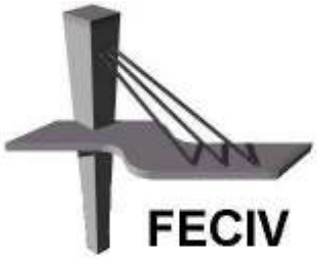
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Dissertação DE MESTRADO

VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – UM ESTUDO DO AQÜÍFERO BAURU NA ZONA URBANA DE ARAGUARI, MG

NATHÁLIA ASSUNÇÃO DE SOUZA

UBERLÂNDIA, agosto de 2009.



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Nathália Assunção de Souza

VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – UM ESTUDO DO AQUÍFERO BAURU NA ZONA URBANA DE ARAGUARI, MG

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho

Uberlândia, agosto de 2009.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S529v	Souza, Nathália Assunção de, 1984- Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas : um estudo do Aqüífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG / Nathália Assunção de Souza. - 2009. 135 f. : il. Orientador: José Eduardo Alamy Filho. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Inclui bibliografia. 1. Aqüíferos - Araguari (MG) - Teses. 2. Águas subterrâneas - Poluição - Teses. I. Alamy Filho, José Eduardo. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título. CDU: 556.33(815.12)

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 060/2009

CANDIDATA: Nathália Assunção de Souza

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho

TÍTULO: "Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas – um estudo do Aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Infra-estrutura Urbana

DATA DA DEFESA: 07 de agosto de 2009

LOCAL: Sala de Apoio I da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 08:00 - 10:00

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às argüições, os membros da Banca Examinadora decidem que a candidata foi:

(X) APROVADA

( ) REPROVADA

OBS: O trabalho cumpriu todos os requisitos necessários para o Mestrado. Destaca-se a iniciativa da candidata no desenvolvimento da pesquisa. Salienta-se também, a importância original do trabalho desenvolvido.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

Professor Orientador: **Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva - UNIFEI**

Membro: **Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla – FECIV/UFU**

Uberlândia, 07 de AGOSTO de 2009

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é dirigido aos meus pais, Evaldo e Dirce, por terem sido o contínuo apoio em todos estes anos, ensinando-me, a arte de pensar o trabalho acadêmico com rigor e disciplina e, principalmente, ensinaram-me a importância da construção e coerência de meus próprios valores.

Agradeço aos meus irmãos (Patrícia, Mariana e Marcelo), familiares e amigos que sempre me dedicaram carinho, apoio e sugestões efetivas para a realização deste trabalho. A todos, gostaria de expressar minha eterna gratidão.

Agradeço à excelência profissional de meu jovem orientador Dr. José Eduardo Alamy Filho, pela consideração de ter aceito a orientação desta Pesquisa, na esperança de retribuir, com a seriedade de meu trabalho, a confiança em mim depositada. Agradeço por suas idéias, disposição, incentivo, pelo trabalho em equipe, pelo carinho e também por sua amizade.

Agradeço aos professores Dr. Marcio Ricardo Salla e Dr. Laerte Bernardes Arruda pelas excelentes sugestões por ocasião do Exame de Qualificação. E, novamente, ao Dr. Marcio Ricardo Salla e Dr. Fernando das Graças Braga da Silva, por aceitar integrar a atual Banca.

A todos os professores, funcionários e alunos-amigos do Mestrado em Engenharia Civil da UFU. Dentre estes, destaco o professor Carlos Alberto Faria, (coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da UFU), e Sueli Maria (secretária e madrinha da Pós-graduação em Engenharia Civil) por todo o apoio durante a realização desta etapa.

Agradeço à SAE (Superintendência de Água e Esgoto de Araguari) a qual conferiu prestígio e valor a meu trabalho de Mestrado. Incluo, de forma especial, o nome do Sr. Antônio dos Santos Rodovalho Carvalho e Milton Gonçalves Alves. Estes não mediram esforços ao me ajudar na etapa de coleta de dados. Ofereceram-me, gratuitamente, dedicação e empenho, tornando os dias de trabalho, momentos de muito aprendizado e de muita alegria.

Agradecimentos especiais também são dirigidos ao geógrafo Valdemiro Paulino de Lima e à engenheira química Marly Rodrigues Neves (SAE-Araguari) que também se disponibilizaram totalmente em minhas análises e coleta de dados.

Agradeço Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa concedida durante os anos do curso.

E por fim, e mais importante, agradeço a Deus por se fazer presente em todos os momentos e por colocar todas estas pessoas especiais em meu caminho.

"É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.
Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.
Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ..."

Martin Luther King

Souza, N. A. Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas – Um estudo do Aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG, 135 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

RESUMO

Este trabalho aborda os principais aspectos relacionados ao estudo da vulnerabilidade intrínseca à poluição do aquífero livre Bauru da cidade de Araguari, MG. Esta análise utilizou como base o Método GOD e propôs a inserção de novos parâmetros a fim de obter uma avaliação mais abrangente (Método Híbrido). Dessa forma, os principais parâmetros considerados no estudo da vulnerabilidade foram: profundidade do lençol, tipos de solo da formação superficial, condutividade hidráulica vertical da formação superficial, ocorrência da água subterrânea e declividade do terreno. A pesquisa incluiu coletas de dados em campo, análises laboratoriais e trabalhos computacionais, como a interpolação de dados espaciais e a confecção de mapas. O monitoramento da profundidade do aquífero Bauru na zona urbana da cidade, feito com freqüência mensal e em 31 poços, permitiu concluir que o aquífero encontra-se a profundidades relativamente baixas. Do total, 9,67% dos poços apresentaram profundidades menores que 10 metros, 51,61% apresentaram profundidades entre 10 e 30 metros, e 38,71% dos poços apresentam profundidades maiores que 30 metros. Esse fato destaca o potencial risco à poluição do aquífero Bauru na zona urbana da cidade. O parâmetro condutividade hidráulica, também considerado na avaliação da vulnerabilidade, indicou que, de maneira geral, o solo superficial de Araguari permite fácil infiltração, apresentando um valor médio de $1{,}92.10^{-2}$cm/s. Comparados três métodos (GOD, Híbrido e EKv), verificou-se uma notável diferença nos índices finais de vulnerabilidade. Quando avaliados os índices finais segundo o Método GOD, os mesmos enquadraram-se em intervalos de vulnerabilidade baixa a média. Quando aplicado o Método Híbrido, os índices finais variaram de alto a muito alto. Para uma melhor caracterização qualitativa da atual condição das águas do aquífero, foram realizadas algumas análises de qualidade da água. Essas análises, avaliadas segundo os parâmetros temporais e espaciais, mostraram que o lençol apresenta baixos teores de coliformes totais e fecais. Os exames de DBO_5 indicaram elevadas concentrações, sendo que, em 60% do total das análises, os resultados ficaram acima do valor de 5,0 mgO_2/L, recomendado pela Resolução CONAMA 357: 2005. As análises químicas de nitrato mostraram que, em todos os poços monitorados, as concentrações apresentaram-se inferiores a 10 mg/L, recomendados pela Portaria do Ministério da Saúde 518: 2004.

Palavras-chave: Vulnerabilidade à poluição, Águas Subterrâneas, Aquífero Bauru.

Souza, N. A. Groundwater vulnerability to pollution – a study of Bauru aquifer in the urban zone of Araguari (MG), 135 p. Master degree thesis. Civil Engineering College, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

ABSTRACT

This work deals with the main aspects related to the study of the vulnerability intrinsic to the pollution of the aquifer Bauru placed under the urban zone of Araguari, MG. The analysis applied the GOD Method and put forward new parameters in order to get a broader evaluation (Hybrid Method). By this way, the main parameters considered in the study of vulnerability were the water table depth, the variety of soil that constitutes the surface, the vertical hydraulic conductivity of the surface, groundwater occurrence and ground slope. The research includes field data collecting, laboratory analyses and computational tasks, such as interposing spatial data and drawing maps. By monthly observing 31 wells from the aquifer Bauru, it can be noticed that the aquifer is not deep: 9,67% of all wells are less than 10 meters low; 51,61% are between 10 and 30 meters low; and 38,71% are more than 30 meters low. According to the assessments, the aquifer Bauru is exposed to a potential water pollution risk in urban zone. The hydraulic conductivity, also considered in the vulnerability evaluation, indicated that, in general, Araguari superficial soil allows the water penetration (its average value is $1.92x10^{-2}$cm/s). Comparing GOD, Hybrid and EKv Methods, the difference in the final vulnerability indices is noticeable. According to the GOD Method, the final indices were set between low and medium levels. On the other hand, according to the Hybrid Method, these final indices were set between high and very high levels. The water quality was tested in order to provide a better description of the aquifer. Such analysis, according to temporal and spatial parameters, indicated that the water table shows low rates of total and fecal coliform bacteria. The DBO_5 exams indicated high concentrations and in 60% of all analyses the results were above the 5.0 mgO_2/L recommended by the CONAMA Resolution 357: 2005. Otherwise, chemical analyses pointed out that nitrate concentrations were under the 10 mg/L recommended by M.S. Decree 518: 2004.

Keywords: groundwater, vulnerability to pollution, Bauru aquifer.

ABREVIATURAS E SIGLAS.

ABREVIATURAS

VMP - Valor máximo permitido

NMP – Número mais provável

SAD 69 – South American Datum 1969

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

OD – Oxigênio dissolvido

GOD – Método de Avaliação de Vulnerabilidade (Groundwater, Overal, Depth)

DRASTIC - Método de Avaliação de Vulnerabilidade (Depth to the water table; Net recharge; Aquifer material; Soil type; Topography; Impact of the unsaturated zone; Hydraulic Conductivity)

AVI – Índice de Vulnerabilidade do Aquífero

SINTACS - Método de Avaliação de Vulnerabilidade (Soggiacenza; Infiltrazione; Non saturo; Tipologia della copertura; Acquifero; Conducibilità; Superfície topográfica)

SI - Índice de Susceptibilidade

EKv - Método de Avaliação de Vulnerabilidade (Espessura da zona não saturada, Condutividade vertical).

SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

SAE - Superintendência de Água e Esgoto

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MMA – Ministério do Meio Ambiente

UNESCO – Organização das Nações Unidas para Educação, Ciências e Cultura.

ANA – Agência Nacional das Águas

FJP – Fundação João Pinheiro

SENAI Uberlândia – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Uberlândia

SUMÁRIO

Capítulo 1 1
Introdução 1
1.1 Problema e Justificativa 2
1.2 Objetivo Geral 3
1.3 Objetivos Específicos 4
Capítulo 2 6
Revisão Bibliográfica 6
2.1 Águas Subterrâneas 6
2.1.1 Definição 6
2.1.2 Impactos sobre as águas subterrâneas 11
2.1.3 Qualidade da água subterrânea 16
2.1.4 Proteção da água subterrânea 16
2.2 Métodos de Avaliação da Vulnerabilidade dos Aquíferos à Poluição 18
2.2.1 Definição de vulnerabilidade natural à poluição 18
2.2.2 Caracterização da vulnerabilidade à poluição 19
2.2.3 Caracterização da carga poluidora 21
2.2.4 Cartigrafia 21
2.2.5 Métodos para quantificação da vulnerabilidade de aquíferos 22
2.2.5.1 Método DRASTIC 22
2.2.5.2 Método GOD (Groundwater, Overal, Depth) 29
2.2.5.3 Método AVI 31
2.2.5.4 Método SINTACS 32
2.2.5.6 Índice EKv 34
2.2.5.7 Considerações acerca dos métodos de avaliação da vulnerabilidade 36
Capítulo 3 38
Recorte Espacial da Pesquisa 38
3.1 Caracterização da área de estudo 38
3.2 Aspectos hidrogeológicos da área 43

Capítulo 4 48
Materiais e métodos 48
4.1 Levantamento e seleção dos poços de monitoramento 48
4.2 Avaliação do uso e ocupação do solo da cidade de Araguari 51
4.3 Coordenadas geo-referenciadas dos poços de monitoramento 53
4.4 Levantamento das cotas do terreno 55
4.5 Monitoramento da superfície freática do aquífero Bauru 56
4.6 Interpolações espaciais, construção de mapas da superfície freática e de Vetores 59
4.7 Condutividade hidráulica superficial 61
4.8 Monitoramento da qualidade da água do aquífero Bauru 69
4.9 Avaliação da Vulnerabilidade 74
Capítulo 5 80
Resultados 80
5.1 Avaliação do uso e ocupação do solo da cidade de Araguari 80
5.2 Superfície do terreno 81
5.3 Declividade do terreno 82
5.4 Monitoramento da profundidade da água subterrânea 83
5.4 Mapas de superfícies potenciométricas 88
5.5 Mapas de Linhas de Fluxo 89
5.6 Qualidade da Água 102
5.7 Condutividade Hidráulica da formação Superficial (K) 115
5.8 Cálculo dos índices de Vulnerabilidade Intrínseca à poluição do aquifero 119
Capítulo 6 130
Conclusões e Recomendações 130
Capítulo 7 132
Referencial Teórico 132
ANEXO A .....
ANEXO B .....
ANEXO C .....
ANEXO D .....
ANEXO E .....

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Intervalos de profundidade do topo do aquífero e respectivos índices. 23
Tabela 2 – Intervalos de recarga e respectivos índices 24
Tabela 3 – Tipos de materiais do aquífero 24
Tabela 4 – Tipos de Solo e respectivos índices 25
Tabela 5 – Classes de declive e respectivo índice 26
Tabela 6 – Materiais da zona vadosa com respectivo índice 26
Tabela 7 – Intervalos de valores de condutividade hidráulica e respectivos índices 27
Tabela 8 - Peso multiplicador para cada parâmetro Métodos 28
Tabela 9 – Índice final, Método DRASTIC. 28
Tabela 10 – Parâmetros para Avaliação da Vulnerabilidade pela Metodologia GOD 29
Tabela 11 - Classes de significância de vulnerabilidade, Método GOD. 31
Tabela 12 - Classes de Vulnerabilidade do índice AVI. 32
Tabela 13 – Peso relativo multiplicador, Método SINTACS. 33
Tabela 14 - Classes de vulnerabilidade do índice SINTACS 33
Tabela 15 - Classes de vulnerabilidade do índice SI 34
Tabela 16 - Intervalos de profundidade da superfície freática e respectivos índices 35
Tabela 17 - Intervalos condutividade hidráulica vertical e respectivos índices 35
Tabela 18 - Classes de Vulnerabilidade Índice EKv. 36
Tabela 19 - Parâmetros hidrogeológicos do Aquífero Bauru 46
Tabela 20 - Parâmetros hidrogeólogicos do Aquífero Bauru. 45
Tabela 21 - Dados gerais dos poços utilizados para o monitoramento mensal 50
Tabela 22 – Categorias para avaliação do uso e ocupação do solo de Araguari. 52
Tabela 23 – Coordenadas cartográficas da rede de monitoramento dos poços. 54
Tabela 24 – Levantamento de cotas da superfície do terreno na posição dos poços. 55
Tabela 25 - Poços de monitoramento de nível 57
Tabela 26 – Localização dos pontos para ensaios de condutividade hidráulica superficial 62
Tabela 27 – Tipos de solo e respectivos índices, segundo o método GOD. 75
Tabela 28 - Intervalos de valores de profundidade do lençol e respectivos índices 76
Tabela 29 - Intervalos de valores de condutividade hidráulica e respectivos índices 77
Tabela 30 - Classes de declive e respectivo índice 78

Tabela 31 - Índice final de vulnerabilidade intrínseca do aquífero. 79
Tabela 32 - Estudo do uso e ocupação do solo da cidade de Araguari..... 80
Tabela 33 - Monitoramento mensal do nível do lençol freático. 84
Tabela 34 - Poços de Monitoramento de profundidade estática..... 85
Tabela 35 - Poços de monitoramento de Nível Dinâmico..... 86
Tabela 36 – Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Nitrato. Outubro/2008 103
Tabela 37 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Nitrato. Janeiro/2009. 103
Tabela 38 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Nitrato. Julho/2009.... 105
Tabela 39 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: DBO. Outubro/2008 ... 107
Tabela 40 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: DBO. Janeiro/2009..... 107
Tabela 41 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: DBO. Julho/2009..... 110
Tabela 42 -Monitoramento da Qualidade da Água –Parâmetro: Coliformes.Outubro/2008 111
Tabela 43 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Coliformes. Janeiro/2009. 112
Tabela 44 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Coliformes. Julho/2009. 114
Tabela 45 – Valores da condutividade hidráulica da formação superficial. 115
Tabela 46 – Valores da condutividade hidráulica da formação superficial. 117
Tabela 47 – Índices de Vulnerabilidade para o parâmetro litologia (O) 120
Tabela 48 – Índices atribuídos em função do parâmetro “profundidade do lençol” 121
Tabela 49 – Valores da condutividade hidráulica superficial..... 122

