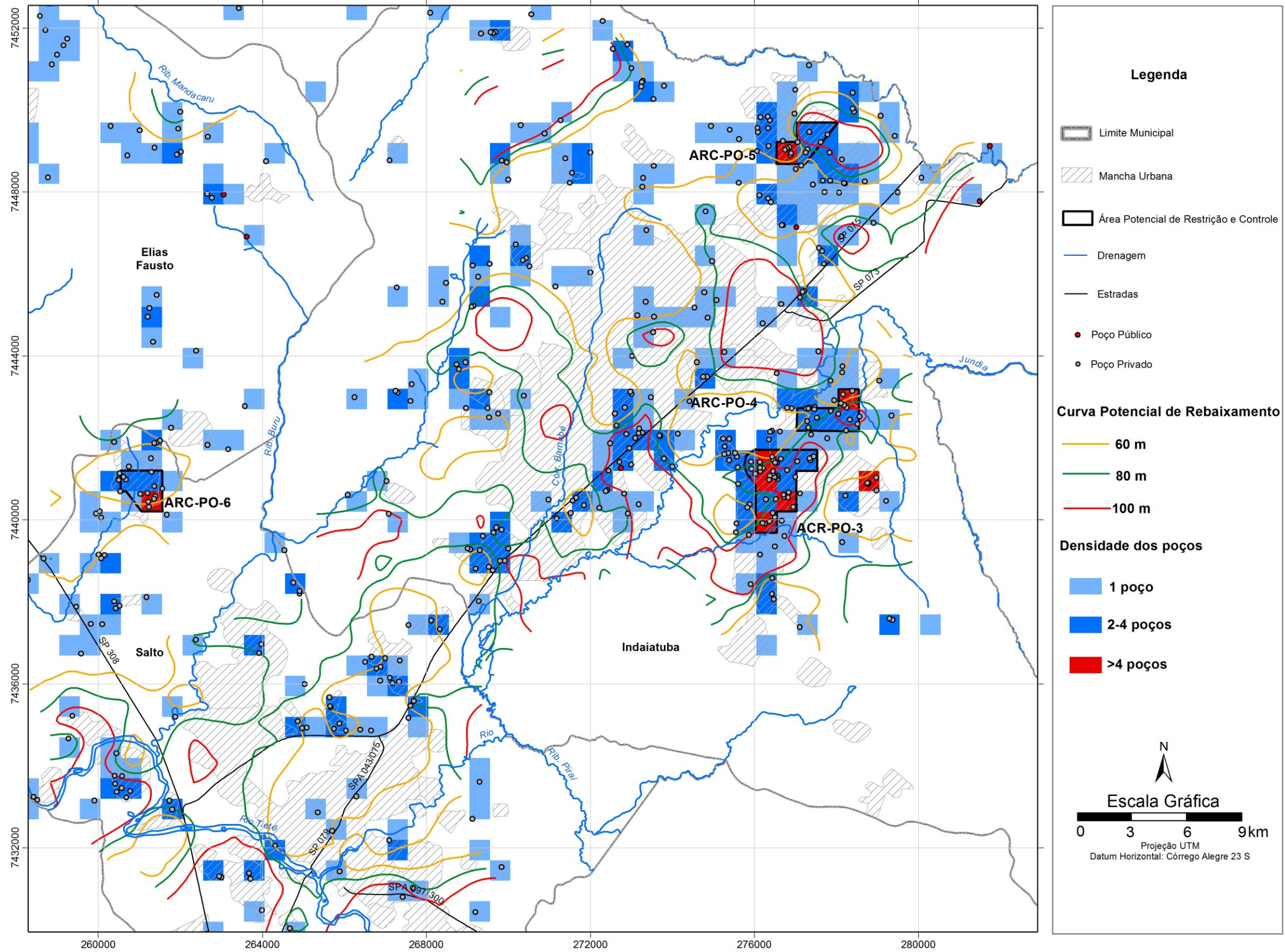


FIGURA 68 - Áreas Potenciais de Restrição e Controle considerando o potencial problema de interferência de poços na região de Indaiatuba e Salto.



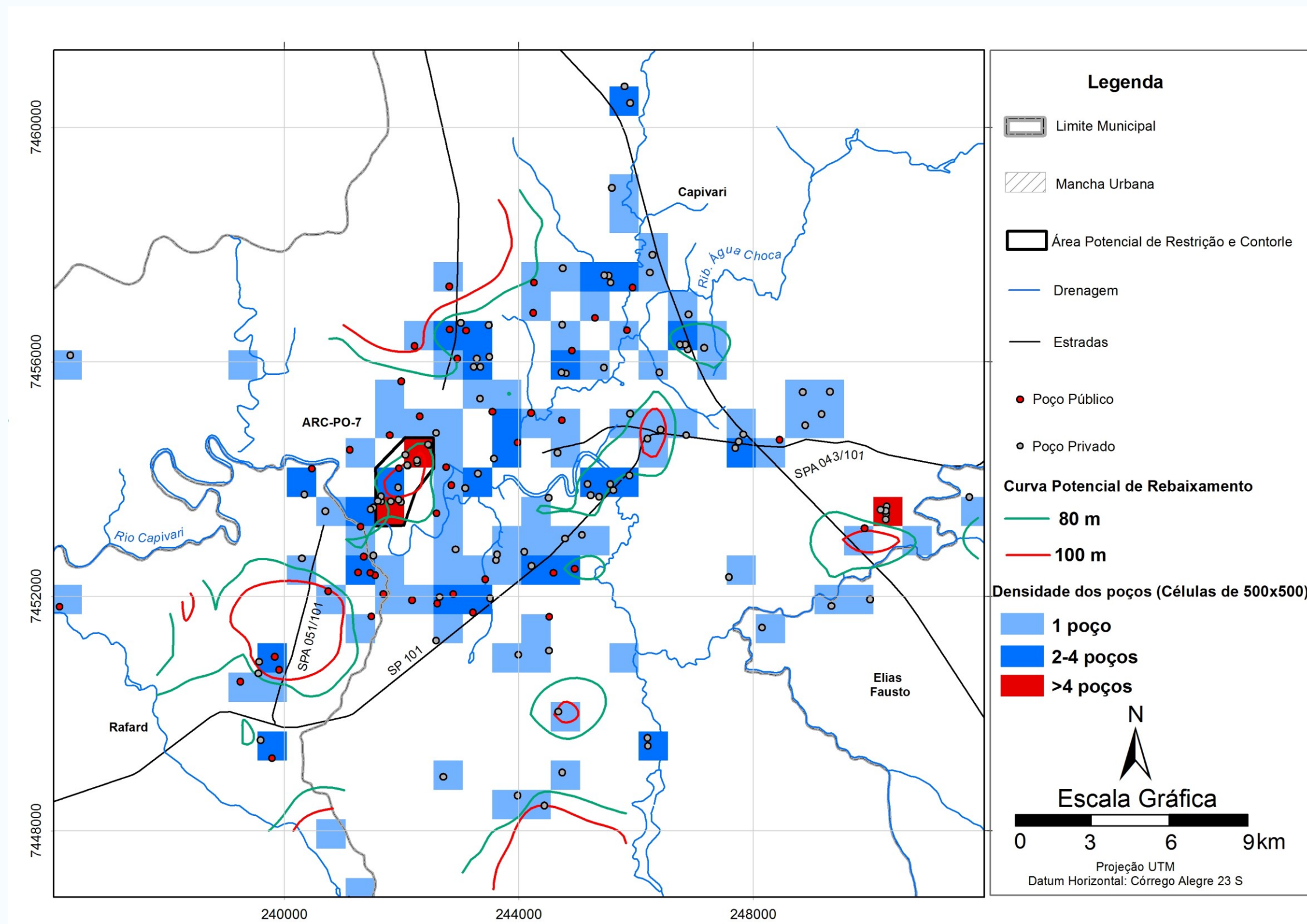


FIGURA 69 - Áreas Potenciais de Restrição e Controle considerando o potencial problema de interferência de poços na região de Capivari.