Lista de Figuras

Figura 1 - Ciclo hidrológico 7
Figura 2 – Caracterização esquemática das zonas saturadas e não saturadas no subsolo. 8
Figura 3 – Desenho esquemático da Classificação dos Aquíferos. 10
Figura 4 - Poluição de águas subterrâneas..... 15
Figura 5 - Diagrama explicativo para a Metodologia GOD. 30
Figura 6 - Mapa de situação do Triângulo Mineiro com destaque para Araguari..... 38
Figura 7 – Hidrografia do município e localização da cidade de Araguari. 39
Figura 8 - Perfil esquemático do Aquífero Bauru, na região de Araguari, MG. 45
Figura 9 – Distribuição espacial dos poços de monitoramento. 49
Figura 10 – Medidor de nível 58
Figura 11 – Coleta da profundidade do lençol 58
Figura 12 – Pontos utilizados no levantamento em campo da condutividade hidráulica.... 63
Figura 13 – Execução do furo de sondagem a trado manual. 64
Figura 14 - Cravação do revestimento do tubo de PVC. 65
Figura 15 - Injeção de água no tubo para saturação do terreno. 65
Figura 16 - Controle da vazão constante, realizada por hidrômetro..... 66
Figura 17 - Controle da vazão constante, realizada por proveta. 67
Figura 18 – Ábaco para obtenção do coeficiente “Cu”. 68
Figura 19 - Rede de monitoramento de qualidade da água. 70
Figura 20 - Coleta de água para ensaios, realizada em poços desativados. 71
Figura 21 - Coleta de água para ensaios, realizada em poços operantes. 71
Figura 22 – Mapa de uso e ocupação do solo da cidade de Araguari..... 81
Figura 23 – Superfície do terreno – cidade de Araguari. Cotas em metros. 82
Figura 24 – Mapa de declividade do terreno – cidade de Araguari..... 83
Figura 25 – Curvas de profundidade média do lençol. Valores dados em metros. 87
Figura 26 - Mapa do nível freático do Aquífero Bauru na zona urbana de Araguari. 88
Figura 27 -Superfície potenciométrica do Aquífero Bauru na zona urbana de Araguari.... 89
Figura 28 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: maio/2008 90
Figura 29 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: junho/2008 91

Figura30 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: julho/2008 91
Figura 31 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: agosto/2008 92
Figura 32 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: setembro/2008 93
Figura 33 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: outubro/2008 94
Figura 34 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: novembro/2008 95
Figura 35 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: dezembro/2008 95
Figura 36 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: janeiro/2009 96
Figura 37 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: fevereiro/2009 96
Figura 38 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: março/2009 97
Figura 39 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: abril/2009 97
Figura 40 - Superfície freática – mês: maio/2008 98
Figura 41 - Superfície freática – mês: julho/2008 99
Figura 42 - Superfície freática – mês: setembro/2008 99
Figura 43 - Superfície freática – mês: novembro/2008 100
Figura 44 - Superfície freática –mês: janeiro/2009 100
Figura 45 - Superfície freática – mês: março/2009 101
Figura 46 - Superfície freática – mês: maio/2009 101
Figura 47 - Mapa de contorno das Concentrações de Nitrato na zona urbana de Araguari (avaliação espacial). Valores em mg/L. 104
Figura 48 - Mapa de contorno das concentrações de Nitrato na zona urbana de Araguari (avaliação temporal). Valores em mg/L. 106
Figura 49 - Mapa de contorno das concentrações de DBO_5 na zona urbana de Araguari (avaliação espacial). Valores em mg/L. 108
Figura 50 - Mapa de contorno das Concentrações de DBO_5 na zona urbana de Araguari (avaliação temporal). Valores em mg/L. 110
Figura 51 - Mapa de contorno das Concentrações de Coliformes na zona urbana de Araguari (avaliação espacial). Valores em NMP/100mL. 113
Figura 52 – Iso-linhas de condutividade hidráulica da formação superficial 116
Figura 53 – Iso-linhas de condutividade hidráulica normalizada 118
Figura 54 – Contorno da vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método GOD .. 123
Figura 55 –Contorno da vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método híbrido. 125
Figura 56 – Contorno da vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método EKv. .. 126

Figura 57 – Comparação entre os índices de vulnerabilidade normalizados para os três métodos (GOD, Híbrido e EKv). 128
Figura 58 – Zonas de vulnerabilidade normalizada. União de índices adimensionais dos métodos GOD, Híbrido e EKv. 129

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

Aproximadamente ¾ da superfície da Terra é coberta por água, razão pela qual, foi apelidada de Planeta Água. Em termos percentuais, 97,6% da água do planeta é constituída pelos oceanos, mares e lagos de água salgada. A água doce, representada pelos 2,4% restantes, tem sua maior parte situada nas calotas polares e geleiras (1,9%), inacessível aos seres humanos pelos meios tecnológicos atuais. Da parcela restante (0,5%), mais de 95% é constituída pelas águas subterrâneas, conforme destaca Capucci *et. al.* (2001). Dados como estes destacam a importância dos mananciais subterrâneos, haja vista que, em termos quantitativos, a vantagem sobre os mananciais superficiais é indiscutível. A despeito disso, é importante salientar que nem toda água armazenada no subsolo está ao alcance das tecnologias atualmente disponíveis para a sua extração. Além disso, o aproveitamento dessas águas depende muito do uso a que se destinam. Como exemplo disto, basta citar que águas com elevado teor de sais dissolvidos como o arsênio, flúor, nitratos e sulfatos, limitam ou impedem o seu uso direto devido a questões de saúde pública, tornando-se inviáveis para abastecimento das populações.

A demanda de água doce para os mais diversos usos cresce continuamente no planeta. Como o volume de água é quase constante desde a formação do planeta, a disponibilidade de água doce é cada vez menor. Além de um grande volume de água ser desperdiçado pelo uso inadequado, acrescenta-se a essa redução a perda de qualidade das águas dos rios, lagos e reservatórios construídos pelo homem, devido aos impactos ambientais. Nesse contexto crescem em importância as águas subterrâneas, pois, por fluírem no subsolo, são mais protegidas, conforme afirma Barros (2008).

De acordo com Capucci *et. al*. (2001) a água doce, vem perdendo sua característica especial de recurso renovável, na medida em que os efluentes e/ou os resíduos domésticos e industriais são dispostos no ambiente sem tratamento ou de forma inadequada. Diante desse cenário, a água subterrânea vem assumindo uma importância cada vez mais relevante como fonte de abastecimento devido a uma série de fatores que

restringem a utilização das águas superficiais, bem como ao crescente aumento dos custos da sua captação, adução e tratamento.

A água subterrânea é paulatinamente reconhecida como alternativa viável aos usuários e tem apresentado uso crescente nos últimos anos. Essas águas, que estão em armazenamento transitório nos poros e fraturas de formações rochosas profundas, são extraídas através de poços bem locados e construídos. Além dos problemas de facilidade de poluição, inerentes às águas superficiais, o maior interesse pelo uso da água subterrânea vem sendo despertado pela maior oferta desse recurso em decorrência do desenvolvimento tecnológico, o que promoveu uma melhoria na produtividade dos poços e um aumento de sua vida útil.

A possibilidade de ser extraída varia grandemente de local para local, dependendo das condições de precipitação e da distribuição dos aquíferos. A água subterrânea pode ser extraída durante o ano inteiro desde que o seu reabastecimento (recarga) seja adequado e que a mesma encontre-se protegida da poluição.

1.1 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

A avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à poluição constitui-se em um dos aspectos de maior importância para subsidiar o planejamento de uso do solo e para gerenciar a instalação e o funcionamento de empreendimentos potencialmente impactantes aos recursos hídricos subterrâneos, conforme destaca Brollo *et. al.* (2000) . Esse tipo de avaliação, portanto, é de grande importância para orientar mecanismos de gestão ambiental de territórios, diante das mais diversas atividades antrópicas. Este é o cenário das águas que escoam em áreas urbanas.

O aquífero Bauru, localizado na cidade de Araguari, Minas Gerais, é um aquífero livre, ou seja, a superfície superior que limita a sua zona saturada apresenta nível variável. Logo, não existem camadas confinantes superiores que constituam uma barreira natural de contenção da percolação de poluentes pelo solo, o que amplia a sua susceptibilidade à poluição. Enfatiza-se também que o lençol freático não é muito profundo na zona urbana e em todo o município, o que aumenta sua susceptibilidade à poluição.

Este estudo também se fundamenta na importância de conhecer, de maneira mais detalhada, a atual situação da qualidade da água bruta oferecida pelo aquífero uma vez que, a cidade de Araguari, que conta com 106 mil habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), é abastecida exclusivamente por água subterrânea. Isto destaca a importância de se conhecer maiores detalhes acerca do aquífero Bauru e de reconhecer onde ele é mais vulnerável à poluição.

Em termos de Triângulo Mineiro e possivelmente em termos de Minas Gerais, Araguari constitui a maior aglomeração totalmente abastecida por águas subterrâneas. Delimitar as linhas de fluxo e as áreas mais vulneráveis à poluição permitirá elucidar os caminhos preferenciais seguidos pelos poluentes sob a área urbana da cidade.

Na cidade de Araguari, existem muitos poços operantes (com revestimento) e muitos poços desativados, o que facilita o monitoramento dos níveis do lençol. Em função disto, a coleta de água bruta do subsolo também é facilitada.

Enfim, é necessário que haja uma eficaz investigação acerca dos recursos hídricos subterrâneos e também uma avaliação dos riscos de poluição dos mesmos através das principais atividades potencialmente poluidoras. Essa investigação permitirá correlacionar essas atividades com o uso e ocupação do solo da região. Nesse aspecto, vários estudos relacionados à avaliação da vulnerabilidade natural em certas áreas são realizados, com intuito principal de proteger os recursos hídricos subterrâneos. A partir da identificação da vulnerabilidade natural do aquífero, a prática de atividades antrópicas potencialmente poluidoras poderá ser minimizada.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a vulnerabilidade à poluição do Aquífero Bauru na cidade de Araguari, MG, mediante a utilização de vários parâmetros tais como: profundidade do lençol, condutividade hidráulica superficial, litologia da camada superficial, declividade do terreno e tipo de aquífero. Objetiva-se também avaliar a atual situação da qualidade da água do referido Aquífero, mediante ensaios de DBO_5, Nitratos e Coliformes (totais e fecais).

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com o objetivo de identificar as áreas mais susceptíveis à poluição, esta pesquisa elaborou mapas diagnósticos da zona urbana da cidade tais como:

- Mapas de superfície do terreno;
- Mapas de superfície freática;
- Mapas de fluxo do lençol;
- Mapas de vulnerabilidade à poluição;
- Mapas de qualidade da água.

Este trabalho é constituído de sete capítulos, organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 1 – Introdução: apresenta uma noção geral do tema a ser tratado no trabalho. Destaca a importância dos recursos hídricos subterrâneos no contexto atual e também a importância de se conhecer a vulnerabilidade à poluição dos mesmos. São apresentados também, a problemática da situação em estudo, com suas referidas justificativas, e os objetivos gerais e específicos e deste trabalho;
- Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica – Águas Subterrâneas: apresenta uma revisão sobre águas subterrâneas, ressalta aspectos importantes como a super-exploração, poluição e proteção das águas subterrâneas, relacionando estes aspectos com o tema principal da pesquisa que é a avaliação da susceptibilidade á poluição dessas águas subterrâneas. Neste mesmo capítulo também são apresentados alguns métodos de avaliação da vulnerabilidade comumente utilizados na análise de vulnerabilidade de Aquíferos, os parâmetros considerados, alem de suas particularidades e pesos;
- Capítulo 3 – Recorte espacial da pesquisa: Neste capítulo, é feita uma caracterização da área de estudo, a cidade de Araguari, e também uma

caracterização geral do Aquífero Bauru, destacando os aspectos mais relevantes vinculados ao interesse da pesquisa;

- Capítulo 4 – Metodologia: Nesta etapa é realizada uma breve descrição sobre os métodos, as técnicas e os processos adotados na pesquisa, tanto na fase de campo (levantamento experimental dos dados) quanto o procedimento de tratamento dos dados e elaboração dos mapas;
- Capítulo 5 – Resultados: Os resultados finais são apresentados detalhadamente e de forma objetiva. Estes dados são apresentados na forma de tabela, gráficos e figuras (mapas). É realizada também uma análise e discussão teórica dos resultados, relacionando com aqueles descritos no referencial teórico;
- Capítulo 6 - Este capítulo apresenta as principais conclusões do trabalho, em vistas dos dados comprovados, e também algumas considerações finais, com base nos objetivos do mesmo;
- Capítulo 7 – Referencial Teórico: São apresentados os autores e instituições consultados e citados que deram suporte à pesquisa.

CAPÍTULO 2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

2.1.1 DEFINIÇÃO

Neste item, são abordados aspectos básicos acerca das águas subterrâneas, cujo conhecimento foi importante no desenvolvimento da Dissertação.

2.1.1.1 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico, ou ciclo da água, é o movimento contínuo da água presente nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera. Esse movimento é alimentado pela força da gravidade e pela energia do sol, que provoca a evaporação das águas dos oceanos e dos continentes.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007), na atmosfera, são formadas as nuvens, que apresentam uma composição de poeira, gases, vapor de água e partículas de gelo. As partículas sólidas, presentes nas nuvens, formam núcleos de condensação do vapor de água. Com a coalescência e consequente crescimento das gotas, ocorre a precipitação na forma de chuva, granizo, orvalho e neve. Nos continentes, a água precipitada pode seguir os diferentes caminhos: infiltração e percolação até as formações rochosas mais profundas, escoamento superficial, escoamento subterrâneo, evapotranspiração e degelo de geleiras, conforme ilustra a Figura 1.

A água subterrânea faz parte do ciclo hidrológico, portanto, encontra-se intimamente relacionada com processos atmosféricos, climáticos e com o regime de águas superficiais.

Os recursos de água doce da Terra são, principalmente, o gelo, a neve e a água subterrânea. Os rios e os lagos constituem apenas uma pequena parte do volume total de água doce. Estima-se que a totalidade dos recursos subterrâneos de água doce seja de cerca de 10.000.000 km^3 (Planet Earth, 2007).

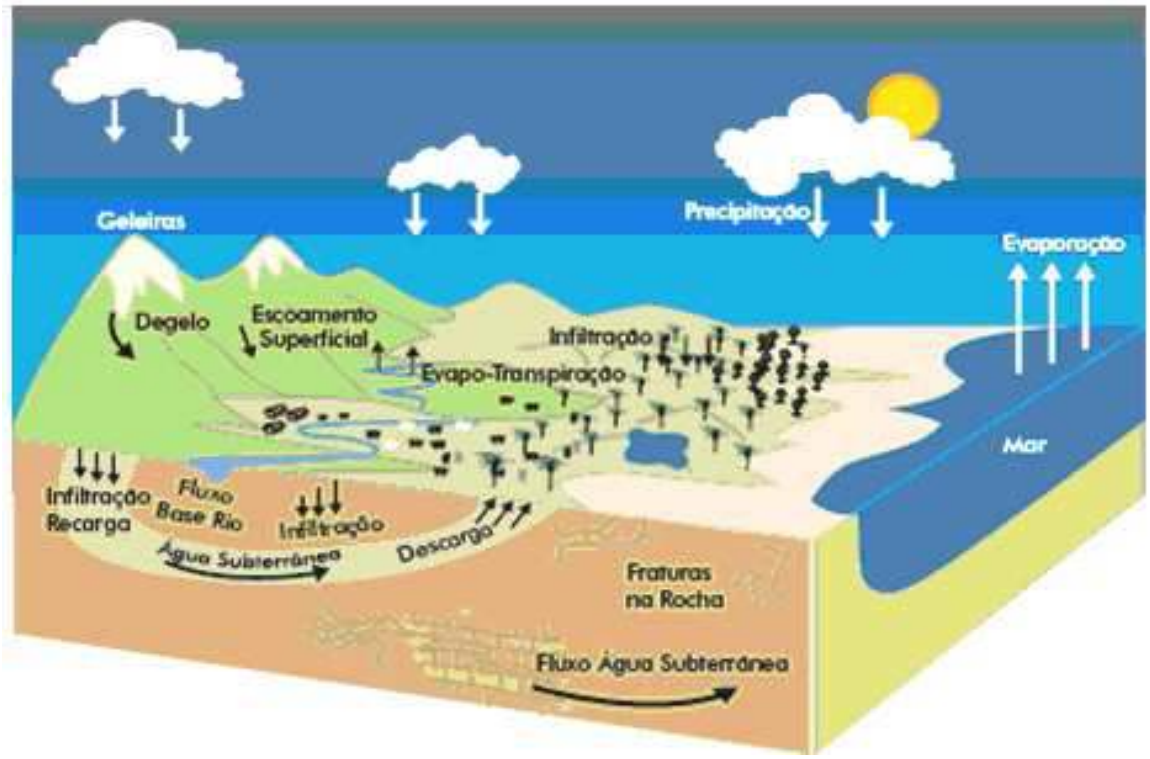


Figura 1 - Ciclo hidrológico

Fonte: MMA (2007)

2.1.1.2 AQUÍFEROS

De acordo com Capucci *et. al.* (2001), aquíferos ou reservatórios naturais de água subterrânea são formações rochosas ou camadas geológicas que armazenam e transmitem água em quantidades economicamente viáveis de extração.

Águas subterrâneas são aquelas que se encontram nos espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras (rachaduras, quebras, descontinuidades e espaços vazios). Nem toda água subterrânea está presente nos aquíferos, pois, para ser denominado como aquífero, a formação deve armazenar água e permitir a transmissão dessa água entre dois pontos. Assim, um aquífero deve ter vazios interconectados.

Além dos aquíferos, outros corpos rochosos também desempenham importantes funções na dinâmica da água subterrânea, como, por exemplo, os aquicludes (aqui = água, cludere = aprisionar) e aquitardes (aqüi = água, tarde = tardio, lento), de acordo com Osório (2004).

Segundo Batalha (1986), um aquiclude é definido como a formação que, embora porosa, é capaz de absorver água, mas que não a transmite em velocidade suficiente para proporcionar o escoamento apreciável para um poço ou fonte. Batalha (1986) também define aquitarde como uma formação geológica de natureza relativamente impermeável e semiconfinante que transmite água com velocidade muito reduzida, em comparação a um aquífero.

A Figura 2 ilustra a distribuição da água na subsuperfície e no subsolo. Com o aumento da profundidade, destacam-se a zona não saturada, onde a água e o ar preenchem os espaços vazios entre os grânulos; e a zona saturada, onde os espaços vazios são integralmente preenchidos por água. No limite entre as duas zonas, ocorre o nível freático, também conhecido como nível do lençol freático.

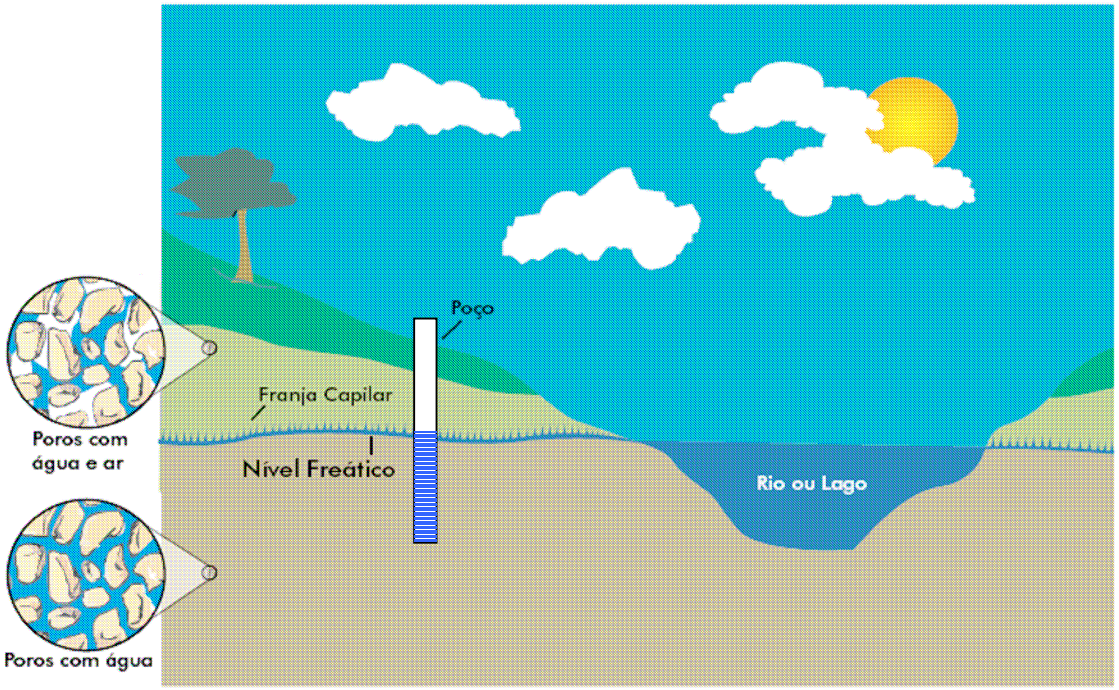


Figura 2 – Caracterização esquemática das zonas saturadas e não saturadas no subsolo.
Fonte: MMA (2007)

Vale destacar a importante função que o solo desempenha, atuando como filtro natural de poluentes e servindo de palco para que os processos de adsorção físico-química e de degradação bioquímica dos compostos percolantes aconteçam. Esta característica filtrante do solo permite que as águas subterrâneas, em geral, sejam utilizadas como água potável, sem a necessidade de tratamentos sofisticados.De acordo com o MMA (2007), as características químicas da água dependem das características do solo e dos processos que ocorrem nele.

2.1.1.3 TIPOS DE AQUÍFEROS

Segundo MMA (2007), os aquíferos podem ser classificados em:

- Poroso – com água armazenada nos espaços entre os grãos criados durante a formação da rocha. Nesse sentido, diz-se que a formação rochosa apresenta porosidade primária. Os aquíferos porosos funcionam com esponjas onde os espaços vazios são ocupados por água. Exemplos típicos desses aquíferos são os arenitos (como o Bauru e Botucatu, por exemplo), além de formações arenosas não consolidadas (Figura 3 a);

- Fissural – a água circula pelas fissuras resultantes do fraturamento das rochas relativamente impermeáveis (ígneas ou metamórficas). Camadas superficiais de basalto, por exemplo, possuem maior densidade de fraturas, causada pelo resfriamento rápido do magma. Quando essas fraturas apresentam interconexão, os basaltos, mesmo não apresentando porosidade primária, podem constituir-se em bons aquíferos. Todavia, quando há pequena quantidade de fraturas e nenhuma interconexão entre elas, o basalto apresenta o comportamento de um aquiclude (Figura 3 b);

- Cársticos – São os aquíferos formados em rochas carbonáticas (sedimentares, ígneas ou metamórficas). Constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado, onde as fraturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem atingir aberturas muito grandes, criando, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos (Figura 3 c).

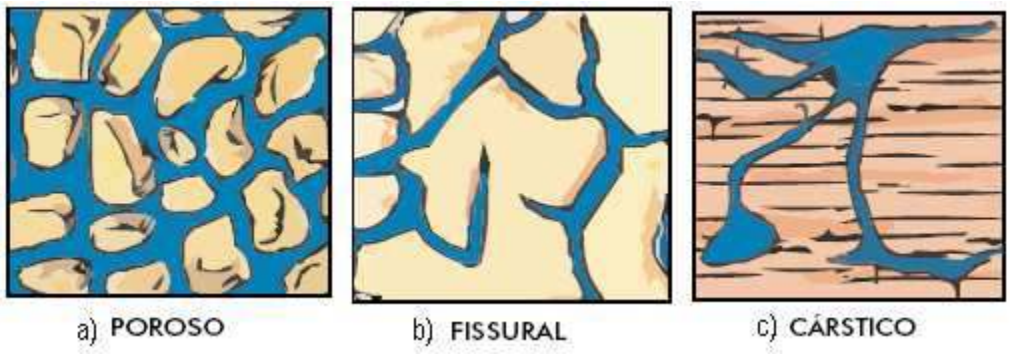


Figura 3 – Desenho esquemático da classificação dos Aquíferos.
Fonte: Adaptado de MMA (2007).

Quando a superfície que limita a zona saturada dos aquíferos coincide com o lençol freático eles são chamados de aquíferos livres. Nessas condições, o limite superior do aquífero está sujeito à pressão atmosférica. Quando o aquífero encontra-se entre duas camadas impermeáveis, com a água exercendo pressão sobre o topo e a base das camadas limitantes, diz-se que está confinado. Nessa condição, a água está sob pressão superior à pressão atmosférica. O aquífero, nesse caso, é classificado como confinado ou artesiano. O poço que capta água de um aquífero confinado é chamado de poço artesiano. Quando é perfurado um poço artesiano, o nível de água estabelece-se acima da camada saturada do aquífero. Esse nível de água é denominado nível artesiano. Quando o nível artesiano eleva-se acima da superfície do solo, o poço é chamado de surgente ou jorrante, de acordo com Capucci *et. al*. (2001).

A susceptibilidade à poluição dos aquíferos livres, em relação aos confinados é maior, uma vez que, nesses casos, não existem camadas confinantes superiores que constituam uma barreira natural de contenção da percolação de poluentes pelo solo.

2.1.1.4 RECARGA DE AQUÍFEROS

A área por onde ocorre o abastecimento do aquífero é denominada zona de recarga. O processo de recarga subterrânea ocorre pelo movimento de água sob forças gravitacionais (Vasconcelos, 2005). De forma geral, a recarga subterrânea é considerada como a quantidade de água que contribui para aumentar a reserva

subterrânea permanente ou temporária de um aquífero. Bertol (2007) distingue dois tipos de recarga aquífera:

- Recarga direta: as águas de precipitação infiltram-se diretamente no aquífero, através de suas áreas de afloramento e fissuras de rochas sobrejacentes. Desta forma, a recarga sempre é direta nos aquíferos livres, ocorrendo em toda a superfície acima da zona saturada. Nos aquíferos confinados, o reabastecimento ocorre preferencialmente nos locais onde a formação aquífera aflora à superfície;

- Recarga indireta: resulta da percolação até o aquífero advinda do escoamento superficial, a partir dos leitos de curso de água existentes na superfície do terreno, lagos e das fontes de infiltração introduzidas pelo homem através de atividades de irrigação e urbanização.

A recarga artificial dos aquíferos pode ocorrer devido ao vazamento das tubulações do sistema de abastecimento e esgotamento sanitário, pela injeção de água em poços desativados, ou pelo excesso na irrigação de diferentes culturas.

As áreas de recarga direta destacam-se como áreas de elevado potencial de poluição dos aquíferos. Atividades de irrigação ou ferti-irrigação, vazamentos nas redes de esgoto e de água pluvial, presença de tanque-séptico-sumidouro e de valas de infiltração, aumentam a susceptibilidade à poluição das águas subterrâneas.

2.1.2 IMPACTOS SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

2.1.2.1 SUPEREXPLORAÇÃO

A água subterrânea também pode ser encontrada em zonas desertas. Nas zonas áridas do mundo, a água doce é normalmente escassa, forçando as populações locais a usarem toda a água subterrânea disponível. Essa tendência também pode ser observada em regiões com capacidade hídrica superficial reduzida. Todavia, uma utilização tão intensiva da água subterrânea deveria ser evitada, uma vez que tal processo não é

sustentável e pode originar alguns riscos, tais como subsidência (afundamento da superfície de um terreno em relação às áreas circunvizinhas) e fissuração de solos.

Segundo o Portal São Francisco (2007), uma grande concentração de poços em áreas urbanas pode contribuir para rebaixar, em excesso, a superfície piezométrica dos aquíferos. O avanço de uma pluma poluidora pode então ser acelerado pela exploração do aquífero, na medida em que altera os gradientes naturais e aumenta a velocidade do fluxo subterrâneo em direção às áreas onde ocorre a retirada de água. Dessa forma, a utilização de poços deve ter a orientação de um profissional habilitado nessa área, de modo que o seu uso não comprometa o uso futuro desses recursos (seja por uma possível contaminação ou pela exploração de uma vazão superior à admissível), e nem exponha a saúde da população abastecida a possíveis doenças de origem ou veiculação hídrica, devido à utilização de mananciais inadequados ou contaminados.

O uso de uma alternativa estratégica de abastecimento com as leis naturais que governam a sua ocorrência e reposição, além de proteger as áreas de recarga de possíveis contaminações, pode garantir a sua preservação e uso potencial pelas gerações futuras. Além disso, conhecer a disponibilidade dos sistemas aquíferos e a qualidade de suas águas é primordial para o estabelecimento de política de gestão das águas subterrâneas (Silva, 2003).

2.1.2.2 POLUIÇÃO

Segundo Barros (2008), há poucas informações disponíveis sobre as fontes pontuais e difusas de poluição. Existe um mito arraigado na população de que toda e qualquer água que brote da terra, como fonte, é de boa qualidade, o que não é verdade.

As águas subterrâneas podem conter, localmente, quantidades de íons salinos (carbonatos, fosfatos, potássio, cálcio, magnésio, ferro, dentre outros) superiores àquelas estabelecidas pelos padrões de potabilidade e, em casos mais extremos, apresentarem concentrações anormais de substâncias, decorrentes de despejos industriais e domésticos. Mesmo que essas duas situações não sejam observadas, para que a água subterrânea seja utilizada para abastecimento em larga escala, é prudente e necessário realizar sua desinfecção antes do consumo.

As fontes mais comuns de poluição das águas subterrâneas, segundo o MMA (2007), são:

- Disposição de resíduos sólidos no solo: descarte de resíduos provenientes das atividades industriais, comerciais ou domésticas em depósitos a céu aberto, conhecidos como lixões. Nessas áreas, a água de chuva e o líquido resultante do processo de degradação dos resíduos orgânicos (chorume), tendem a se infiltrar no solo, carreando substâncias potencialmente poluidoras, metais pesados e organismos patogênicos;

- Esgotos e fossas negras: o lançamento de esgotos diretamente sobre o solo ou na água, os vazamentos em coletores de esgotos e a utilização de tanques sépticos construídos de forma inadequada, constituem as principais causas de poluição da água subterrânea;

- Atividades agrícolas: fertilizantes e agrotóxicos utilizados na agricultura podem contaminar as águas subterrâneas com substâncias como compostos orgânicos, nitratos, sais e metais pesados. A poluição pode ser facilitada pelos processos de irrigação mal manejados que, ao aplicarem água em excesso, tendem a facilitar que os fertilizantes não absorvidos pelas plantas atinjam os aquíferos; os fertilizantes inorgânicos como o amoníaco, sulfato de amônio, nitrato de amônio e carbonato de amônio e os orgânicos, como a uréia, são os responsáveis pelo incremento de nitrato, nitrito e amônio nas águas subterrâneas. Isto se deve ao fato da quantidade de fertilizantes aplicada ser superior à quantidade necessária para o desenvolvimento das plantas;

- Atividades industriais: a poluição industrial apresenta um caráter tipicamente pontual e está relacionada com a eliminação de resíduos de produção através da atmosfera, do solo, das águas superficiais e subterrâneas e de derrames durante o seu armazenamento e transporte;

- Mineração: a exploração de alguns minérios, com ou sem utilização de substâncias químicas em sua extração, produz rejeitos líquidos e/ou sólidos que podem contaminar os aquíferos;

- Vazamento de substâncias tóxicas: vazamentos de tanques em postos de combustíveis, oleodutos e gasodutos, além de acidentes no transporte de substâncias tóxicas, combustíveis e lubrificantes;

- Cemitérios: fontes potenciais de poluição da água, principalmente por microorganismos.

As formas mais comuns de poluição e contaminação, indireta, segundo MMA (2007) são:

- Filtragem vertical descendente: poluição de um aquífero mais profundo pelas águas de um aquífero livre superior (que ocorre acima do primeiro);

- Poluição natural: provocada pela transformação química e dissolução de minerais, podendo ser agravada pela ação antrópica, por exemplo, a salinização, presença de ferro, manganês, carbonatos e outros minerais associados à formação rochosa;

- Poços mal construídos e/ou abandonados: poços construídos sem critérios técnicos, com revestimento corroído/rachado, sem manutenção e abandonados sem o fechamento adequado (tamponamento), podem constituir vias importantes de poluição das águas subterrâneas.

A poluição das águas subterrâneas é geralmente difícil de detectar, de monitoramento dispendioso e muito prolongado. Na maioria das vezes, a poluição só é descoberta no momento em que substâncias nocivas aparecem nos reservatórios de água potável, quando os agentes poluidores já se espalharam por uma grande área (Capuci *et. al* , 2001).

Embora os recursos hídricos superficiais possam ser poluídos com grande rapidez, podem, também, recuperar-se num curto espaço de tempo, com tecnologias de despoluição mais conhecidas e economicamente mais viáveis. Pelo contrário, os processos subterrâneos são muito mais lentos, podendo durar de anos a milênios. Assim, a despoluição das águas subterrâneas é extremamente difícil, considerando ainda que, diante da atual matriz de conhecimentos, não existem tecnologias consagradas para a despoluição desses mananciais.

Depois que o monitoramento da água subterrânea tornou-se mais usual, em linhas gerais, um quadro alarmante começou a aparecer. A qualidade da água subterrânea vem declinando muito lentamente, principalmente nas proximidades das zonas urbanas e industriais das cidades. A maior parte dos poluentes é proveniente dos usos urbanos, industriais e da agricultura, mas atingem os aquíferos pela disposição e tratamento inadequados dos despejos. No passado, foi dada maior atenção às fontes pontuais de poluição, a exemplo dos rejeitos e resíduos industriais, lixões e aterros controlados, e lixos químicos e tóxicos injetados no subsolo (Figura 4). Muitas soluções técnicas foram desenvolvidas para recuperar ou, no mínimo, conter esses tipos de poluição (Capuci *et. al*, 2001). Na atualidade, torna-se evidente que as fontes de poluição da água subterrânea são muito mais disseminadas e relacionadas com uma variedade muito maior de atividades.

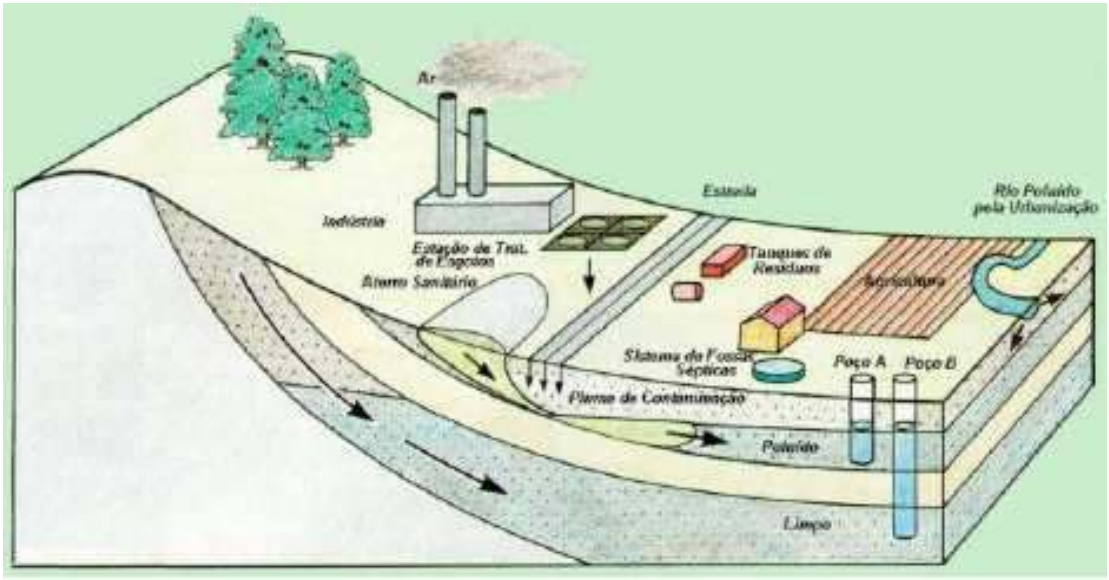


Figura 4 - Poluição de águas subterrâneas

Fonte: Figura adaptada de UNESCO (1992) *apud* Capucci *et. al*. (2001).