### 9.1.3. Contaminação da água subterrânea

O alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea imposto por atividades pontuais está localizado principalmente nos distritos industriais consolidados (Figura 61) devido à concentração de atividades com elevada carga contaminante (Figura 55), apesar da predominância de vulnerabilidade natural baixa a média do aquífero.

A preocupação com essas áreas é maior quando estão localizadas ao lado de regiões urbanas com alta densidade de ocupação ou de poços destinados ao abastecimento público, pois qualquer contaminação local pode atingir uma parcela maior da população.

Dessa forma, as áreas potenciais de restrição e controle relacionadas com o potencial de contaminação da água subterrânea foram definidas como sendo os distritos industriais consolidados, com predominância de alto perigo de contaminação, contíguos a áreas com alta densidade de ocupação ou a poços de abastecimento público. Algumas áreas contaminadas ligadas às atividades industriais estão localizadas nesses distritos.

A principal área definida como área potencial de restrição e controle relacionada à contaminação da água subterrânea está localizada na porção sul da área urbana de Indaiatuba e engloba os diversos distritos industriais ao longo da rodovia SP-075, sendo denominada de ARC-PO-8 (Figura 70).

Esta área está contígua a áreas edificadas com alta densidade de ocupação e possui um poço de abastecimento público. Reforçando esta delimitação, ocorrem 6 áreas contaminadas sendo 3 delas ligadas a atividade industrial e 3 relacionadas a armazenamento de combustíveis.

Ainda em Indaiatuba observa-se outra área, na região dos bairros Cidade Nova I e II, com alto perigo potencial inserida em área edificada com alta densidade de ocupação, o que aumenta o risco de impacto à população em caso de haver contaminação da água subterrânea. Por esse motivo também foi delimitada como área potencial de restrição e controle e está identificada como ARC-PO-9 (Figura 70).

Em Salto foi delimitada uma área potencial de restrição e controle na região dos distritos industriais Allert e Julio Ustrito devido ao alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea associado a uma área com alta densidade de ocupação. Esta área está identificada como ARC-PO-10 na Figura 9.5 sendo que se observa a ocorrência de uma área contaminada próximo à rodovia.

Nas ARC-PO identificadas neste item recomenda-se restringir a perfuração de poços destinados ao abastecimento público e monitorar aqueles existentes considerando os potenciais contaminantes que podem estar presentes na área. Além disso, poços abandonados podem ser vias de contaminação da água subterrânea e devem ser identificados e devidamente tamponados. Recomenda-se também um controle rígido da condição da proteção sanitária dos demais poços existentes e também durante a construção de novos poços de forma a respeitar a profundidade de cimentação anelar, educando o usuário sobre a importância da sua conservação para a proteção do aquífero, pois quando mal conservadas, podem facilitar a entrada de contaminantes no aquífero.

Em Indaiatuba e principalmente em Salto, observa-se a formação de algumas concentrações de indústrias com elevada carga potencial de contaminação dispersas em diversos bairros com alta densidade de ocupação, mas não foram delimitadas como áreas potenciais de restrição e controle uma vez que estão em região com uso e ocupação mista e não se caracterizam como distritos industriais bem delimitados nesta escala de avaliação.



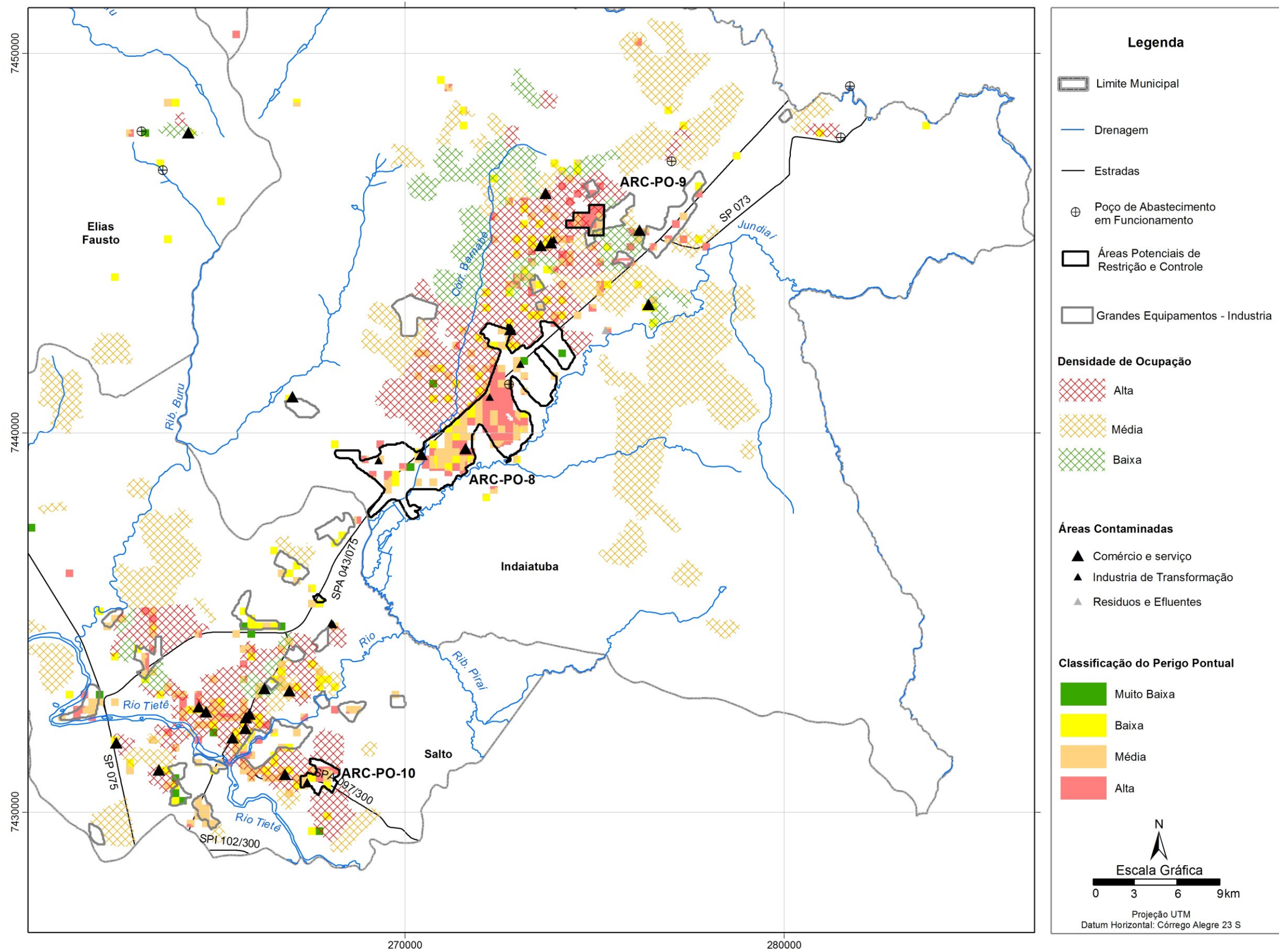


FIGURA 70 - Áreas Potenciais de Restrição e Controle considerando o potencial problema de contaminação da água subterrânea na região de Indaiatuba e Salto.