A alternativa mais eficaz para controle da poluição em áreas urbanas é o manejo integrado dos usos do solo e da água.

2.1.3 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

As águas subterrâneas apresentam elevado padrão de qualidade físico-química e bacteriológica. Por serem naturalmente protegidas (mas não imunes) dos agentes de poluição e contaminação, essas águas dispensam, na maioria das vezes, um tratamento físico-químico para consumo (MMA, 2007).

Na captação de água subterrânea por poços tubulares, não é importante apenas o aspecto da quantidade, isto é, a vazão a ser obtida. A qualidade da água subterrânea é outro fator a ser considerado, tendo em vista o uso proposto para a água a ser captada.

A qualidade das águas subterrâneas é condicionada, a princípio, pela dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos por ela percolados. Apesar disto, essa qualidade pode sofrer a influência de outros fatores como composição da água de recarga, tempo de contato água/meio físico, clima e até mesmo a poluição causada pelas atividades humanas, segundo destaca Capucci *et al*. (2001).

A qualidade pode ser definida pelas características físicas, químicas e biológicas da água. Dentro dos valores encontrados para cada um desses parâmetros, é possível estabelecer os diferentes usos: consumo humano, irrigação, industrial e outros.

2.1.4 PROTEÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Segundo Capucci *et. al*. (2001), o mundo desenvolvido vem dando, paulatinamente, mais atenção à proteção e recuperação dos aquíferos. Nesse contexto, existem legislações implantadas e em execução por agências governamentais bem equipadas. Nos países desenvolvidos, a coleta de dados e os programas de monitoramento são avançados e periódicos. Além disto, o padrão de vida é alto e os custos do monitoramento da água podem ser sustentados pelos usuários, onde for necessário. Já nos países em desenvolvimento, a ênfase é direcionada para a extração da água

subterrânea. No Brasil, por exemplo, são inúmeros os exemplos de perfuração desordenada de poços, da falta de registro dos mesmos e do desrespeito com suas áreas de proteção. O monitoramento da qualidade das águas ocorre apenas onde a necessidade de proteção já é reconhecida.

Uma estratégia de defesa da qualidade das águas subterrâneas seria uma avaliação regional, em nível de reconhecimento e com base em dados disponíveis, que consiste em mapear os graus de vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos e caracterizar os riscos potenciais de poluição associados à carga poluidora. Com essas avaliações é possível construir mapas de vulnerabilidade que constituem um importante instrumento para o planejamento das políticas e ações de proteção das águas subterrâneas.

A despeito disto, a implementação de programas de monitoramento é dificultada pela escassez de dados, pela falta de pessoal especializado, pela ausência de legislação e de recursos institucionais, pelos elevados custos de perfuração e instalação de piezômetros, além do baixo nível de financiamentos.

De acordo com a Agência Nacional das Águas, ANA (2005), a proteção dos recursos hídricos subterrâneos é um aspecto crítico, já que os custos de remediação de aquíferos são muito altos, sendo tecnicamente muito mais difícil a sua recuperação para as condições vigentes antes da poluição.

Assim, os recursos de água subterrânea precisam ser, cada vez mais, protegidos e bem geridos, de forma a permitir a sua utilização sustentável a longo prazo.

2.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS À POLUIÇÃO

2.2.1 DEFINIÇÃO DE VULNERABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO

Segundo Lobo Ferreira (1995) a definição mais restrita de vulnerabilidade é recomendada pela conferência internacional sobre "Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants", realizada nos Países Baixos, em 1987, que indica que vulnerabilidade à poluição é *a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente e que isto é função apenas das características intrínsecas do aquífero.*

Para Foster e Hirata (1988), a vulnerabilidade de um aquífero à poluição significa *sua maior ou menor susceptibilidade de ser afetado por uma carga poluente imposta*. Neste caso, ao citar uma carga poluente e imposta, os autores parecem referir-se somente a uma poluição de origem artificial.

Auge (2004) define o conceito de duas vulnerabilidades: a intrínseca e a específica.

- A vulnerabilidade intrínseca tem maior utilidade em trabalhos de planejamento do uso da água, da ocupação e uso do território, principalmente no que se refere à preservação da qualidade. Estudos dessa forma de vulnerabilidade são aplicados em locais onde não se realizam práticas de fertilização, aplicação de pesticidas, cria concentrada de gado, atividades domésticas e industriais, que por sua intensidade, poderiam afetar a qualidade da água. Nesse sentido, a análise da vulnerabilidade intrínseca serve como um instrumento para avaliação de usos futuros do solo, mas também pode funcionar como um indicador de fontes poluidoras já existentes, instaladas sobre aquíferos menos ou mais susceptíveis à poluição;

- A vulnerabilidade específica, por sua vez, inclui parcialmente o conceito de risco, toda vez que se refere ao perigo de deterioração em relação a substâncias poluentes específicas.

Foster e Hirata (1988) define vulnerabilidade, como um termo utilizado para expressar as características intrínsecas naturais que determinam a sensibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga poluente antrópica imposta. Definida deste modo, entende-se que o conceito de vulnerabilidade é distinto de risco de poluição. Assim, o risco de poluição depende não só da vulnerabilidade, mas também da existência de cargas poluentes significativas que possam atingir o ambiente subterrâneo.

Foster e Hirata (1988) definem risco como o perigo de deterioração da qualidade de um aquífero pela existência real do potencial poluente ao seu redor.

É possível existir um aquífero com alto índice de vulnerabilidade, mas sem risco de poluição caso não haja carga poluente; ou de haver um risco de poluição excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo. É importante salientar a diferença entre vulnerabilidade e risco de poluição. O risco é causado não apenas pelas características intrínsecas do aquífero, geralmente muito estáveis, mas também pela existência de atividades poluentes, fator dinâmico que, em princípio, pode ser controlado (Lobo Ferreira , 1995).

2.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

Segundo Foster e Hirata (1988), a caracterização da vulnerabilidade do aquífero pode ser melhor definida por meio dos seguintes fatores:

- Capacidade de atenuação, resultante de retenção físico-química (adsorção) ou reação de poluentes;

- Acessibilidade de poluentes à zona saturada.

A baixa vulnerabilidade de um aquífero é função da inacessibilidade hidráulica à penetração de poluentes e da capacidade de atenuação, como resultado da retenção física e das reações químicas com os agentes poluidores. Essas duas componentes da vulnerabilidade interagem com as seguintes componentes dos poluentes:

- Forma de disposição do poluente no solo e a magnitude de qualquer carga hidráulica associada;

- Mobilidade e persistência da classe do poluente.

O mais preciso seria avaliar a vulnerabilidade em relação a cada poluente, ou a cada classe de poluente, ou a cada grupo de atividades potencialmente poluidoras.

O tempo de residência na zona não saturada e o retardamento da chegada do poluente ao aquífero, bem como o seu grau de atenuação, retenção ou eliminação são determinados pela interação de todas as propriedades anteriormente citadas, segundo destaca Lobo Ferreira (1995).

Os componentes da vulnerabilidade de um aquífero não são diretamente mensuráveis, mas sim determinados por meio de combinações de inúmeros fatores, muitas vezes difíceis de serem estimados ou indisponíveis, o que obriga, na prática, a uma redução e simplificação da lista de parâmetros requeridos. No limite mínimo, a lista de parâmetros disponíveis fica reduzida a três, a saber:

- O tipo de ocorrência da água subterrânea (ou a condição do aquífero quanto ao grau de confinamento);

- As características dos estratos acima de zona saturada, em termos de grau de consolidação e tipo litológico;

- A profundidade do nível da água.

Mapas de vulnerabilidade, ferramentas que indicam regiões mais susceptíveis à poluição, devem ser sempre interpretados com certa precaução, uma vez que não existe uma vulnerabilidade geral a um poluente universal, num cenário típico de poluição. Não obstante, considera-se que um sistema de classificação e o mapeamento de aquíferos com base em um só índice de vulnerabilidade pode ser útil em nível de reconhecimento. Sua validade técnica pode ser assumida desde que fique claro que este índice não se refere à poluentes móveis e persistentes e que não sofrem retenção significativa ou transformação durante o transporte em subsuperfície.

2.2.3 CARACTERIZAÇÃO DA CARGA POLUIDORA

Em áreas urbanas, uma das principais preocupações é a carga poluente em zonas residenciais sem esgotamento sanitário público que utilizam do sistema de tanques sépticos ineficientes e fossas negras. Essa carga oriunda do esgoto doméstico normalmente apresenta, na sua composição, nutrientes e sais, bactérias, vírus e compostos orgânicos solúveis.

De acordo com Osório (2004), nas áreas de concentração industrial, devido à diversidade de atividades, processos de fabricação e práticas de disposição de efluentes, há maior dificuldade em estimar uma carga poluidora global.

Osório (2004), também explica que, em áreas agrícolas, algumas práticas de manejo da terra podem causar poluição difusa das águas subterrâneas, com altas taxas de lixiviação de nitratos, fosfatos e outros íons móveis e persistentes.

Resíduos sólidos, dispostos em lixões e aterros controlados podem ter seus volumes de lixiviados estimados com certa segurança, porém, em muitos casos, não há informação confiável sobre a composição dos resíduos.

De um modo geral, é necessário prestar especial atenção aos poluentes que apresentam maior ameaça à saúde pública. Dentre os constituintes inorgânicos, os nitratos são os de ocorrência mais generalizada e problemática, devido a sua alta mobilidade e estabilidade em sistemas anaeróbicos. Da mesma forma, a presença de coliformes fecais indica a potencial presença de outros microorganismos oriundos do intestino de animais de sangue quente, mais especificamente os patogênicos.

2.2.4 CARTIGRAFIA

Bovolato (2005) indica os mapas como sendo a melhor maneira de representar a vulnerabilidade de aquíferos. Uma vez definida a vulnerabilidade do aquífero, sugere-se que este índice seja representado em mapas, com a delimitação das distintas áreas. O exame conjunto, em mapa, das áreas mais vulneráveis em associação com fontes de poluição potencialmente perigosas, ressaltará áreas críticas que serão objeto de estudos minuciosos, com programas de monitoramento e medidas de proteção ou remediação.

Auge (2004) explica que é conveniente comparar os mapas de vulnerabilidade com outros de uso corrente, como mapas de fluxo, mapas de profundidade, mapas de qualidade da água, a fim de compreender melhor os primeiros. Os mapas de vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas, num nível de reconhecimento regional, constitui uma base técnica de planejamento para as ações governamentais de controle e proteção dos aquíferos, na medida em que identifica e representa a distribuição espacial de áreas potencialmente críticas.

2.2.5 MÉTODOS PARA QUANTIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS

Algumas das metodologias mais utilizadas para qualificação e mapeamento da vulnerabilidade encontram-se detalhadas a seguir.

2.2.5.1 MÉTODO DRASTIC

O método DRASTIC, desenvolvido por Aller *et. al.* (1987), fundamenta-se num conjunto de procedimentos que permitem integrar vários parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e da sua especificidade. É um método bastante difundido para avaliação qualitativa da vulnerabilidade e para o mapeamento da mesma.

O índice DRASTIC corresponde ao somatório ponderado de sete valores correspondentes aos seguintes parâmetros ou indicadores hidrogeológicos:

- Profundidade da zona não-saturada do solo (*Depth to the water table*);
- Recarga profunda de aquíferos (*Net recharge*);
- Material do aquífero (*Aquifer material*);
- Tipo de solo (*Soil type*);
- Topografia (*Topography*);
- Impacto da zona não-saturada (*Impact of the unsaturated zone*);
- Condutividade hidráulica (*Hydraulic Conductivity*)

O nome DRASTIC resulta da junção das letras sublinhas dos parâmetros, em inglês.

Cada um dos sete parâmetros DRASTIC foi dividido em escalas que condicionam o potencial de poluição. Para a aplicação do método, definem-se algumas etapas, sintetizadas em seguida.

2.2.5.1.1 Profundidade

A profundidade do topo do aquífero indica a espessura de material que um poluente tem que atravessar para atingir o aquífero. Na Tabela 1, são indicados os índices para cada profundidade.

Tabela 1 – Intervalos de profundidade do topo do aquífero e respectivos índices.

D – Profundidade do Topo do Aquífero (m).	**Índice**
< 1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
> 30,5	1

Fonte: Correia (2006)

2.2.5.1.2 Recarga do aquífero

A recarga do aquífero condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para processos de dispersão e diluição na zona vadosa e também na zona saturada. Quanto maior a recarga, maior será o potencial à poluição das águas subterrâneas. No entanto, uma grande vazão de recarga favorece a diluição das substancias poluentes (Correia, 2006). A Tabela 2 indica a importância relativa deste índice.

Tabela 2 – Intervalos de recarga e respectivos índices

R–Recarga do Aquífero (mm/ano).	Índice
< 51	1
51 - 102	3
102 – 178	6
178 – 254	8
> 254	9

Fonte: Correia (2006)

2.2.5.1.3 Material do aquífero

O material do aquífero condiciona o fluxo de água subterrânea, que a par da condutividade hidráulica, determina o tempo disponível para a ocorrência dos processos de atenuação dos poluentes (Correia, 2006). A Tabela 3 indica os índices para cada tipo de material do aquífero.

Tabela 3 – Tipos de materiais do aquífero

A – Material do Aquífero	Índice
Xistos argilosos, argilito	1 -3 (2)
Rocha metamórfica / ígnea	2 – 5 (3)
Rocha Metamórfica / ígnea alterada	3- 5 (4)
Arenito, calcário e argilito estratificados	5 – 9 (6)
Arenito maciço	4 – 9 (6)
Calcário maciço	4 – 9 (6)
Areia	4 – 9 (8)
Basalto	2 – 10 (9)
Calcário carsificado	9 – 10 (10)

( ) índice típico a atribuir.

Fonte: Correia (2006).

2.2.5.1.4 Tipo de solo

O parâmetro (S), tipo de solo, refere-se ao material da zona alterada da superfície terrestre, com a espessura normalmente inferior a 2 m. O tipo de solo tem significado importante na qualidade da recarga e, sobretudo, no seu potencial atenuador da poluição. A Tabela 4 indica os índices para cada tipo de solo.

Tabela 4 – Tipos de Solo e respectivos índices

S – tipo de Solo	**Índice**
Fino ou ausente	10
Balastro	10
Areia	9
Turfa	8
Argila agregada e/ou expansível	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco Siltoso	4
Franco Argiloso	3
"*Nuck*" (solo predominantemente orgânico)	2
Argila não agregada e não expansível	1

Fonte: Correia (2006)

2.2.5.1.5 Topografia

O declive do terreno condiciona a probabilidade do poluente escoar superficialmente ou de permanecer na superfície durante um tempo suficiente para infiltrar. A Tabela 5 mostra os índices, para cada declividade em %.

Tabela 5 – Classes de declive e respectivo índice

T – Topografia (declividade em %)	Índice
<2	10
2 – 6	9
6 - 12	5
12 – 18	3
> 18	1

Fonte: Correia (2006)

2.2.5.1.6 Influência da zona vadosa

O tipo de material da zona vadosa (zona não saturada, onde há livre escoamento de água) condiciona o tempo de contato com o poluente, permitindo a ocorrência de diversos processos: biodegradação, neutralização, adsorção, filtração mecânica, reação química, volatização e dispersão. A porosidade nesta zona é particularmente importante, pois facilita a percolação vertical do poluente até o aquífero. A Tabela 6 mostra os índices para cada material da zona vadosa.

Tabela 6 – Materiais da zona vadosa com respectivo índice

I – Influência da Zona Vadosa	Índice
Camada confinante	1
Argila – Silte	2 -6 (3)
Xistos argiloso, argilito	2 – 5 (3)
Calcário	2 – 7 (6)
Arenito	4 -8 (6)
Arenito, calcáro e argilito estratificados	4 -8 (6)
Areia e basalto com percentagem significativa de silte e argila	4 -8 (6)
Rocha metamórfica / Ígnea	2 – 8 (4)
Areia e balastro	6 – 9 (8)
Basalto	2 – 10 (9)
Calcário carsificado	8 -10 (10)

Fonte: Correia (2006)

Cada material tem um intervalo de valores, apresentando, entre parênteses, o índice típico a atribuir. A escolha do índice a atribuir deve basear-se em informações específicas sobre o material da zona vadosa. Se esta informação não existir, deve-se utilizar o índice típico.

2.2.5.1.7 Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica depende da quantidade e conexão dos espaços vazios dentro do aquífero, que podem ser poros, fraturas, cavidades ou planos de estratificação. Este parâmetro controla o fluxo de água subterrânea, estando diretamente vinculado com a velocidade de percolação. Os índices, para cada condutividade hidráulica, são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Intervalos de valores de condutividade hidráulica e respectivos índices

C – Condutividade Hidráulica do Aquífero (m/d)	**Índice**
< 4,1	1
4,1 – 12,2	2
12,2 – 28,5	4
28,5 – 40,7	6
40,7 – 81,5	8
> 81,5	10

Fonte: Correia (2006)

2.2.5.1.8 Atribuição do peso relativo

O índice local é calculado multiplicando o valor atribuído ao parâmetro pelo seu peso relativo; cada parâmetro tem um peso pré-determinado que reflete a sua importância relativa na quantificação da vulnerabilidade; os parâmetros mais importantes têm peso 5, os menos importantes, peso 1. Estão disponíveis duas gamas de pesos relativos ou fatores de ponderação: uma gama para aplicação geral (vulnerabilidade intrínseca) e outra específica para pesticidas (ver Tabela 8).

Tabela 8 - Peso multiplicador para cada parâmetro Métodos

Parâmetro	DRASTIC normal	DRASTIC pesticidas
Profundidade da zona não-saturada do solo	5	5
Recarga profunda de aquíferos	4	4
Material do aquífero	3	3
Tipo de solo	2	5
Topografia	1	3
Impacto da zona não-saturada	5	4
Condutividade hidráulica	3	2

Fonte: Lobo Ferreira e Oliveira (2003)

2.2.5.1.9 Índice final

Por último, adicionam-se os sete produtos parciais obtendo-se o valor do índice final DRASTIC (Tabela 9). O valor mínimo possível é 23 e o valor máximo é 226; segundo Auge (2004), valores mais comuns situam-se, geralmente, entre 50 e 200.

Tabela 9 – Índice final, Método DRASTIC.

Índice DRASTIC	Vulnerabilidade
> 199	Muito Alta
160 – 199	Alta
120 – 159	Moderada
<120	Baixa

Fonte: Lobo Ferreira e Oliveira (2003)

Quando os dados são escassos, incertos ou mal distribuídos no espaço, a aplicação do método DRASTIC torna-se imprecisa. Aliás, a grande quantidade de parâmetros contribui para a dificuldade de aplicação prática do método.

2.2.5.2 MÉTODO GOD (GROUNDWATER, OVERAL, DEPTH)

Os componentes da vulnerabilidade do aquífero, muitas vezes, não são diretamente mensuráveis. Esses fatores geralmente não estão disponíveis e nem são facilmente estimados. Desse modo, quando se deseja desenvolver uma avaliação do risco de poluição das águas subterrâneas, tornam-se inevitáveis a redução e a simplificação da lista de parâmetros a serem estimados.

A metodologia GOD, desenvolvido por Foster e Hirata (1988), faz uso de três parâmetros para a avaliação da vulnerabilidade de aquíferos (ver Tabela 10).

Tabela 10 – Parâmetros para Avaliação da Vulnerabilidade pela Metodologia GOD

Parâmetro	Descrição	Índice
G (Groundwater)	Forma que se apresenta a água subterrânea (surgente, confinado, semiconfinado, ausência de aquífero).	0,0 a 1,0
O (Overal)	Caracterização global do aquífero quanto ao grau de consolidação e natureza litológica.	0,4 a 1,0
D (Depth)	Profundidade até o nível freático.	0,6 a 1,0

Fonte: Foster e Hirata (1988)

O índice final integrado de vulnerabilidade de aquíferos GOD é o produto dos índices obtidos para cada um dos parâmetros, variando de 0,0 (desprezível) até 1,0 (extrema).

A Figura 5 ilustra as diretrizes para a obtenção do valor numérico de cada parâmetro.

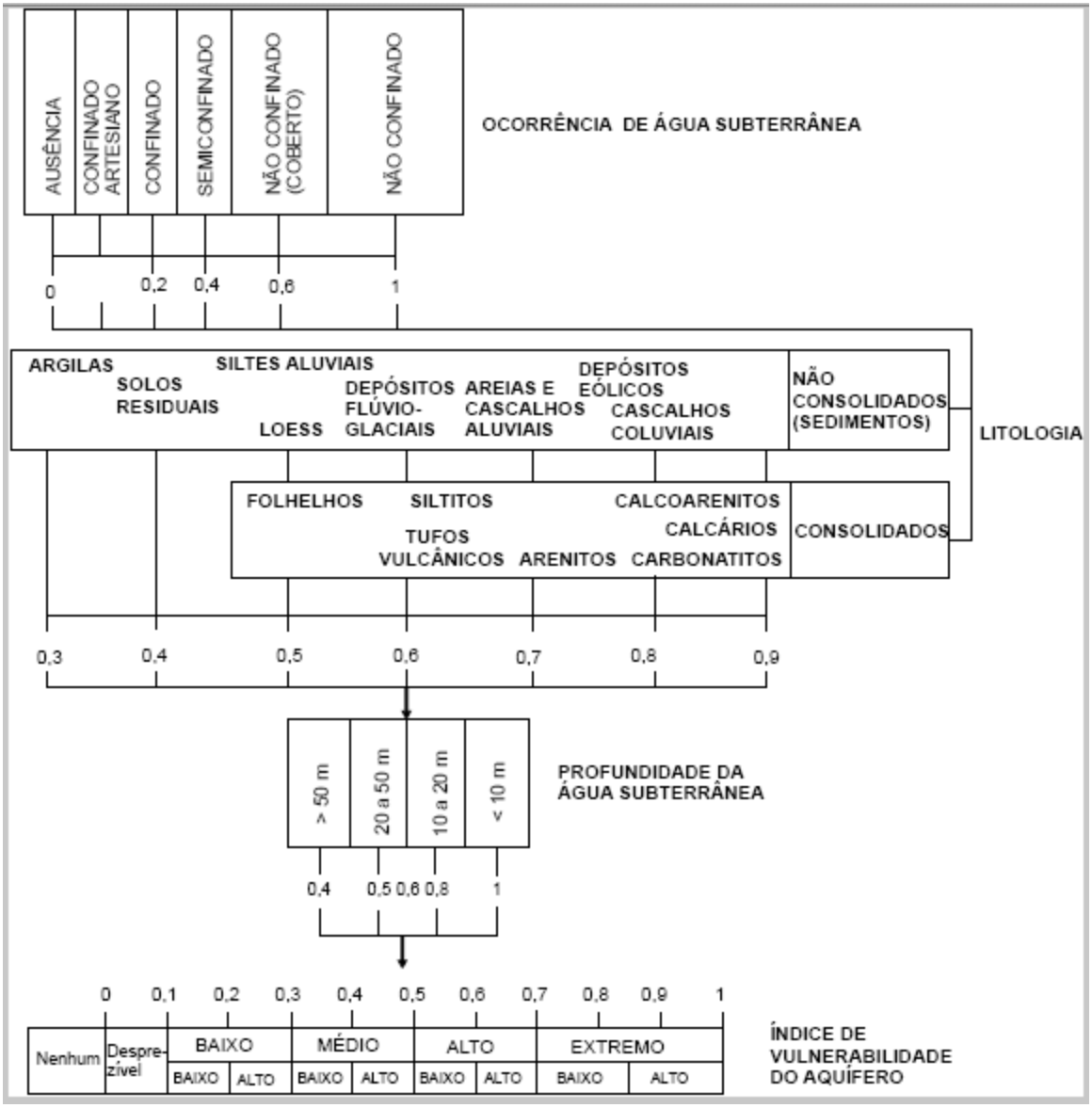


Figura 5 - Diagrama explicativo para a Metodologia GOD.

Fonte: Bovolato (2005).

Após a pontuação das três etapas esquematizadas pela Figura 5, é feito o produto dos valores, obtendo-se a(s) classe(s) de vulnerabilidade do aquífero. Tais classes são atribuídas de acordo com os intervalos de significância representados na Tabela 11.

Tabela 11 - Classes de significância de vulnerabilidade, Método GOD.

Intervalo	Classe	Característica
0 – 0,1	Insignificante	Desconsidera a camadas confinantes com fluxos verticais descendentes não significativos.
0,1 – 0 ,3	Baixo	Vulnerável a poluidorass conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançado.
0,3 – 0,5	Médio	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado.
0,5 – 0,7	Alto	Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles pouco móveis e pouco persistentes.
0,7 – 1,0	Extremo	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de poluição.

Fonte: Barboza et. al (2007)

2.2.5.3 MÉTODO AVI

Segundo Lobo Ferreira e Oliveira (2003), o método do índice AVI (Índice de Vulnerabilidade do Aquífero) foi desenvolvido pelo *National Hydrology Research Institute* (NHRI), no Canadá. O método AVI baseia-se em dois parâmetros físicos:

- d_i – espessura de cada camada sedimentar acima da zona saturada mais próxima da superfície (m);
- K_i – condutividade hidráulica estimada de cada uma dessas camadas (m/s).

Baseado nestes parâmetros, calcula-se a resistência hidráulica (C), de acordo com a Equação 1.

$$C = \sum (di / Ki) \qquad (1)$$

A relação entre a vulnerabilidade e C é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 - Classes de vulnerabilidade do índice AVI.

Resistência hidráulica (C) (anos)	**Vulnerabilidade**
0 - 10	Extremamente Alta
10-100	Alta
100 - 1000	Moderada
1000-10000	Baixa
> 10000	Extremamente Baixa

Fonte: Lobo Ferreira e Oliveira (2003)

2.2.5.4 MÉTODO SINTACS

O método SINTACS, desenvolvido por Civita *et. al*. (1990), baseou-se no método DRASTIC e utiliza os mesmos parâmetros. Ele foi adequado para as características hidrogeológicas da Itália e ao requerimento de um mapeamento de maior detalhe. Nesse método, os parâmetros são:

- S – (*Soggiacenza*) - Profundidade do topo do aquífero;
- I – (*Infiltrazione*) – Recarga;
- N – (*non saturo*) - impacto da zona vadosa;
- T – (*Tipologia della copertura*) – Tipo de cobertura do solo;
- A – (*Acquifero*) - Litologia do aquífero;
- C – (*Conducibilità*) - Condutividade hidráulica do aquífero;
- S – (*Superfície topográfica*) – Declive.

O SINTACS atribui a cada parâmetro um índice de 1 a 10. O resultado final é um cálculo do índice de vulnerabilidade que resulta do somatório dos sete índices, cada um, multiplicado por um peso respectivo, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Peso relativo multiplicador, Método SINTACS.

Parâmetro	Peso relativo
S - Profundidade do topo do aquífero	22
I - Recarga	8
N - Impacto da zona vadosa	12
T - Tipo de cobertura do solo	9,8
A - Litologia do aquífero	17,7
C - Condutividade hidráulica do aquífero	18,6
S – Declividade	11,9

Fonte: Lobo Ferreira e Oliveira (2003)

O método SINTACS apresenta uma estrutura complexa, tanto para a entrada quanto para a saída de dados. Sua operação é realizada por um programa computacional desenvolvido especialmente para tal fim. Às variáveis acima mencionadas pode-se adicionar a incidência de uso dos solos e das águas superficiais (Auge, 2004).

A relação entre a classe de vulnerabilidade e o índice SINTACS é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 - Classes de vulnerabilidade do índice SINTACS

ÍNDICE SINTACS	Vulnerabilidade
I > 210	Muito Alta
186 < I < 210	Alta
140 < I < 186	Moderadamente Alta
105 < I < 140	Média
80 < I < 105	Baixa
I < 80	Muito Baixa

Fonte: Lobo Ferreira e Oliveira (2003)

Assim como no método DRASTIC, a necessidade de muitos parâmetros dificulta a aplicação do método SINTACS, salvo em casos onde há recursos financeiros para instalar todo o aparato para medida dessas variáveis.

2.2.5.5 Índice SI

O Índice de Susceptibilidade (SI) foi desenvolvido com o propósito de caracterizar a vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição agrícola. Baseia-se no trabalho de Francés *et al.* (2001).

O SI é calculado a partir da soma ponderada de cinco parâmetros:

- D – profundidade ao topo do aqüífero;
- R – recarga anual;
- A – litologia do aqüífero;
- T – topografia;
- LU – ocupação do solo.

A cada parâmetro é atribuído um índice que é multiplicado por um peso. O índice varia entre 0 e 100. A Tabela 15 apresenta a relação entre o índice e a classe de vulnerabilidade

Tabela 15 - Classes de vulnerabilidade do índice SI

Índice SI	**Vulnerabilidade**
85-100	Muito Alta
65-85	Alta
45-65	Média
0-45	Baixa

Fonte: Lobo Ferreira e Oliveira (2003)

2.2.5.6 ÍNDICE EKV

Auge (2004) considera que a vulnerabilidade é um conceito qualitativo que, em geral, refere-se ao grau de proteção natural de um aquífero frente à poluição. É conhecida também como proteção ou defesa natural.

Auge (2004) desenvolveu uma classificação para aquíferos livres, baseada na profundidade da superfície freática (E) e na condutividade vertical da zona não-saturada (Kv). Para ambos os parâmetros, os índices variam de 1 (menos vulnerável) a 5 (mais vulnerável). Para o índice "E", é indicada a Tabela 16.

Tabela 16 - Intervalos de profundidade da superfície freática e respectivos índices

	Espessura da zona não saturada (E)				
Espessura (m)	> 30	de 10 a 30	de 5 a 10	de 2 a 5	< 2
Índice	1	2	3	4	5

Fonte: Auge (2004)

Para a condutividade vertical da zona não saturada (K_v) é indicada a Tabela 17.

Tabela 17 - Intervalos condutividade hidráulica vertical e respectivos índices

	Condutividade vertical da zona não saturada (Kv)				
m/dia	$< 1{,}10^{-3}$	$>1{,}10^{-3}$ a 0,01	>0,01 a 1	>1 a 50	>50 a 500
Índice	1	2	3	4	5

Fonte: Auge (2004)

Nesse caso, Auge (2004) considera:

- 5 – material com condutividade vertical (Kv) de 50 a 500 m/dia, está representado por areia media e grossa, saibro arenoso e saibro;
- 4 – Kv de 1 a 50 m/d, por areia fina a limosa, areia fina e areia media a grossa;
- 3 – Kv de 0,01 a 1m/d, por limo e limo arenoso;
- 2 – Kv de 0,001 a 0,1 m/d, por limo e limo argiloso;
- Kv < de 0,001 m/d, por argila e argila limosa.

O resultado (E+Kv) é então classificado como de acordo com a Tabela 18.

Tabela 18 - Classes de Vulnerabilidade Índice EKv.

Classe	Vulnerabilidade
1	Muito baixa
2 – 4	Baixa
5 – 7	Média
8 - 10	Alta

Fonte: Auge (2004).

2.2.5.7 CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE

Segundo Auge (2004), a seleção do método para avaliar a vulnerabilidade da água subterrânea depende de vários fatores, dentre eles:

- Conhecimento e difusão da metodologia: existem países e regiões nos quais alguns métodos são mais difundidos. O método mais utilizado nos EUA é o DRASTIC. Na América Latina, utiliza-se o DRASTIC, porém, de forma simultânea, é utilizado o método GOD. Na Espanha e Inglaterra, o método GOD também é bastante utilizado. No restante da EUROPA é comum o uso do método SINTACS;

- Disponibilidade de informações: cada método exige uma quantidade específica de parâmetros. O DRASTIC e o SINTACS exigem sete parâmetros. O GOD, apenas três e o EKv, somente dois. Nesse sentido, a aplicação dos métodos depende da facilidade e da disponibilidade desses parâmetros. À medida que se reduz a quantidade de parâmetros utilizados, diminui-se também a precisão da avaliação. Por outro lado, a avaliação com muitos parâmetros exige instrumentação adequada, uma atribuição criteriosa dos pesos e monitoramento mais freqüente, fatores que inevitavelmente aumentam o custo dos estudos;

- Validação dos resultados: a representatividade dos estudos de vulnerabilidade pode abranger casos onde já existe deterioração da água subterrânea. Nestes casos, a vulnerabilidade intrínseca está associada à carga poluidora para se obter um mapa de risco. Portanto, para validar um resultado, são aplicadas diferentes metodologias em regiões afetadas a fim de verificar qual delas é a mais adequada com o objetivo de prevenir a poluição. A maior ou menor representatividade de um método é muito difícil de estabelecer devido, entre outras coisas, à baixa velocidade com que um poluente atinge o meio subterrâneo.

CAPÍTULO 3
RECORTE ESPACIAL DA PESQUISA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 LOCALIZAÇÃO

O município de Araguari está localizado na região do Triângulo Mineiro, a 600 km de Belo Horizonte, 380 km de Brasília e 610 km de São Paulo. O município possui uma área total de 2.731 km², IBGE (2007), dos quais 54 km² são ocupados pelo perímetro urbano, estando localizado entre as coordenadas geográficas de referência de 18° 38'S e 18° 44'S, e 48° 11'W e 47° 15'W (ver localização na Figura 6). O município tem como limites, os municípios de Cascalho Rico, Tupaciguara, Uberlândia, Indianópolis e Estrela do Sul.

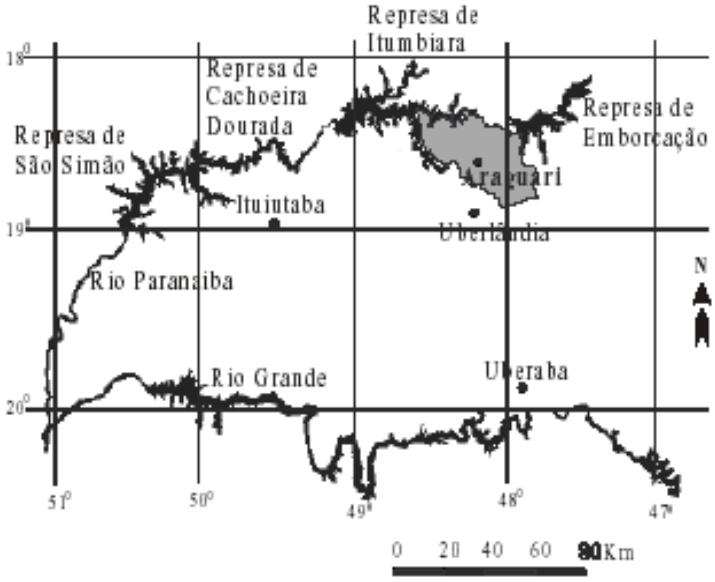


Figura 6 - Mapa de situação do Triângulo Mineiro com destaque para a localização do município de Araguari em Minas Gerais.