Em Indaiatuba observa-se o bairro Jardim Santa Cruz e em Salto destacam-se os bairros Jardim Elizabeth, Jardim D'Icarai e Estação. Nestas áreas deve-se utilizar as distâncias mínimas das atividades com potencial de contaminação, estabelecidas na Deliberação CRH nº 52/2005 para estabelecimento de áreas de restrição e controle e proteção das captações de água subterrânea para consumo humano.

Existem distritos industriais consolidados ou em fase de consolidação em Indaiatuba, Salto, Elias Fausto, Capivari e Rafard, que estão afastados da área urbana ou encontram-se próximos a áreas edificadas com baixa a média densidade de ocupação (Figura 71). Neste momento não foram delimitadas como áreas potenciais de restrição e controle, mas a evolução da ocupação deve ser observada para avaliar a necessidade futura de estudos mais detalhados para delimitação de área de restrição e controle.

Em Indaiatuba observa-se o bairro do Tombadouro, com a zona industrial ao longo da rodovia SP-075 e em Salto destacam-se as regiões do bairro Canjica, Parque do Lago e Jardim Marília. Em Elias Fausto dois distritos industriais de pequeno porte, um a oeste da área urbana central e outro no distrito de Cardeal.

Nestes distritos industriais deve haver um controle das condições da proteção sanitária dos poços para evitar a penetração de contaminantes e poços abandonados devem ser devidamente tamponados. A perfuração de poços para abastecimento público dentro destes distritos ou em áreas imediatamente a jusante, considerando a direção de fluxo da água subterrânea, também deve ser evitada.

Em Capivari, o distrito industrial está a leste da área urbana, ao lado do rio Capivari, no limite com Elias Fausto enquanto que, em Rafard, está a sul da área urbanizada, ao longo da Avenida São Bernardo (Figura 71). Nestes distritos, apesar de isolados de áreas urbanizadas, existem poços de abastecimento público que devem ser monitorados com frequência. Também aumenta a necessidade de controle e manutenção da proteção sanitária, incluindo uma adequada cimentação anelar dos poços existentes e identificação e tamponamento daqueles abandonados.

Em relação ao perigo potencial de contaminação da água subterrânea imposta pela existência de fontes difusas não foram delimitadas áreas de restrição e controle.

Apesar da área central e mais antiga das cidades apresentarem um alto perigo de contaminação proveniente dos sistemas de saneamento (Figura 63), ainda não se observa, problemas de nitrato de forma recorrente na análise da água dos poços. Recomenda-se apenas uma maior atenção nestas regiões, através de monitoramento sistemático da qualidade da água.

Na área rural, predomina um índice moderado quanto ao perigo potencial de contaminação da água subterrânea, principalmente na porção oeste da área de estudo, em função da cultura intensiva de cana-de-açúcar associada com vulnerabilidade, em geral, baixa do aquífero. Apenas na região a sul do rio Capivari e a oeste da rodovia do Açúcar (SP-308) e na região do rio Jundiá em Indaiatuba (Figura 64) ocorrem áreas mais extensas com alto perigo de contaminação por fonte difusa onde se recomenda apenas o monitoramento da qualidade da água dos poços existentes.

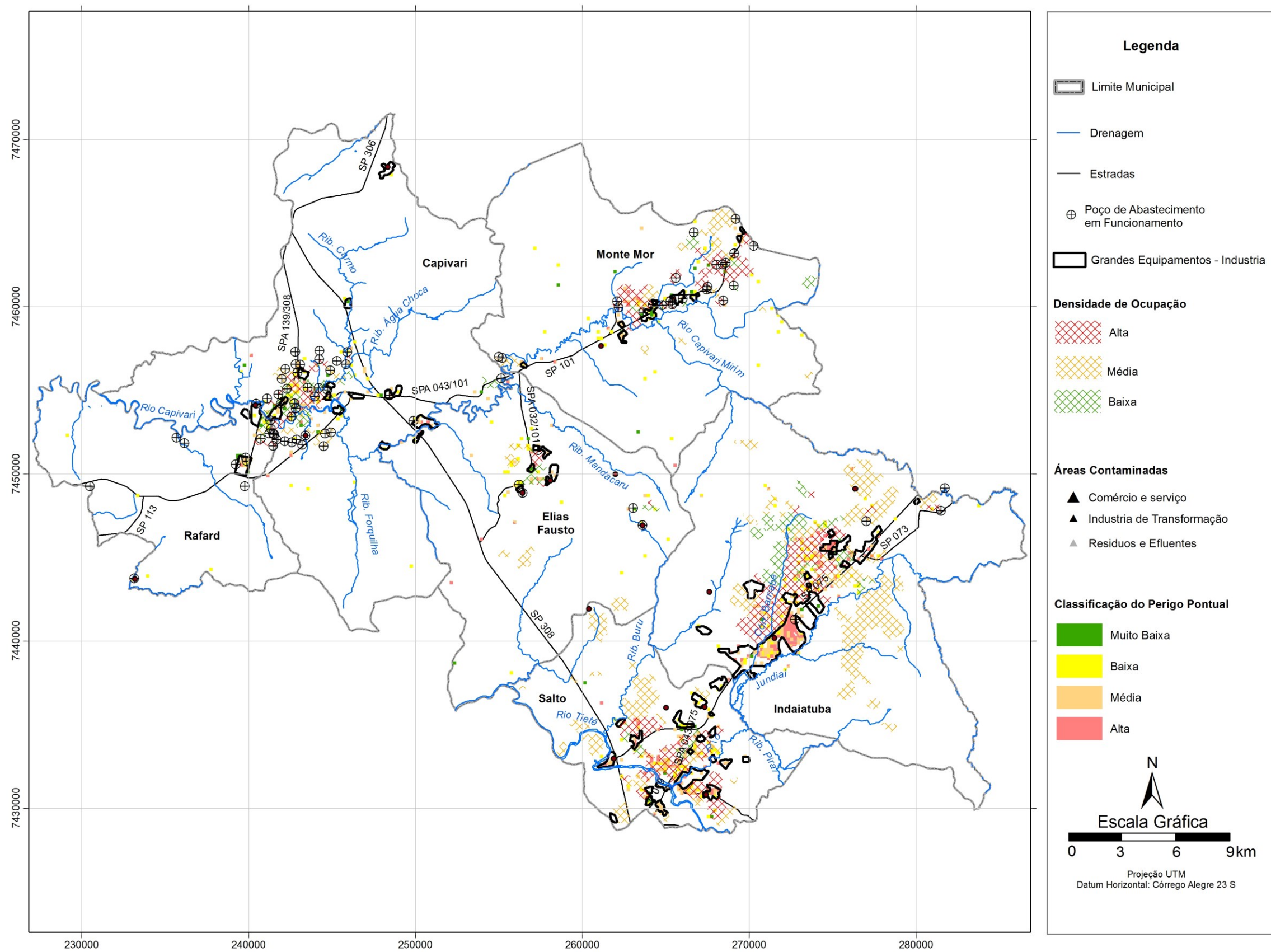


FIGURA 71 - Perigo potencial de contaminação por fontes pontuais e a relação com as classes de uso urbano.