Fonte: Oliveira e Campos (2004).

O município localiza-se no limite norte-nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, entre os rios Paranaíba e Araguari, conforme ilustra a Figura 7.

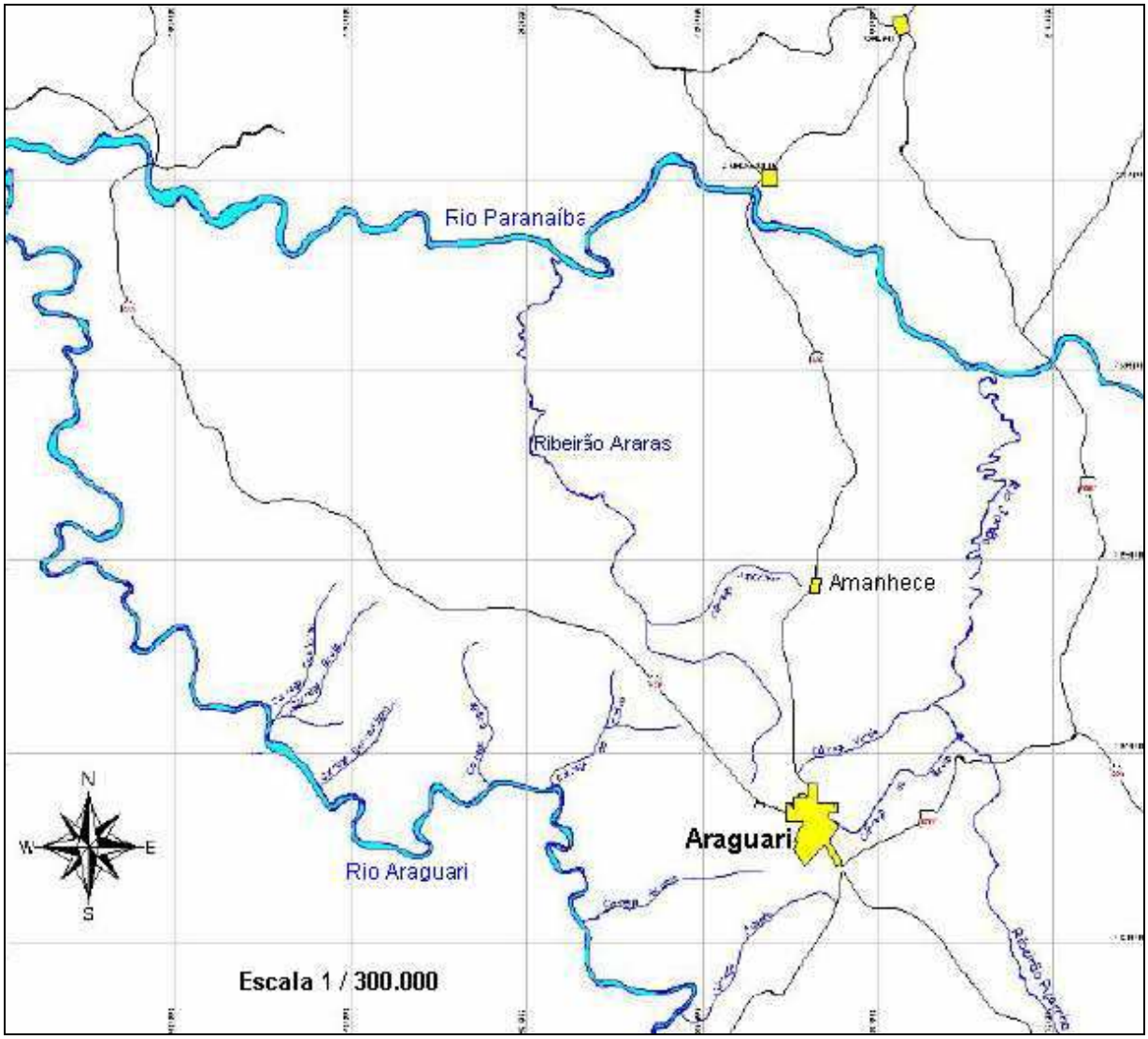


Figura 7 – Hidrografia do município e localização da cidade de Araguari.
Fonte: Velasquez (2004).

Apesar da inserção geográfica desse município, na confluência e no interflúvio destas duas unidades hidrográficas, (rios Araguari e Paranaíba) (Figura 7), o aproveitamento desses recursos torna-se extremamente oneroso. Isso se deve à grande diferença de elevação (cerca de 300 m) entre tais rios e as áreas de maior demanda do município, onde se concentra 91% da população e as atividades agrícolas de maior porte, (42% do município). Além disto, seria necessária a construção de uma estação de tratamento de

água convencional e, na captação, as bombas teriam que ter grande potência para elevar a água até a cidade, segundo destaca Velasquez (2004). Por outro lado, a água subterrânea, presente no aquífero Bauru, pode ser encontrada a baixas profundidades, fator que direcionou a utilização desse recurso para o abastecimento público.

3.1.2 POPULAÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2007), a cidade de Araguari apresenta uma população urbana de aproximadamente 106.000 habitantes, A previsão de crescimento populacional, para um horizonte de 20 anos é de 120.600 habitantes, de acordo com a projeção que considera a taxa de crescimento verificada no período de 1996-2000.

Segundo a Fundação João Pinheiro, FJP (2007), o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da cidade de Araguari, no período de 1970 a 1991, foi de 0,814, o que classifica a cidade na categoria de alto nível de desenvolvimento urbano.

3.1.3 CLIMA

Segundo a Superintendência de Água e Esgoto de Araguari, SAE Araguari (2007), o clima da região é caracterizado pelo predomínio de temperaturas amenas durante todo o ano, com média mensal sempre inferior a 22ºC. As médias mensais mínimas no inverno são da ordem de 12,2ºC, e no verão apresenta temperaturas médias mais elevadas de 23,4ºC. A precipitação média anual é da ordem de 1.589 mm.

3.1.4 RELEVO

Segundo Velasquez (2004), o relevo do município de Araguari, correspondente à bacia sedimentar do Paraná, é caracterizado por duas feições bem distintas decorrentes das variações litológicas:

- Uma superfície superior, acima de 900 m, aplainada, homogênea e contínua, estabelecida sobre os sedimentos arenosos do Grupo Bauru; as principais drenagens instaladas nessa superfície e que drenam para o rio Paranaíba são os ribeirões Araras, o Amanhece, e o Piçarrão;

- Uma segunda feição é caracterizada por um relevo estruturado em degraus, de acordo com o número de derrames basálticos. É nessa morfo-estrutura que ocorrem as maiores concentrações das descargas subterrâneas, com várias nascentes surgindo no contato entre os sedimentos de topo e o basalto.

Os contatos no topo e na base dos basaltos correspondem às áreas de descarga que formam as principais nascentes de topo, entre as cotas 880m e 900m, e as nascentes formadas na base dos derrames basálticos, entre as cotas 750m e 700m (Velásquez, 2004).

3.1.5 ATIVIDADES ECONÔMICAS

No setor produtivo, destacam-se o agropecuário (extração vegetal e pesca) e o industrial. A cafeicultura irrigada é a principal atividade agrícola, seguida pela sojicultura e o milho; enquanto na pecuária o rebanho bovino é o mais importante, com 136 mil cabeças. A indústria alimentícia constitui a principal atividade do setor industrial (IBGE, 2007).

3.1.6 CAPTAÇÃO DE ÁGUA E ABASTECIMENTO PÚBLICO

A água de Araguari é captada nos lençóis subterrâneos por intermédio de poços tubulares. Na maioria dos poços, a água não é injetada diretamente na rede de

distribuição, sendo conduzida, através de tubulações, até uma caixa de areia e, em seguida, aos reservatórios. A cidade conta com 114 poços, distribuídos na zona urbana, em baterias ou isoladamente. Destes, 66 estão localizados em 9 baterias (áreas com poços concentrados) e 48 são isolados (localizados fora dessas baterias). A vazão média de cada poço é de 20 m^3/h e a SAE opera diariamente com 84 poços (SAE Araguari, 2008).

O Sistema Aquífero Bauru é o de maior potencial em fornecimento de água, concentrando mais de 90% dos poços responsáveis pelo abastecimento de água na região (Oliveira e Campos, 2004). No perímetro urbano de Araguari, situam-se os poços que exploram água para o abastecimento público da população.

O abastecimento público de água da população da cidade de Araguari é feito exclusivamente por água subterrânea, mediante a exploração do aquífero "livre" (a superfície que limita a zona saturada do aquífero coincide com a superfície do lençol freático) do Sistema Aquífero Bauru. A espessura da camada saturada desse sistema é variável, podendo chegar a 20 m. Em termos regionais, a superfície freática está entre as cotas de 880 e 900 m. Considerando que a zona urbana da cidade apresenta cota altimétrica em torno de 935 m, é possível perceber que o manancial subterrâneo responsável pelo abastecimento de água não apresenta profundidades consideráveis, fato que potencialmente aumenta sua vulnerabilidade à poluição (Velásquez, 2004).

Araguari, segundo Borges (2007), terá disponibilidade para captação de água subterrânea por mais algumas décadas, isso se não houver um aumento excessivo da exploração de água do aquífero. De fato, o monitoramento da disponibilidade dos recursos hídricos e da qualidade, sejam eles superficiais ou subterrâneos, não deve ser visto como encargo, mas como um subsídio indispensável para o planejamento de obras hidráulicas em geral.

Atualmente a SAE enfrenta dois problemas relacionados à qualidade da água para abastecimento. O primeiro é a presença de areia na água, comprometendo a qualidade da água, a eficiência e a durabilidade das bombas de sucção, e o segundo é a necessidade de correção do pH. Apesar disto, o tratamento da água resume-se apenas na desinfecção por cloro, realizado por bombas dosadoras, segundo a SAE Araguari

(2007). Apenas os poços localizados nas baterias e alguns poços solteiros (isolados) bombeiam a água para uma caixa de areia. Apesar disto, pouca manutenção é dada nessas caixas, o que as tornam ineficientes como parte do processo de tratamento de clarificação da água. Nesse sentido, os reservatórios acabam por atuarem também como tanques de sedimentação de areia. A correção do pH da água não é realizada.

3.1.7 DEMANDA DE ÁGUA

O desenvolvimento sócio-econômico de Araguari é extremamente dependente da água subterrânea. Além do abastecimento público, ela é amplamente utilizada na irrigação do café, soja, milho e trigo, além do setor industrial.

Segundo Velasquez (2004), cerca de 91% da água consumida na bacia do rio Araguari é demandada pelos usos humanos (abastecimento público e doméstico) e irrigação, cujo comportamento pode ser extrapolado para o município de Araguari.

3.2 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DA ÁREA

Velasquez (2004) individualiza três grandes sistemas hidrogeológicos no município de Araguari, com base nas tipologias das rochas que ocorrem no município:

- *Sistema Aquífero Cristalino,* de natureza fissural, associado às unidades litológicas pré-cambrianas do embasamento cristalino, constituído por granitos, gnaisses, migmatitos, granulitos, quartzitos e xistos;
- *Sistema Aquífero Serra Geral,* de natureza predominantemente fissural, composto pelos derrames basálticos e pelos arenitos intertrapeanos;
- *Sistema Aquífero Bauru*, de natureza intergranular, associado aos sedimentos arenosos do Grupo Bauru e às coberturas Terciárias.

Os sistemas hidrogeológicos do tipo livre encontrados no município, da base para o topo, são: Sistema aquífero cristalino, Serra Geral – Botucatu e Bauru, este último subjacente a cerca de 42 % da área municipal. A espessura média saturada explotada do

sistema Serra Geral é de 50m e a do Sistema Bauru é de aproximadamente 40m (Velásquez, 2004).

O Aquífero mais utilizado é o Bauru, dada a facilidade de perfuração e à boa produção. Entretanto, alguns poços explotam água dos dois sistemas, Serra Geral e Bauru (poços mistos). Estes possuem maior vazão em relação aos poços penetrantes apenas no Bauru. Os poços do Sistema Bauru produzem uma vazão média de 21,8 m^3/h e os poços mistos, 23,8 m^3/h. Em Araguari, o sistema Serra Geral é de baixa produtividade, entre 5 m^3/h e 10 m^3/h (SAE Araguari, 2007).

O Sistema Aquífero Bauru compreende os depósitos não confinados de água subterrânea, associados às rochas da Formação Marília e suas coberturas. Os sedimentos estão sobrepostos aos basaltos da Formação Serra Geral, acima da cota 880 m e recobrem toda a área de chapada.

Apesar do caráter intergranular da porosidade, o Sistema Aquífero Bauru é heterogêneo. As fácies que o compõem são distintas quanto à granulometria, porosidade, condutividade hidráulica e litotipo. Essas variações espaciais levaram à divisão do Sistema Aquífero Bauru em dois subsistemas: Subsistema Bauru Superior e Subsistema Bauru Inferior, segundo Oliveira e Campos (2004).

- O Subsistema Bauru Superior engloba os latossolos que formam espessas coberturas pedogenéticas desenvolvidas *in situ*. Esses latossolos alcançam espessura máxima de 45 m, e compõem a porção superior deste subsistema. Na base dos latossolos, pode ocorrer uma camada de couraça laterítica, em diferentes graus de degradação (pode conter concreções ferruginosas), Oliveira e Campos (2004).

- O Subsistema Bauru Inferior é formado pelos sedimentos do membro Araguari. As fácies arenítica e conglomerática do membro Araguari estão assentadas discordantemente sobre os basaltos da Formação Serra Geral e compõem a base do Sistema Aquífero Bauru. A camada deste subsistema é variável, podendo chegar a 20 m (Oliveira e Campos, 2004), situados entre as cotas de 880 e 900 m. O Aquífero Bauru Inferior é o principal aquífero da região. A maioria das nascentes que alimentam

as drenagens superficiais localiza-se na discordância entre os conglomerados e os basaltos.

A Figura 8, extraída de Oliveira e Campos (2004), ilustra a distribuição aproximada do aquífero Bauru na região.



Figura 8 - Perfil esquemático do Aquífero Bauru, na região de Araguari, MG.
Fonte: Oliveira e Campos (2004).

Velasquez (2004) indica os seguintes parâmetros hidrogeólogicos médios, levantados no Sistema Aquífero Bauru, listados na Tabela 19.

Tabela 19 - Parâmetros hidrogeólogicos do Aquífero Bauru.

Parâmetros hidrogeólogico	**Valor**
Espessura saturada	40 m
Condutividade hidráulica média	2,27 . 10 -³ cm/s
Transmissividade média	76,35 m²/dia
Vazões médias	21,8 m³/h
Capacidade específica média	0,9 m^3/m

Fonte: Velásquez (2004).

Oliveira e Campos (2004) indicam, na Tabela 20, os parâmetros hidrogeológicos médios, levantados no Sistema Aquífero Bauru na cidade de Araguari. Esses autores atrelam a disparidade entre os valores dos parâmetros às más condições de construção dos poços.

Tabela 20 - Parâmetros hidrogeológicos do Aquífero Bauru

Parâmetros hidrogeológico	**Valor**
Espessura saturada	33 m
Espessura da zona vadosa	7 a 36 m
Porosidade efetiva média	15%
Condutividade hidráulica	de 5 x 10^{-6} a 1,6 x 10^{-4} m/s - média de 3,1 x 10^{-5} m/s,
Transmissividade média	9,6 x 10-4 m^2/s
Vazões médias	19,5 m^3/h
Capacidade específica média	1,3 m^3/m

Fonte: Oliveira e Campos (2004).

No estudo realizado pelo Fundo das Universidades (2006), a recarga do Aquífero Bauru foi estimada para o período de 2004/2005. Segundo o método de balanço hídrico o valor foi de 744 mm/ano. Segundo o método de aplicação do traçador radioativo, este valor varia da ordem de 389 a 807 mm/ano.

Segundo Bertol (2007), as recargas anuais do aquífero Bauru, estimadas pela análise da curva do hidrograma, correspondente aos anos hidrológicos de 2003/2004, foram de 398 mm, para sub-bacia Córrego Amanhece, e 422 mm, para a sub-bacia Ribeirão das Araras. No ano hidrológico de 2004/2005, os valores foram de 515 mm, para a sub-bacia Córrego Amanhece, e 543 mm, para a sub-bacia Ribeirão das Araras. A recarga aqüífera anual estimada por meio da variação do nível da água, utilizando a média da somatória dos incrementos de nível de água, foi de 470 mm, correspondente ao período de mar/2005 a fev/2006.

Estima-se que as águas subterrâneas na região são bastante recentes, podendo ser classificadas como águas meteóricas, com tempos de renovação inferiores a 30 anos, (Fundo das Universidades, 2006).

Segundo o estudo, realizado pelo Fundo das Universidades (2006), a larga utilização do aquífero Bauru na região deve-se à:

- A cidade encontra-se presente em uma área de chapada, elevada cerca de 300 metros dos rios Araguari e Paranaíba. Este fato dificulta e onera o aproveitamento dos recursos hídricos superficiais para o abastecimento urbano;

- Grande potencial dos aquíferos Bauru e Serra Geral fraturado, proporcionado pela elevada taxa de infiltração pluviométrica, a qual é favorecida pelo relevo de chapada e pela textura do solo laterítico;

- Baixo custo dos poços perfurados no aquífero Bauru, com profundidade média de 55 m.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os procedimentos de monitoramento periódico do nível dinâmico da superfície freática do aquífero livre Bauru, na zona urbana de Araguari, MG. Descreve também todo o procedimento de ensaio de infiltração realizado em campo, tal como o tratamento dos dados coletados. O intuito principal do monitoramento de nível e dos ensaios de Infiltração foi o de levantar parâmetros para avaliação da vulnerabilidade à poluição do lençol.