## 9.2. Priorização das Áreas Potenciais de Restrição e Controle

As dez áreas potenciais de restrição e controle identificadas neste trabalho foram delimitadas em imagem de satélite para facilitar a visualização e são apresentadas em figuras do Anexo 8.

De acordo com a Deliberação CRH nº 52/2005 as Áreas Potenciais de Restrição e Controle devem ser elencadas por ordem de prioridade de forma a orientar as etapas futuras de estudos detalhados e confirmatórios para o estabelecimento das Áreas Confirmadas de Restrição e Controle. Dessa forma, as áreas delimitadas no item anterior seguem a ordem de prioridade ilustrada na Tabela 44.

**TABELA 44 - Prioridade de estudo detalhado das Áreas Potenciais de Restrição e Controle delimitadas neste estudo.**

ORDEM DE PRIORIDADE PARA ESTUDO DETALHADO	ÁREA	LOCALIZAÇÃO	CRITÉRIO DE PRIORIZAÇÃO
1	ARC-PO-1 e ARC-PO-7	Área central de Capivari	- potencial problema de rebaixamento da superfície potenciométrica - potencial problema de interferência de poços. - importância da água subterrânea para o abastecimento público do município
	ARC-PO-8	Distritos industriais localizados ao longo da rodovia SP-075, em Indaiatuba	- alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea devido ao grande número de atividades com elevada carga potencial de contaminante - existência de um poço de abastecimento público - uso da água subterrânea por diversos poços existentes - proximidade de área densamente ocupada - existência de áreas contaminadas elencadas na lista publicada por CETESB (2011)
	ARC-PO-9	Inserida na porção centro-norte da área urbana de Indaiatuba	- alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea - inserida em área densamente ocupada
	ARC-PO-10	Inserida na porção sul da área urbana de Salto	- alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea - inserida em área densamente ocupada - existência de área contaminada elencada na lista publicada por CETESB
2	ARC-PO-2	Porção norte da área urbana de Capivari	- potencial problema de rebaixamento da superfície potenciométrica - importância da água subterrânea para o abastecimento público do município
	ARC-PO-3 e ARC-PO-4	Oeste da área urbana de Indaiatuba	
	ARC-PO-5	Norte de Indaiatuba	- alta densidade de poços
	ARC-PO-6	Norte de Salto, próximo ao limite com Elias Fausto	- potencial para interferência de poços

## 10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na região que abrange os municípios entre Indaiatuba e Capivari, situada na porção sul da UGRHI 5, constatou-se um crescente uso da água subterrânea pelo setor privado (vazão explotada de 22.812.810,6 m<sup>3</sup>/ano por 76% dos poços), superando os volumes explotados para abastecimento público (vazão explotada de 7.157.376,0 m<sup>3</sup>/ano por 24% dos poços).

Os municípios de Indaiatuba e de Salto apresentam similaridades quanto à densa ocupação do solo urbano, expansão urbana e pelo crescente número de empreendimentos, em especial, os estabelecimentos industriais. Embora dependam fundamentalmente das águas superficiais para abastecimento público, o número de captações particulares nos Sistemas Aquíferos Tubarão e Cristalino para uso na indústria e residências (condomínios) vêm aumentando significativamente.

Os municípios de Capivari, Monte Mor, Rafard e Elias Fausto, apresentam maior utilização das águas para abastecimento público, sendo que os dois últimos dependem 100% da água subterrânea do Sistema Aquífero Tubarão. São municípios em que a atividade agropecuária desempenha importante papel econômico, com destaque para a cultura de cana, paralelamente aos setores de serviços e da indústria. A quantidade de poços particulares para captação de água voltada ao uso na indústria, comércio e residência também vem aumentando significativamente, especialmente em Capivari e Monte Mor.

Tendo em vista esse panorama, este projeto avaliou o uso e exploração da água subterrânea, a produtividade dos aquíferos e situação de proteção das águas subterrâneas na região, visando definir Áreas Potenciais de Restrição e Controle – ARC-PO. As ARC-PO foram, portanto, definidas considerando aspectos quantitativos e qualitativos das águas subterrâneas.

### ASPECTOS QUANTITATIVOS

A partir do cadastramento e do levantamento de dados de 1262 poços tubulares foi efetuada uma caracterização hidrogeológica da região. As principais considerações são destacadas a seguir:

- A vazão mediana do Sistema Aquífero Tubarão é de 6,20 m<sup>3</sup>/h e do Sistema Aquífero Cristalino de 3,07 m<sup>3</sup>/h. Os municípios onde foram constatadas as maiores vazões medianas, bem como os valores máximos, são Capivari e Elias Fausto.

- O Aquífero Tubarão apresenta os maiores valores de capacidade específica (Q/s) da região, que diminui nos casos de poços mistos, nas áreas de contato entre os sedimentos do Grupo Tubarão e o Embasamento Cristalino. A mediana e moda de Q/s para o Aquífero Tubarão são, respectivamente, de 0,147 m<sup>3</sup>/h/m e 0,1 m<sup>3</sup>/h/m. No Aquífero Cristalino a mediana é de 0,047 m<sup>3</sup>/h/m e para os poços mistos que explotam os Aquíferos Tubarão e Cristalino o valor mediano é de 0,042 m<sup>3</sup>/h/m. Os maiores valores medianos de Q/s ocorrem em Elias Fausto, seguidos de Rafard, Capivari e Monte Mor, onde devem ocorrer níveis arenosos mais favoráveis ao armazenamento e transmissão de água.

- Pelo mapa de Produtividade Similar (Figura 21), que correlaciona valores de capacidade específica, de espessura de areia e geologia, podem ser destacadas algumas áreas mais produtivas como: oeste e leste de Capivari (T3-1; T3-2; T3-3), nordeste de Monte Mor (T3-6), centro-norte e leste de Elias Fausto (T3-4; T3-5); centro-noroeste de Indaiatuba (M3-2; M3-1); norte de Salto

(M3-3). Elas encontram-se parcial ou totalmente ocupadas pela mancha urbana e devem ser avaliadas quanto à demandas e disponibilidades de água subterrânea e quanto à influência que a ocupação urbana ou que a expansão urbana pode acarretar aos aquíferos.

- O fluxo de água subterrânea ocorre em direção às principais drenagens da região, como por exemplo, os Rios Tietê, Jundiá, Capivari e Capivari-Mirim, e para alguns de seus afluentes.

- Mapas potenciométricos elaborados para dois períodos (antes e após 1990) na região de Capivari e Rafard permitiram averiguar uma variação nas curvas potenciométricas do Aquífero Tubarão que já estão abaixo da calha do rio Capivari, indicando rebaixamento do nível d'água.

- O mapa de vulnerabilidade natural indica o predomínio de índices de vulnerabilidade baixos a médios, com escassas áreas de alto índice associadas à rede de drenagem. Extrema vulnerabilidade ocorre pontualmente em algumas cabeceiras de drenagem em Indaiatuba e Elias Fausto, e na várzea do Rio Jundiá, entre Indaiatuba e Salto.

- A análise da densidade de poços indicou alguns pontos de maior concentração: centro urbano de Capivari, distrito industrial de Capivari, local a norte de Salto; condomínios a leste de Indaiatuba; local a norte de Indaiatuba.

### ASPECTOS QUALITATIVOS

As águas subterrâneas dos aquíferos estudados são bicarbonatadas cálcicas (Ca-Na-HCO<sub>3</sub>, Ca-HCO<sub>3</sub>) a sódicas (Na-Ca-HCO<sub>3</sub>), podendo ocorrer ocasionalmente águas sulfatadas (Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>, Na-Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>). São pouco mineralizadas e apresentam, em geral, boa qualidade. Pontualmente, foram levantados alguns casos de concentração acima da potabilidade, como de ferro e manganês e nitrato. Ocorrências de anomalias naturais de fluoreto foram constatadas em Salto e na porção sul de Indaiatuba.

O mapeamento do uso e cobertura da terra constituiu a base para: (a) a classificação das áreas urbanizadas quanto à tipologia, ao padrão da ocupação e à densidade de ocupação urbana, (b) análise da expansão urbana no período de 1987 a 2007; (c) classificação das potenciais fontes difusas de contaminação da água subterrânea proveniente da prática agrícola e dos sistemas de saneamento.

Estas classificações, associadas às informações da vulnerabilidade natural dos aquíferos e da densidade de empreendimentos classificados quanto à carga potencial contaminante, foram imprescindíveis para o desenvolvimento dos mapas de perigo potencial de poluição da água subterrânea frente às fontes potenciais pontuais (principalmente na área urbana) e dispersas (nas áreas urbana e rural) existentes.

Foram levantados 1918 empreendimentos considerados como fontes potenciais de poluição, classificados de acordo com a atividade desenvolvida: Atividade agrosilvopastoril, Mineração, Indústrias de transformação, Comércio e serviço, Resíduos e efluentes. Os empreendimentos cadastrados com maior carga potencial de contaminação da água subterrânea estão localizados nos distritos industriais de Indaiatuba e Salto.

O mapa de *Perigo potencial de contaminação da água subterrânea frente às fontes potenciais pontuais* (Figura 61) indicou áreas de maior perigo nos distritos industriais de Indaiatuba (Nova Era, Recreio Campestre Joia, Vitoria Martini, American Park Empresarial, Domingos Giomi e João Narezzi) e de Salto (Allert, Julio Ustrito e Parque do Lago). Nos demais municípios, as áreas com alto perigo potencial de contaminação ocorrem de forma dispersa, ao

---



longo do rio Capivari e das rodovias.

O maior perigo potencial de contaminação da água subterrânea imposta pelos sistemas de saneamento na área urbana (Figura 63) concentra-se nas porções mais antigas das cidades, onde há maior adensamento urbano.

O perigo potencial de contaminação da água subterrânea na área rural frente à atividade agrícola (Figura 64) é maior, principalmente, nos municípios de Capivari e Rafard e na porção oeste de Elias Fausto onde há um predomínio da monocultura canavieira.

### ÁREAS POTENCIAIS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE

Para a delimitação das áreas potenciais de restrição e controle (ARC-PO), com base nas informações e cenários existentes, consideraram-se os seguintes potenciais problemas: rebaixamento da superfície potenciométrica causado pela exploração intensiva, interferência de poços e contaminação da água subterrânea.

Para esta análise foram avaliadas as informações sobre a densidade de poços, potenciométrica do Sistema Aquífero Tubarão, indícios de rebaixamento do nível estático, distribuição dos poços de abastecimento público, perigo potencial de contaminação da água subterrânea, localização das áreas contaminadas listadas em CETESB (2011) e a classe de uso do solo e densidade de ocupação da área urbana. Estas informações avaliadas conjuntamente permitiram definir as ARC-PO.

A Tabela 45, resume as características avaliadas das dez ARC-POs propostas neste estudo e as ações recomendadas para cada área.

**TABELA 45 - Resumo das Áreas Potenciais de Restrição e Controle delimitadas neste estudo**

ARC-PO PROPOSTA	POTENCIAL IMPACTO	CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	RECOMENDAÇÃO
ARC-PO-1 e ARC-PO-2	Rebaixamento do nível da água	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deformação da superfície potenciométrica em diferentes décadas</li> <li>- Densidade de poços</li> <li>- Ocorrência de poços com rebaixamento do NE observado em testes de bombeamento em diferentes épocas</li> <li>- Ocorrência de poços de grande vazão e regime de bombeamento intensivo (poços de abastecimento público)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle do regime de funcionamento (vazão explorada e tempo de funcionamento) dos poços existentes,</li> <li>• Controle da perfuração de novos poços</li> <li>• Monitoramento do nível da água</li> </ul>
ARC-PO-3 a ARC-PO-7	Interferência entre poços	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidade de poços</li> <li>- Concentração de poços cuja capacidade produtiva máxima implica em rebaixamentos potenciais acima de 60 metros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoramento de poços vizinhos na execução de teste de bombeamento</li> <li>• Orientação ao usuário para monitoramento da vazão e nível da água</li> </ul>
ARC-PO-8 a ARC-PO-10	Contaminação da água subterrânea	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perigo potencial de contaminação imposta por atividades pontuais</li> <li>- Distritos industriais consolidados</li> <li>- Proximidade de áreas com alta densidade de ocupação urbana</li> <li>- Proximidade de poços de abastecimento público</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não permitir a perfuração de poços destinados ao abastecimento público</li> <li>• Monitorar a qualidade dos poços de abastecimento público</li> <li>• Localizar e tamponar adequadamente os poços abandonados</li> <li>• Manter em bom estado a proteção sanitária dos poços existentes</li> <li>• Controle da profundidade de cimentação anelar na construção de novos poços</li> </ul>

De acordo com a Deliberação CRH nº 52/2005, as Áreas Potenciais de Restrição e Controle

(ARC-PO) devem ser elencadas por ordem de prioridade de forma a orientar as etapas futuras de estudos detalhados e confirmatórios para o estabelecimento das Áreas Confirmadas de Restrição e Controle. Neste estudo considerou-se que as ARC-PO-1 e ARC-PO-7 a ARC-PO-10 têm maior prioridade para uma avaliação mais detalhada em relação às demais áreas delimitadas (Tabela 44).