Este capítulo também destaca os critérios e procedimentos de coleta e análises da qualidade da água do referido aquífero. Essa avaliação, realizada em 19 poços da cidade com periodicidade trimestral (10 poços por trimestre), teve como objetivo identificar uma possível poluição do lençol. Os parâmetros de qualidade da água avaliados foram DBO_5, Coliformes (totais e fecais) e Nitratos.

4.1 LEVANTAMENTO E SELEÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

A cidade de Araguari conta, atualmente, com 114 poços para o abastecimento público de água da sede do município. Estes são divididos em poços de baterias e poços isolados. Nesse contexto, convém comentar que as baterias consistem de áreas, utilizadas pelo serviço municipal de água e esgoto, para captação de água subterrânea. Dessa forma, as baterias normalmente apresentam poços concentrados em áreas relativamente pequenas. Do total de poços da cidade, 66 encontram-se em 9 baterias e 48 poços são isolados, injetando água diretamente na rede de distribuição. A vazão média de cada poço é de 20 m^3/h e a SAE opera diariamente com 84 poços, de acordo com a própria SAE Araguari (2008).

A definição e seleção dos poços que foram monitorados neste trabalho, (monitoramentos de nível e qualidade da água) levou em consideração os seguintes critérios:

- Distribuição espacial: poços bem distribuídos na área urbana, fato que contribui para uma melhor interpolação dos resultados no espaço urbano;
- Poços desativados ou poços em funcionamento com revestimento. No caso da medição em poços desativados, são considerados os níveis estáticos dos mesmos;
- Proximidades de regiões potenciais de poluição (para um futuro cruzamento de dados de vulnerabilidade com dados atuais da qualidade da água).

A Figura 9 ilustra a distribuição espacial dos poços monitorados.

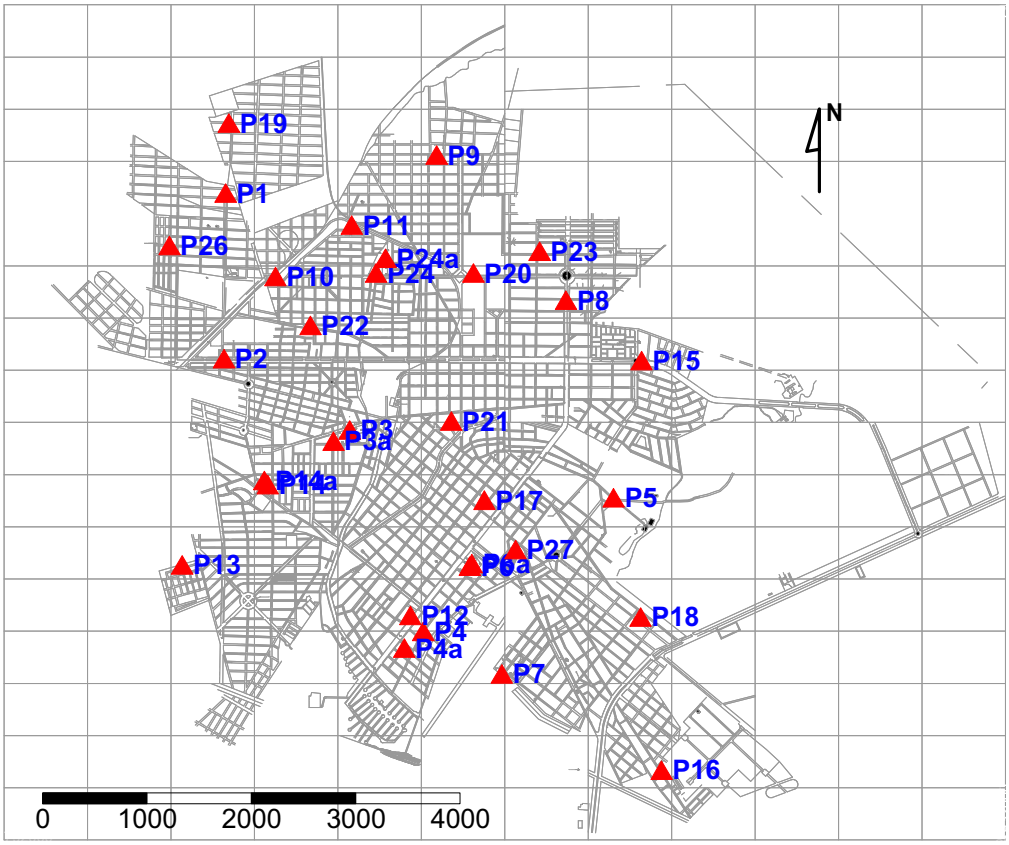


Figura 9 – Distribuição espacial dos poços de monitoramento.

Na Figura 9, os poços (P24 e P24a, P3 e P3a, P4 e P4a, P6 e P6a, P14 e P14a), estão localizados em uma mesma bateria. Dessa forma, nessas baterias, os poços encontram-se muito próximos.

A listagem de todos os poços utilizados no monitoramento encontra-se na Tabela 21.

Tabela 21 - Dados gerais dos poços utilizados para o monitoramento mensal

Poço/ localização	**Identificação**	**Profundidade (m)**	**Vazão Média (m^3/h)**	**Potência da Bomba (CV ou HP)**	**Situação**
Poço novo S. Sebastião	**P1**	76,00	-	-	Novo
Poço da Coronel Belchior	**P2**				Ativo
Bateria Fátima P1	**P3**				Parado
Bateria Fátima P15	**P3a**	60,00	12	4,5CV	Ativo
Poço Bat. São Benedito P1	**P4**				Parado
Poço Bat. São Benedito P5	**P4a**				Parado
Chácara Fernando	**P5**				Particular
Bateria Estadual P7	**P6**				Parado
Bateria Estadual P12	**P6a**	58,00	18	5HP	Ativo
Poço R. Goiás	**P7**				Parado
Poço Miranda	**P8**				Parado
Poço da Walter Santiago	**P9**	64,00	21	10/11CV	Ativo
Poço novo da Passarela	**P10**				Novo
Poço da R. 21	**P11**				Novo
Poço novo da Minas Gerais	**P12**	72,00			Novo
Poço Madri	**P13**	57,00	18	6CV	Ativo
Poço Chancia P1	**P14**	60,00	16	6HP	Ativo
Poço Chancia P4	**P14a**	60,00	16	6HP	Ativo
Poço da Theodoreto	**P15**	88,00	14	6CV	Ativo
Lagoa Seca	**P16**	76,00	15		Ativo
Praça Getúlio Vargas	**P17**	58,00	11	4,5CV	Ativo
Poço da José de Belém	**P18**	58,00	11	3,0HP	Ativo
Vieno	**P19**	64,00	12	4,5HP	Ativo
Poço da Exposição	**P20**	58,00	50	18CV	Ativo
Ginásio	**P21**				Particular
Araras	**P22**	62,00	40	12,5HP	Ativo
R. Tupaciguara	**P23**	58,00	17	3,0HP	Ativo
Bateria Independência P4	**P24**	63,00	18	6HP	Ativo
Bateria Independência P8	**P24a**	62,00	18	8HP	Ativo
Poço da Jaca P31	**P26**		15	6HP	Ativo
Praça Jardim Regina	**P27**		20	6HP	Ativo

4.2 AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA CIDADE DE ARAGUARI

O objetivo principal desta etapa da pesquisa consistiu em estudar a distribuição espacial dos elementos que compõem parte do espaço geográfico urbano do município de Araguari, MG.

4.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A elaboração de um trabalho relacionado com a área ambiental também pressupõe o conhecimento das características físicas e sociais do local de estudo, sendo importante a obtenção de informações de localização geográfica, informações econômicas, infra-estrutura, entre outras de grande relevância.

A pesquisa realizou a avaliação do uso e ocupação do solo somente na zona urbana da cidade de Araguari (delimitação espacial da pesquisa). Esse recorte espacial justifica-se, uma vez que os poços, que suprem o abastecimento público da cidade, localizam-se na zona urbana.

4.2.2 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

Para a elaboração da Base Cartográfica de uso e ocupação do solo da cidade de Araguari, foi utilizada uma imagem aérea IKONOS, do ano de 2004, fornecida pela SAE – Araguari.
O programa computacional utilizado foi o ArcGIS 9.0, desenvolvido pela empresa norte americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*). Esse programa oferece ferramentas de mapeamento, análise e gerenciamento de dados, utilizadas em todos os níveis da família ArcGIS. Especificadamente, foi utilizada a ferramenta ArcMAP, para a análise espacial do uso e ocupação do solo. Esse programa incorpora ferramentas de edição, cartografia avançada, administração de dados e análises espaciais sofisticadas.

4.2.3 PROCEDIMENTOS

O desenvolvimento do trabalho iniciou-se com o geo-referenciamento da imagem aérea do município de Araguari. De maneira geral, as coordenadas da imagem foram relacionadas com as coordenadas geográficas do mapa base (geo-referenciado), também fornecido pela SAE. Esse mapa apresenta a localização de todos os poços da cidade. Relacionaram-se pontos de controle, identificados de modo preciso na imagem e no mapa, para este procedimento. Pontos de controle foram considerados aqui, como locais comuns identificados no mapa de localização dos poços e na imagem aérea, por exemplo, a extremidade da pista do Aeroporto, esquina de uma bateria de poços, etc. Na seqüência, iniciou-se o processamento utilizando a ferramenta ArcMAP. Com o uso desse programa, delimitou-se o perímetro urbano, para a definição da área de estudo. Definiram-se, assim, as categorias a serem consideradas nesta pesquisa, as quais estão listadas na Tabela 22.

Tabela 22 – Categorias para avaliação do uso e ocupação do solo de Araguari.

Categoria	Cor
Áreas industriais	laranja
Áreas residenciais com rede de esgoto	azul
Áreas residenciais sem rede de esgoto	vermelho
Áreas agrícolas	roxo
Áreas verdes	verde
Cemitérios	amarelo

Muitas indústrias podem contribuir para a poluição das águas subterrâneas com metais pesados e compostos químicos orgânicos, entre outros. As elevadas concentrações de poluentes e algumas práticas de disposição inadequada de resíduos fazem com que atividades industriais sejam de grande preocupação ambiental. Nesse aspecto, a delimitação para áreas industriais foi considerada no estudo do uso e ocupação do solo do município.

Outro problema associado com a poluição do solo e consequentemente do lençol freático está associado aos sistemas de saneamento sem rede de esgoto. Essa situação pode

ocasionar a poluição do lençol por coliformes de origem fecal. Algumas regiões do município de Araguari ainda apresentam essa realidade, sendo alguns bairros periféricos ainda desprovidos de rede coletora de esgoto. Nesses locais, as residências fazem uso do sistema fossa-séptica, com disposição final do efluente no solo. Nesse sentido, foram delimitadas áreas residenciais sem rede de esgoto conectada às residências e também as áreas residenciais com rede de esgoto.

Os cemitérios normalmente geram cargas microbiológicas contaminantes em áreas restritas, podendo atingir o solo, caso não sejam tomadas medidas de controle. Em função disto, o Cemitério Municipal, único localizado na zona urbana de Araguari, foi identificado na avaliação da ocupação do solo do município.

Para a delimitação das áreas verdes foram consideradas: campos abertos, terrenos baldios, canteiros em avenidas, áreas arborizadas, bosques e áreas de preservação permanente.

As práticas agrícolas apresentam-se potencialmente poluidoras devido à aplicação intensiva e prolongada, em áreas extensas, de fertilizantes inorgânicos e agrotóxicos. Soma-se a isto a irrigação excessiva do solo, que contribui com o arraste e infiltração de nutrientes (especialmente nitratos), conforme destaca Silva (2003). Assim, a categoria "áreas agrícolas" também foi delimitada neste estudo.

A interpretação da imagem área IKONOS envolveu identificação dedutiva das áreas previamente estabelecidas, bem como o significado de uso e ocupação do solo desenvolvido através dos elementos mais significativos desta interpretação, que foram consideradas como: estrutura, forma e tonalidade dos componentes da imagem.

4.3 COORDENADAS GEO-REFERENCIADAS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

Nesta etapa, os poços selecionados foram identificados segundo sua localização geo-referenciada em sistema cartesiano (sistema UTM). O Datum usado foi o SAD 69 (*South American,* 1969). Para os poços que não constavam de localizações geo-referenciadas, estas foram identificadas no mapa geo-referenciado fornecido pela SAE, o qual fornece todos os poços de abastecimento da cidade de Araguari, conforme Tabela 23.

Tabela 23 – Coordenadas cartográficas da rede de monitoramento dos poços.

Poço/ localização	Identificação	Coordenada X	Coordenada Y
Poço novo S. Sebastião	**P1**	794136	7938184
Poço da Coronel Belchior	**P2**	794121	7936597
Bateria Fátima P1	**P3**	795326	7935917
Bateria Fátima P15	**P3a**	795170	7935809
Poço Bat. São Benedito P1	**P4**	796030	7933986
Poço Bat. São Benedito P5	**P4a**	795848	7933825
Chácara Fernando	**P5**	797856	7935265
Bateria Estadual P7	**P6**	796476	7934610
Bateria Estadual P12	**P6a**	796495	7934634
Poço R. Goiás	**P7**	796784	7933579
Poço Miranda	**P8**	797399	7937157
Poço da Walter Santiago	**P9**	796159	7938550
Poço novo da Passarela	**P10**	794614	7937386
Poço da R. 21	**P11**	795345	7937878
Poço novo da Minas Gerais	**P12**	795907	7934140
Poço Madri	**P13**	793720	7934624
Poço Chancia P1	**P14**	794541	7935391
Poço Chancia P4	**P14a**	794507	7935430
Poço da Theodoreto	**P15**	798123	7936579
Lagoa Seca	**P16**	798316	7932658
Praça Getúlio Vargas	**P17**	796618	7935243
Poço da José de Belém	**P18**	798114	7934125
Vieno	**P19**	794167	7938855
Poço da Exposição	**P20**	796511	7937419
Ginásio	**P21**	796299	7936000
Araras	**P22**	794950	7936916
R. Tupaciguara	**P23**	797146	7937628
Bateria Independência P4	**P24**	795578	7937418
Bateria Independência P8	**P24a**	795669	7937561
Poço da Jaca P31	**P26**	793598	7937682
Praça Jardim Regina	**P27**	796915	7934770

4.4 LEVANTAMENTO DAS COTAS DO TERRENO

As cotas da superfície do terreno, na região dos poços de monitoramento, foram tomadas com o auxílio do mapa de Curvas de Nível da cidade de Araguari. Este mapa, fornecido pela SAE, consta de curvas de nível espaçadas de 1,0 m, de toda a cidade de Araguari. A Tabela 24 apresenta as cotas do terreno na posição dos poços monitorados.

Tabela 24 – Levantamento de cotas da superfície do terreno na posição dos poços.

Poço/ localização	Identificação	Cota do terreno (m)
Poço novo S. Sebastião	**P1**	951
Poço da Coronel Belchior	**P2**	953
Bateria Fátima P1	**P3**	943
Bateria Fátima P15	**P3a**	944
Poço Bat. São Benedito P1	**P4**	941
Poço Bat. São Benedito P5	**P4a**	941
Chácara Fernando	**P5**	902
Bateria Estadual P7	**P6**	941
Bateria Estadual P12	**P6a**	941
Poço R. Goiás	**P7**	942
Poço Miranda	**P8**	944
Poço da Walter Santiago	**P9**	947
Poço novo da Passarela	**P10**	951
Poço da R. 21	**P11**	944
Poço novo da Minas Gerais	**P12**	940,9
Poço Madri	**P13**	941,5
Poço Chancia P1	**P14**	944,8
Poço Chancia P4	**P14a**	945,5
Poço da Theodoreto	**P15**	938,5
Lagoa Seca	**P16**	941
Praça Getúlio Vargas	**P17**	934,5
Poço da José de Belém	**P18**	932,5
Vieno	**P19**	948,5
Poço da Exposição	**P20**	946,8

Continuação da Tabela 24 - Levantamento de cotas da superfície do terreno na posição dos poços.

Ginásio	**P21**	908
Araras	**P22**	949,5
R. Tupaciguara	**P23**	945,2
Bateria Independência P4	**P24**	946,7
Bateria Independência P8	**P24a**	946,3
Poço da Jaca P31	**P26**	951
Praça Jardim Regina	**P27**	940,5

4.5 MONITORAMENTO DA SUPERFÍCIE FREÁTICA DO AQUÍFERO BAURU

A determinação da profundidade da superfície freática constitui um dos principais parâmetros para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à poluição. A relevância desse fator é ampliada nos aquíferos livres, os quais são desprovidos de uma camada impermeável superior. Com o objetivo de identificar a profundidade do lençol e de avaliar a susceptibilidade à poluição em função da sua profundidade, foi realizado o monitoramento, mensal, de nível da superfície freática em vários pontos da malha urbana da cidade de Araguari. Esse monitoramento foi realizado a partir dos poços da SAE-Araguari e por um poço particular (P5), sendo tais pontos previamente selecionados, de acordo com os critérios descritos no item 4.1.

A cota da superfície freática foi determinada a partir da subtração da cota do terreno com a profundidade do lençol, obtida nos pontos de monitoramento de nível, durante a etapa de campo.