Algumas áreas possuem alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea porém não apresentam indícios de problemas ou não tem uma extensão, em área, que pudesse ser mapeada nesta escala de avaliação e por esses motivos, não foram delimitadas como áreas potenciais de restrição e controle conforme estabelece a Deliberação CRH nº 52/2005.

A evolução da ocupação do solo e a qualidade da água nestas áreas, entretanto, devem ser acompanhadas e, caso necessário, no futuro, poderão ser definidas como novas áreas potenciais de restrição e controle. Algumas recomendações elencadas para essas áreas estão resumidas na Tabela 46.

**TABELA 46 - Resumo de recomendações para as áreas com alto perigo potencial de contaminação da água subterrânea.**

ÁREA COM ALTO PERIGO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	RECOMENDAÇÃO
Áreas próximas a indústrias com elevada carga potencial de contaminação ou núcleos industriais em consolidação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar as distâncias mínimas das atividades com potencial de contaminação, estabelecidas na Deliberação CRH nº 52/2005 para proteção das captações de água subterrânea para consumo humano</li> <li>• Identificação e tamponamento de poços abandonados</li> <li>• Manutenção da proteção sanitária dos poços existentes para evitar a penetração de contaminantes</li> <li>• Monitoramento da qualidade da água de poços de abastecimento público existentes</li> </ul>
Mancha urbana antiga (área contida na mancha urbana de 1987)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoramento das concentrações de nitrato em poços selecionados na área mais antiga das cidades</li> </ul>
Áreas rurais com alto perigo de contaminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoramento da qualidade da água de poços existentes para parâmetros como nitrato e agroquímicos (a definir de acordo com a cultura existente)</li> </ul>

Conforme estabelece a Deliberação CRH nº 52/2005, uma Área de Restrição e Controle poderá ser proposta pelos órgãos gestores de recursos hídricos, pela Câmara Técnica, pela Agência de Bacias ou mesmo como proposta no Plano de Bacia e deverá ser submetida à apreciação e aprovação do Comitê da Bacia Hidrográfica. As restrições deverão ser aplicadas pelos órgãos gestores dentro do âmbito de suas atribuições.

Dessa maneira, este estudo teve um enfoque técnico, com objetivo de realizar uma avaliação hidrogeológica para identificar as áreas com potenciais problemas de exploração intensiva e contaminação da água subterrânea.

Cabe aos órgãos gestores e à Câmara Técnica da Bacia do PCJ a apreciação dos resultados deste estudo e a proposição de estudos detalhados para a implantação de Área de Restrição e Controle conforme estabelece a Deliberação CRH nº 52/2005.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA/AWWA/WEF - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION/ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION/ WATER ENVIRONMENT FEDERATION. 1995. Standard methods for the Examination of Water and Wastewater. 19. Ed. Washington, American Public Health Association.
- ARAVENA, R.; WASSENAAR, L.; PLUMMER, L.N. 1995. Carbon 14 Groundwater ages with Methanogenesis. *Water Resources Research*, vol. 31, n.9, p. 2307-2317.
- BENSON, V.S.; VANLEEUWEN, J.A.; SANCHEZ, J.; DOHOO, I.R.; SOMERS, G.H. 2006. Spatial analysis of land use impact on ground water nitrate concentrations. *Journal of Environmental Quality*, 35: 421-432.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2011. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 14 dez. 2011, Seção 1, p. 39.
- CAGNON, F.; HIRATA, R. 2004. Source of nitrate in the groundwater of Adamantina Aquifer in Urania, SP – Brazil. In: IAH, International Association of Hydrogeologists Congress, 33, Zacatecas, Atas, 7 p. (CD-ROM).
- CCREM – CANADIAN COUNCIL OF RESOURCE AND ENVIRONMENT MINISTERS. 1987. Canadian water quality guidelines. Prepared by the Task Force on Water Quality Guidelines, March 1987.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2001. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. CETESB, GTZ, 2ª ed., CETESB, São Paulo, 389 p.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2007. Relatório de qualidade de águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Período 2004-2006. CETESB, São Paulo, 194 p.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2010a. Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas 6410 – Norma CETESB, 1988. Projeto CETESB – GTZ atualizado 11/1999. In: CETESB. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-ACs/7-manual>.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2010b. Critérios para classificação de empreendimentos de baixo potencial poluidor. Versão 1,5, de 08/01/2010, CETESB, São Paulo, 58 p. Disponível em: <http://silis.cetesb.sp.gov.br/index.php>.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2010c. Proposta para derivação de critérios para contaminantes ambientais da agricultura. Relatório Final. Projeto Identificação de Compostos Prioritários e Avaliação de Toxicidade. Acordo de Cooperação SENAC-CETESB 08/2007. CETESB, São Paulo, 50 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 03/2010.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2011. Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo. Dezembro/2011. Relação por município. CETESB, São Paulo, 4131p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacoes-de-areas-contaminadas/15-publicacoes>.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS/ HIDROSISTEMAS ENGENHARIA DE RECURSOS
-

- HÍDRICOS Ltda. 1995. Disponibilidades hídricas subterrâneas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Ed. Sergio Menin Teixeira de Souza, 525 p.
- COPLAENGE PROJETOS DE ENGENHARIA LTDA. 2000. Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2000 – 2003. São Paulo.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. 1983. Hidrologia Subterrânea. 2ª ed. Omega, Barcelona. 2 v.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1981a. Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 5. Campinas. São Paulo, DAEE, 2 vol.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1981b. Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 4. Sorocaba. São Paulo, DAEE, 2 vol.
- DAEE/IG/IPT/CPRM. 2005. Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. Nota explicativa. São Paulo. São Paulo: DAEE-Departamento de Águas e Energia Elétrica, IG- Instituto Geológico, IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 3 v. (mapa e CD-ROM).
- DAEE-UNESP. 1980. Mapeamento faciológico do Subgrupo Tubarão. Convênio DAEE-UNESP, Escala 1:50.000.
- DAEE-UNESP. 2010. *Regionalização de diretrizes de utilização e proteção das águas subterrâneas – Bacias do Leste*. Relatório (no prelo).
- DINIZ, H. N. 1990. Estudo hidrogeológico do Subgrupo Itararé no Médio Rio Tietê, Município de Tietê, SP. São Paulo. Instituto de Geociências USP. 118p. (Dissertação de Mestrado).
- EZAKI, S.; Hypolito, R.; Pérez-Aguilar, A.; Moschini, F.A; Moura, C.L.; Pugas, M.S. 2008. Avaliação da Ocorrência de Íon Fluoreto nas Águas Subterrâneas dos Aquíferos Tubarão e Cristalino, Região de Salto (SP). *In: I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo*. ABAS, São Paulo.
- FADINI, A.A.B. 1998. Impactos do uso das terras na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá (SP). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, UNESP, Rio Claro, 141 p.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, A. 1979. Groundwater. Englewood Cliffs; London : Prentice-Hall.
- FOSTER, S.; HIRATA, R. 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHOPAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru,
- FOSTER, S.; HIRATA, R. 1993. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. Trad. R.Hirata, S. Yoshinaga, S. Hassuda, M. Iritani. Boletim do Instituto Geológico, 10, 92p.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D’ELIA, M.; PARIS, M. 2002. Groundwater quality protection. A guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies. GW-Mate, World Bank, Washington, 103 p.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D’ELIA, M.; PARIS, M. 2006. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. (Tradução: Silvana Viera). GW-Mate, World Bank/Servmar, São Paulo, 104 p.
- GALEMBECK, T.M.B. 1997. O Complexo Múltiplo, centrado e pluriserial Itu – SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1v., 2 mapas, 374 p.
- HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. 1981. O embasamento Pré-Cambriano e Eopaleozóico em São Paulo. *In: Almeida, F.F.M. de; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S. de; BISTRICHI, C.A. - Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 500.000, p. 12-45.*
- HIRATA, R.; GESICKI, A.; SRACEK, O.; BERTOLO, R.; CIANNINI, P.C.; ARAVENA, R. 2011. Relation between sedimentary framework and hydrogeology in the Guarani Aquifer System in São Paulo State, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 31, p. 444-456.
- HYPOLITO, R.; ANDRADE, S.; SILVA, L.H.; NASCIMENTO, S.C. 2008. Alcalinidade - Metodologia para Determinação em Campo. *Analytica*, v. 35, p. 52-61. Disponível em: [http://www.revistaanalytica.com.br/analytica/revista\\_digital](http://www.revistaanalytica.com.br/analytica/revista_digital).
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1973. VIII Recenseamento Geral

1970. Censo Demográfico São Paulo 1970. Rio de Janeiro, IBGE, v.1, Tomo 18. Sério Regional, 3 v.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1980. Censos Econômicos – Censo Industrial – 1975 – São Paulo. Rio de Janeiro, IBGE.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1982. IX Recenseamento Geral do Brasil -1980. Censo Demográfico: Dados Distritais – São Paulo. Volume 1 – Tomo 3 – Número 17. Rio de Janeiro, IBGE, 611 p.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1991. Censo Demográfico 1991 – São Paulo. Rio de Janeiro, IBGE, n. 21.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1995. Estimativas da População para Estados e Municípios com Data de Referência em 01/07/94 – População Residente. Brasília, IBGE, 1995. Resolução Nº 38 de 25/08/95 – Diário Oficial, Seção I, nº 167, 30/08/95.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2003. Cadastro Central de Empresas 2003.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2005. Malha municipal digital do Brasil: situação em 2001. Rio de Janeiro: IBGE, 2005.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2006. Perfil Municipal. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2007. Classificação nacional de atividades econômicas. Versão 2.0. Subclasses para uso da administração pública. Comissão Nacional de Classificação – CONCLA, IBGE, Rio de Janeiro, 616 p.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Cidades@ São Paulo. Disponível em: <http://www.ibge.com.br/cidadesat>.
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. 1990. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento da região do Município de Sorocaba (SP). São Paulo: IG/SMA. 1v. e mapas (Relatório Técnico do Instituto Geológico).
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. 1991. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Itu (SP). São Paulo: IG/SMA. 2 v. (Relatório Técnico do Instituto Geológico).
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. 1993. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Campinas (SP). Programa Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região de Sorocaba e Campinas. São Paulo: IG/SMA, 3 v.
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. 1995. Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da bacia do Rio Piracicaba. São Paulo, Instituto Geológico - Secretaria do Meio Ambiente, Relatório Técnico.
- IG/CESTEB/DAEE. 1997. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Coord. R. Hirata, C. R. A. Bastos, G. A. Rocha. São Paulo: Instituto Geológico: CETESB, 144p. 2 v.
- INPE-DPI - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - DIVISÃO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS. 1996. SPRING: Manual do usuário. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html> > Acesso em: 19/05/2011.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. 1996. DIVISÃO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS (inpe-dpi). SPRING: Manual do usuário. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html> > Acesso em: 19/05/ 2011.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo, *Escala 1.500.000*. São Paulo. 1ª ed. IPT. 2 v.
- IRRIGART - ENGENHARIA E CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE LTDA. 2004. Relatório da Situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – 2002/2003. Relatório Um. Piracicaba. 4v.
- KURKDJIAN, M.L.N.O. 1986. Um método para identificação e análise de setores residenciais urbanos homogêneos, através de dados de Sensoriamento Remoto com vistas ao planejamento urbano. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da



- Universidade de São Paulo (INPE 6358-TAE/026).
- LOPES, M. F. C. 1984. Água subterrânea no Estado de São Paulo. Síntese das condições de ocorrência. Cong. Bras. Águas Subterrâneas, 3. *Anais...* Fortaleza, CE, v. 1, p. 305-317.
- MENEGASSE, L.N.; OLIVEIRA, F.R.; MOURAO, M.A.A.; DUARTE, U.; CASTRO, R.E.; DINIZ, A.M.A.; ELMIRO, M.A.Y. ; PEREIRA. P. E. 2003. Hidroquímica das Águas Subterrâneas do Médio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil. *Revista Latino-Americana de Hidrogeologia*, n.3, p.49-58, 2003.
- NEVES, M.A. 2005. Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na bacia do rio Jundiá (SP). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, 200p.
- ODA, G. H. 1998. Contribuição à hidrogeologia da Região entre Salto e Pirapora de Itu (SP): análise da produtividade, ocorrência e circulação das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Tubarão e Cristalino. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, USP. São Paulo.
- ODA, G.H.; BOTELHO, P.F.; IRITANI, M.A.; BERTOLO, R.A.; DINIZ, H.N. 1993. Contribuição das Águas Subterrâneas para o Abastecimento de Capivari, SP. In: 4º Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, Cuiabá, MT. *Anais....* ICHS/UFMT, Curitiba, p. 381-388.
- ODA, G.H.; IRITANI, M.A.; FERREIRA, L.M.R.; SILVA, A.H.; ROCHA, G.A. 2005. Proposta Metodológica para Exploração Racional do Sistema Aquífero Tubarão no Estado de São Paulo. In: ABAS, Encontro Nac. Perfuradores de Poços, 14 / Simp. Hidrog. Sudeste, 2, Ribeirão Preto, CD-ROM, 13 p.
- OLIVEIRA, M.L.N.; FORESTI, C. NIERO, M. PAR REIRAS, E. M. M.F. 1984. Aplicações de dados dos satélites LANDSAT no estudo da evolução urbana de Brasília. São José dos Campos, INPE. (INPE-3063-PRE/480).
- PEREIRA, M.N.; KURKDJIAN, M.L.N.O.; FORESTI, C. 1989. Cobertura e Uso da Terra através de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE. (INPE-5032-MD/042).
- PEREIRA, S.Y. Proposta de representação cartográfica na avaliação para estudo de planejamento e meio ambiente. Exemplo da Região Metropolitana de Campinas-SP. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 190 p. 1997.
- PETRI, S. 1964. Geologia do Estado de São Paulo. Inst. Geogr. e Geol., Secr. Agric., Boletim 41, p. 56-63.
- PETRI, S.; PIRES, F. A. 1992. O Subgrupo Itararé (Permocarbonífero) na região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, vol. 22, n. 3, p. 301-310.
- PETRI, S.; VIEIRA, P. C.; ODA, G. H.; FERNANDES, P. B. 1996. O Subgrupo Itararé, Permocarbonífero da Região do Médio Tietê, Estado de São Paulo, estudos de subsuperfície. *REv. Inst. Geol.*, São Paulo, v. 17, n. 1/2, p. 63-78.
- PIRES, F.A.; PETRI, S. 1991. O Subgrupo Itararé na Região Capivari-Rafard. In: Simpósio Regional de Geologia do Sudeste, 2, São Paulo, SP. Atas, SBG, São Paulo, p. 391-396.
- PREFEITURA DA ESTÂNCIA TURÍSTICA DE SALTO. 2006. Macrozoneamento do Plano Diretor da Estância Turística de Salto - Lei nº 2771/2006.
- PROCEL, S. 2011. Contaminação por nitrato e sua relação com o crescimento urbano no Sistema Aquífero Bauru em Presidente Prudente (SP). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação de Mestrado, 132 p.
- ROSSINI-PENTEADO, D.; HAMBÚRGUER, D.S.; SOUZA, C.R. de G.; RODRIGUES, C.L. & HOLL, M.C. 2005. Mapa de uso e ocupação aplicado à prognósticos ambientais no âmbito do projeto SIIGAL. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 11, São Paulo-SP. *Anais...* São Paulo: Departamento de Geografia/FFLCH/USP (CD-ROM).
- ROSSINI-PENTEADO, D.; FERREIRA, C.J.; GIBERTI, P.P.C. 2007. Quantificação da vulnerabilidade e dano aplicados ao mapeamento e análise de risco, escala 1:10.000, Ubatuba-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS, 2, Santos SP. *Anais...* Santos: ABGE (CD-ROM).
- RUPERT, M.G. 2008. Decadal-scale changes of nitrate in ground water of the United States, 1988-

2004. Journal of Environmental Quality, Supplement, 37: S240-S248.
- SABESP. Disponível em: <http://www.sabesp.com.br>. Acesso em: 2009.
- SÃO PAULO. Lei nº 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente.
- SÃO PAULO. Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente.
- SÃO PAULO. Decreto nº 47.397, de 4 de dezembro de 2002. Dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.
- SCHLUMBERGER WATER SERVICES. 2007. AquaChem v.5.1 User's Manual. Water Quality Data Analysis, Plotting, and Modeling. Waterloo, Waterloo Hydrogeologic Inc. , 384 p.
- SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Informações dos Municípios Paulistas – IMP. Disponível em <http://www.seade.gov.br/produtos>. Acesso em 15/06/2010.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE (SMA); SECRETARIA DE ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO (SERHS); SECRETARIA DA SAÚDE (SES) 2006. Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº 3, de 21 de junho de 2006. Dispõe sobre procedimentos integrados para controle e vigilância de soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano proveniente de mananciais subterrâneos.
- SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO / Ministério das Cidades. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. 2008. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>.
- STATSOFT INCORPORATION. 2012. Programa Statistica, versão 10.0. Versão Trial.
- STEVANUX, J.C.; SOUZA FILHO, E.E.; TEIXEIRA, J. A.; LANDIM, P.M.B. 1987. *Sistemas deposicionais do Subgrupo Itararé (P-CP na bacia hidrográfica do baixo Rio Capivari (SP): um modelo de prospecção de água subterrânea*. In: Simpósio Regional de Geologia, 6, Rio Claro, 1987. Atas... Rio Claro, SBG, v.1, p.335-374.
- VARNIER, C.L.; ODA. G.H.; IRITANI, M.A.; SILVA, A.H.; SILVEIRA, E.L. 2005. Caracterização Hidrogeológica Preliminar do Sistema Aquífero Tubarão em Rafard e Capivari-SP. In: ABAS, Encontro Nacional de Perfuradores de Poço, 2 / Simp. Hidrog. Sudeste, 2, Ribeirão Preto, CD-ROM, 14 p.
- VARNIER, C.L.; GUERRA, S.P.; HIRATA, R.C.A.; VEIGA, C.; VIOTTI, M. 2010a. Contaminação das águas subterrâneas por nitrato e a expansão urbana em Presidente Prudente (SP). In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, São Luís, *Anais*, 13 p.
- VARNIER, C.L.; IRITANI, M.A.; VIOTTI, M.; ODA, G.H.; FERREIRA, L.M.R. 2010b. Nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). *Revista do Instituto Geológico*, 31(1/2): 1-21.
- VIDAL, A.C. 2002. Estudo hidrogeológico do Aquífero Tubarão na área de afloramento da porção central do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro, 109p.
- VIDAL, A.C.; ROSTIROLLA, S.P.; KIANG, C.H. 2005. Análise de favorabilidade para a exploração de água subterrânea na Região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 35, p.475-481.
- XU, Y.; BAKER, L.A.; JOHNSON, P.C. 2007. Trends in ground water nitrate contamination in the Phoenix, Arizona Region. *Groundwater Monitoring and Remediation*, 27(2): 49-56
- WHO - World Health Organization. 2003. Iron in drinking-water. *Background document for preparation of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva, WHO Press. (WHO/SDE/WSH/03.04/8).
- WHO - World Health Organization. 2006. Fluoride in Drinking-water. World Health Organization titles with IWA Publishing. Printed by TJ International (Ltd), Padstow, Cornwall - UK.
- WHO - World Health Organization. 2007. Nitrate and nitrite in drinking-water. Background

document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, WHO Press. (WHO/SDE/WSH/07.01/16).

## 12. LISTA DE PUBLICAÇÕES VINCULADAS AO PROJETO

- Ezaki, S.; Rossini-Penteado, D.; Guilherme, C. M.; Oda, G.H. 2007. Definição de Áreas de Restrição e Controle de Captação e Uso de Água Subterrânea nos Sistemas Aquíferos Tubarão e Cristalino, na porção Sul da UGRHI 05. *In: Simpósio Experiências em Gestão dos Recursos Hídricos por Bacia Hidrográfica, Consórcio PCJ, São Pedro-SP.*
- Iritani, M. A.; Oda, G.H.; Ezaki, S.; Varnier, C.L. 2009. Delimitação de área de proteção das águas subterrâneas no Município de Capivari (SP) *Revista do Instituto Geológico*, vol. 30(1): 1-18.
- Oda, G.H.; Silva, C.V.; Ezaki, S.; Stradioto, M.R.; Ferroni, F.R.; Iritani, M.A. 2010. Caracterização da Qualidade das Águas Subterrâneas da Região entre Indaiatuba e Capivari (SP), Porção Sul da UGRHI 5 – Resultados Preliminares. *In: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 16 / Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 17. Anais, São Luis, CD-ROM, 16p.*
- Oda, G.H.; Takeuchi, D.M.; Ezaki, S.; Iritani, M.A.; Varnier, C.; Rossini-Penteado, D.; Lima, C.V.F.; Silva, A.H.; Zuca, N.L.; Pacheco, R.P. 2012. Geometria do Aquífero Tubarão entre os municípios de Indaiatuba e Capivari (SP). *Revista do Instituto Geológico*, 33 (1): 23-40.
- Iritani, M.A.; Rossini-Penteado, D.; Ezaki, S.; Oda, G.H. 2013. Proposta de Classificação das Fontes Potenciais de Contaminação da Água Subterrânea. *Revista do Instituto Geológico*, 34(2): 1-26.