Nos meses de maio, junho, julho e agosto de 2008, foram utilizados apenas 15 poços da rede de abastecimento (poços novos, desativados e parados). Em uma etapa posterior da pesquisa (levantamento e cadastramento da quantidade real dos poços da cidade), verificou-se que muitos destes eram dotados de revestimento. Assim, foi possível estender o levantamento de nível para um número maior de poços (31), o que garantiria um detalhamento mais preciso da profundidade do lençol, possibilitando inclusive a medição dos níveis dinâmicos de poços ativados. Este procedimento foi realizado nos meses de

setembro a dezembro de 2008 e nos meses de janeiro a abril de 2009, totalizando um ano de monitoramento. Os poços selecionados estão listados na Tabela 25.

Tabela 25 - Poços de monitoramento de nível

Nome do Poço	***Localização***
P1	Av. das Palmeiras; B: São Judas
P2	Av. Coronel Belchior de Godoy; B: Goiás
P3	Bateria Fátima P1
P3a	Bateria Fátima P15
P4	Bateria São Benedito P1
P4a	Bateria São Benedito P5
P5	Poço Particular - Chácara; R. Comendador Rick Markus
P6	Bateria do Estadual P7
P6a	Bateria do Estadual P12
P7	Rua Goiás; B: Aeroporto
P8	Av. Minas Gerais
P9	R. Walter Santiago; Jardim Panorama
P10	Alameda Goiás; B: Independencia
P11	Rua 21; B: Independência
P12	Av. Minas Gerais
P13	Av. Brasil; B: Brasília
P14	Bateria Chancia PC1
P14a	Bateria Chancia PC4
P15	Final da Av. Mato Grosso
P16	Rua Padre Nilo, Bairro Novo Horizonte – Lagoa Seca
P17	Praça Getúlio Vargas
P18	Rua José de Belém, Bairro Idelmiro
P19	Rua Benedito Teodoro – Vieno
P20	Av. Espírito Santo (Calimíro de Ávila)
P21	R. Achileu Nogueira
P22	Rua das Araras
P23	R. Tupaciguara
P24	Bateria Independência P4
P24a	Bateria Independência P8
P25	Rua Jornalista Líbano – Bairro Industrial
P26	Conj Mauá (Poço Jaca) - Poço do Meio P31
P27	Praça Jardim Regina

No procedimento para leitura dos níveis dos poços, foi utilizado um medidor automático JACIRI MNJ 250 m, ver Figura 10. Esse instrumento emite um sinal sonoro quando o sensor (localizado na ponta do cordão que o conduz ao fundo do poço) entra em contato com a superfície da água, acusando que o nível de água foi encontrado.



Figura 10 – Medidor de nível

Assim que o sinal era emitido, tomava-se a medida a partir do comprimento do cordão que conduz o sensor até o nível de água, ver Figura 11.



Figura 11 – Coleta da profundidade do lençol

Os dados eram anotados em uma planilha. Nesse procedimento, anotava-se também a hora da leitura e algumas observações importantes tais como: ocorrência de chuva no dia de leitura ou no dia anterior, se o poço já se encontrava inoperante ou se foi desligado para as medições. Nesse último caso, anotava-se o instante em que o poço foi desligado. As leituras eram realizadas, em um único dia, em todos os 31 poços.

4.6 INTERPOLAÇÕES ESPACIAIS, CONSTRUÇÃO DE MAPAS DA SUPERFÍCIE FREÁTICA E DE VETORES

A variável fundamental coletada em campo foi a profundidade do nível da água nos poços de monitoramento. As coordenadas dos poços (em sistema cartesiano) e as cotas da superfície do terreno foram levantadas em mapas específicos, fornecidos pela SAE e pela secretaria de Obras da cidade de Araguari. Com as três variáveis básicas, foi possível, calcular as cotas da superfície do lençol (*water table)*, na posição dos poços de monitoramento.

Com as cotas da superfície do lençol em cada um desses poços, realizaram-se interpolações numéricas para estimar a superfície freática (iso-linhas de nível do lençol) sob toda a zona urbana da cidade.

Os métodos de interpolação permitem estimar valores de uma variável em pontos onde esses valores não são previamente conhecidos. Nesse sentido, há uma grande variedade de procedimentos matemáticos. O método interpolador utilizado foi o método de Kriging.

4.6.1 MÉTODO DE KRIGING

O método de Kriging trata-se de um procedimento interpolador estocástico, baseado na taxa de alteração da variância dos pontos observados ao longo do espaço. Assim, os valores interpolados de uma variável, como por exemplo as cotas referentes aos níveis de água nos poços monitorados, podem ser estimados como:

$$\hat{z}\left(\vec{X}_o\right) = \sum_i a_i \cdot z\left(\vec{X}_i\right) \qquad (2)$$

Na Equação 2, $\hat{z}$ representa a variável interpolada na coordenada (x_o,y_o), a_i representam os pesos atribuídos a cada uma das amostras "*i*", as quais são previamente conhecidas nos poços de monitoramento (x_i ,y_i). No caso específico deste trabalho, a variável $\hat{z}$ constitui a cota piezométrica do aquífero. No método de Kriging, os pesos a_i variam de acordo com a proximidade entre o ponto a ser interpolado e o ponto monitorado, fator que estabelece uma correlação espacial entre as variáveis nesses pontos. Assim, a interpolação em pontos vizinhos aos poços tende a estimar valores de variáveis também próximos aos coletados. Para introduzir essa correlação espacial, o método de Kriging calcula os valores dos pesos com uso de uma função objetivo que minimiza a variância estimada, ou seja:

$$\sigma_i^2 = mín\left\{\text{var}\left[z\left(\vec{X}_o\right) - \hat{z}\left(\vec{X}_o\right)\right]\right\} \qquad (3)$$

A minimização da variância atua como um atributo importante deste método de interpolação. Isto ocorre porque os erros nas estimativas apresentam uma variância mínima.

4.6.2 CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE SUPERFÍCIE FREÁTICA E MAPAS DE FLUXO

Os mapas foram gerados a partir dos valores interpolados pelo modelo estatístico de Krigagem. O mapeamento também permitiu a construção de iso-linhas de profundidade da zona saturada, instrumento importante para visualização das áreas onde o nível do lençol está mais próximo do nível do terreno. Com esses mapas e, a partir do monitoramento mensal dos poços, foi possível estimar a variação sofrida pela superfície freática ao longo do intervalo de um ano.

Conhecendo-se a distribuição da superfície do lençol, foi possível estabelecer os caminhos preferenciais de escoamento subterrâneo. Destaca-se aqui que esses caminhos não seguem somente gradientes naturais, uma vez que o sistema estudado está perturbado pela operação de uma grande quantidade de poços tubulares. Esse procedimento é também importante para indicação dos caminhos preferenciais seguidos pelos poluentes transportados, pelo escoamento subterrâneo, via mecanismo de advecção.

Foram então elaborados mapas que indicam as linhas de fluxo do aquífero sob a zona urbana da cidade, de acordo com os dados referentes ao monitoramento de nível. Esses mapeamentos foram realizados a partir da interpolação de informações espaciais do nível do lençol.

4.7 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SUPERFICIAL

A condutividade hidráulica (K) aqui pesquisada, relaciona-se com o manto superficial de solo, medida a aproximadamente 0,6 m abaixo da superfície do terreno. Nesse aspecto, tal parâmetro atua como um indicador da facilidade de um poluente, lançado superficialmente (vazamentos em redes de esgoto, infiltração em sumidouros, fertilizantes, entre outros), percolar verticalmente para regiões mais profundas.

Os ensaios de infiltração em furos de sondagens consistem na medida da vazão absorvida em função da aplicação de uma carga hidráulica. As cargas são diferenciais de pressão, induzidas por colunas de água, resultantes de injeção de água no furo. Nos ensaios, descritos neste trabalho, utilizou-se carga hidráulica constante, medindo a vazão necessária para mantê-la.

4.7.1 - SELEÇÃO DOS PONTOS A SEREM ENSAIADOS

A definição dos pontos a serem ensaiados neste trabalho levou em consideração os seguintes critérios:

- Distribuição espacial, selecionando pontos bem distribuídos na área urbana, fato que contribui para uma melhor interpolação dos resultados no espaço;
- Pontos próximos a poços operantes, de forma a facilitar o suprimento de água durante a realização do ensaio;
- Proximidade de regiões potenciais de poluição, para que pudesse ser feito a comparação de dados de condutividade hidráulica com o uso e ocupação do solo nessas áreas.

Dessa forma, definiram-se dezenove pontos, bem distribuídos na área analisada, com o objetivo de levantar os valores da condutividade hidráulica, conforme Tabela 26.

Tabela 26 – Localização dos pontos para ensaios de condutividade hidráulica superficial

Endereço	**Identificação**
Bateria Fátima	P3
Contigente	P29
Poço da Walter Santiago	P9
Poço Madri	P13
Poço Chancia P1	P14
Poço da Theodoreto	P15
Lagoa Seca	P16
Poço da José de Belém	P18
Vieno	P19
Poço da Exposição	P20
Ginásio	P21
Araras	P22
R. Tupaciguara	P23
Conj Mauá (Poço Jaca)	P26
Praça Jardim Regina	P27
Avenida Batalhão Mauá	P28
Poço R. Goiás	P7
Chácara Fernando	P5
Bateria Independência P4	P24

A Figura 12 ilustra a distribuição espacial dos pontos utilizados no levantamento da condutividade hidráulica em campo.

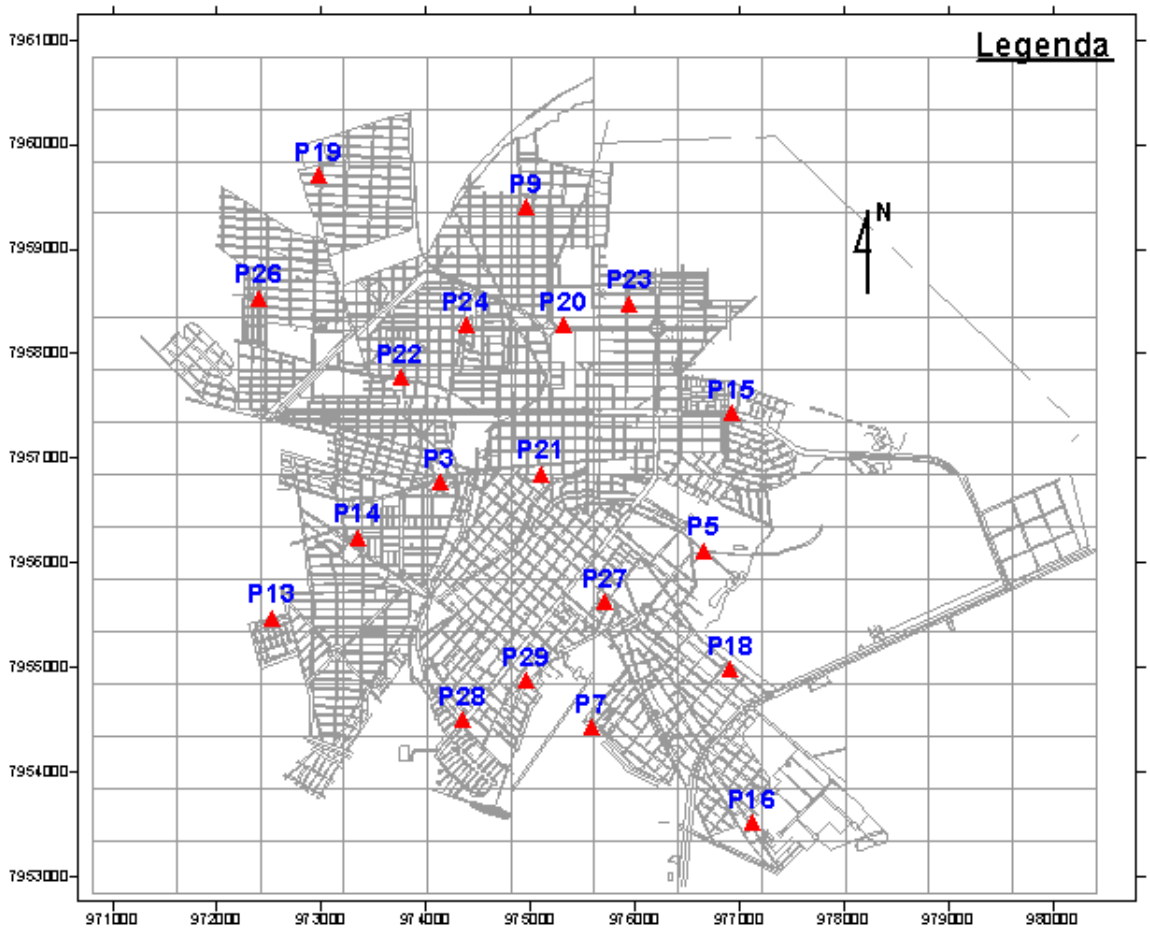


Figura 12 – Pontos utilizados no levantamento em campo da condutividade hidráulica.

4.7. 2 - PROCEDIMENTOS DO ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM CAMPO

Optou-se pela realização de testes de campo, com a intenção de garantir uma representatividade maior dos valores obtidos nos ensaios. O tipo de ensaio selecionado foi o ensaio de infiltração. Conforme já foi comentado, neste ensaio, é aplicada uma carga (constante), medindo-se a vazão de água injetada, necessária para manter tal nível constante. Esse ensaio não utiliza sistema de observação da variação das cargas piezométricas nas imediações do furo. Por esta razão, é conhecido como "ensaio pontual".

A metodologia do ensaio seguiu os procedimentos estabelecidos conforme a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE (1996). Inicialmente foram executados furos a trado sem utilização de lavagem, conforme ilustra a Figura 13.



Figura 13 – Execução do furo de sondagem a trado manual.

A parede do furo, no horizonte do solo a ser ensaiado, era então desobstruída com a raspagem por um escarificador (haste de madeira com pregos sem cabeça, parcialmente cravados). Após a abertura do furo, com profundidade de 60 cm, este era revestido com um tubo de PVC (diâmetro de 6,64 cm) com o objetivo de garantir uma impermeabilização de parte do fuste do furo. Esse revestimento era colocado no furo de sondagem mediante pressão do operador, conforme ilustra Figura 14. O trecho do furo sem revestimento correspondeu a cerca de 45 cm, a partir do qual era possível a infiltração da água. Com esses procedimentos prontos, injetou–se água no tubo até que fosse garantida a saturação do terreno no entorno do trecho ensaiado, haja vista que, quando um solo encontra-se saturado, a condutividade hidráulica apresenta um valor máximo e é denominada de condutividade hidráulica saturada (ver Figura 15).



Figura 14 - Cravação do revestimento do tubo de PVC.



Figura 15 - Injeção de água no tubo para saturação do terreno.

No momento em que o operador não mais manuseava o registro (abertura ou fechamento), entendia-se que a vazão era praticamente constante, indicando que a região sub-superficial já estava totalmente saturada. Esse procedimento demandava cerca de 15 minutos. Em seguida, o furo era totalmente preenchido com água até a extremidade superior do tubo de PVC. A carga hidráulica utilizada no ensaio foi de 205 cm. O nível de água no furo foi, então, mantido constante, sendo alimentado pela bomba do poço que se encontrava nas proximidades do local do teste.

As medidas de volume de água, no teste de infiltração, foram feitas com um hidrômetro acoplado à mangueira da fonte de água e, em alguns casos, com o uso de uma proveta graduada. A seleção da fonte (mangueira ou proveta) levou em consideração a avaliação geral da vazão estabilizada quando do processo de saturação da região sub-superficial. Uma vez que se observava uma pequena variação temporal do volume (inferior a 1 L/min), priorizava-se a realização do ensaio com a proveta, uma vez que a utilização do hidrômetro poderia não ser muito precisa (ver Figuras 16 e 17).



Figura 16 - Controle da vazão constante, realizada por hidrômetro.



Figura 17 - Controle da vazão constante, realizada por proveta.

Registrava-se, então, o volume de água introduzido a cada intervalo de tempo (1 minuto), tendo o ensaio duração total de cerca de 15 minutos. Uma vez observada que a vazão do ensaio se estabilizava, ou seja, a diferença entre as leituras não variavam muito do seu valor médio, cessava-se o ensaio.

4.7.3 - TRATAMENTO DOS DADOS AMOSTRADOS/COLETADOS

Em cada ensaio, foi determinada a vazão constante (Q), pela simples relação entre o volume medido e o tempo. Consequentemente a condutividade hidráulica (K), foi calculada conforme Equação 4, proposta pela ABGE (1996):

$$K = \frac{Q}{h} \cdot \frac{1}{C_u . r} \qquad (4)$$

Nessa equação empírica, os parâmetros podem ser definidos como: C_u = coeficiente empírico, Q = vazão do ensaio (L/min), h = carga hidráulica (m), r = raio do furo de sondagem (m). Com a utilização da Equação 4, a condutividade hidráulica (K) é obtida em cm/s. Para a obtenção do coeficiente empírico C_u, utilizou-se o ábaco proposto pela, ABGE (1996), ilustrado na Figura 18, de acordo com a curva estabelecida pela relação h/r e L/h , onde L é a altura do trecho ensaiado, sem revestimento. Nesse sentido, foram considerados os seguintes valores:

- h (carga hidráulica)= 205 cm;
- L (altura livre do furo) = 45 cm
- r (raio do furo de sondagem) = 3,32 cm;
- L/h = 0,2195
- h/r = 61,7470;
- Cu (coeficiente empírico) = 42 – Ábaco da ABGE (1996)

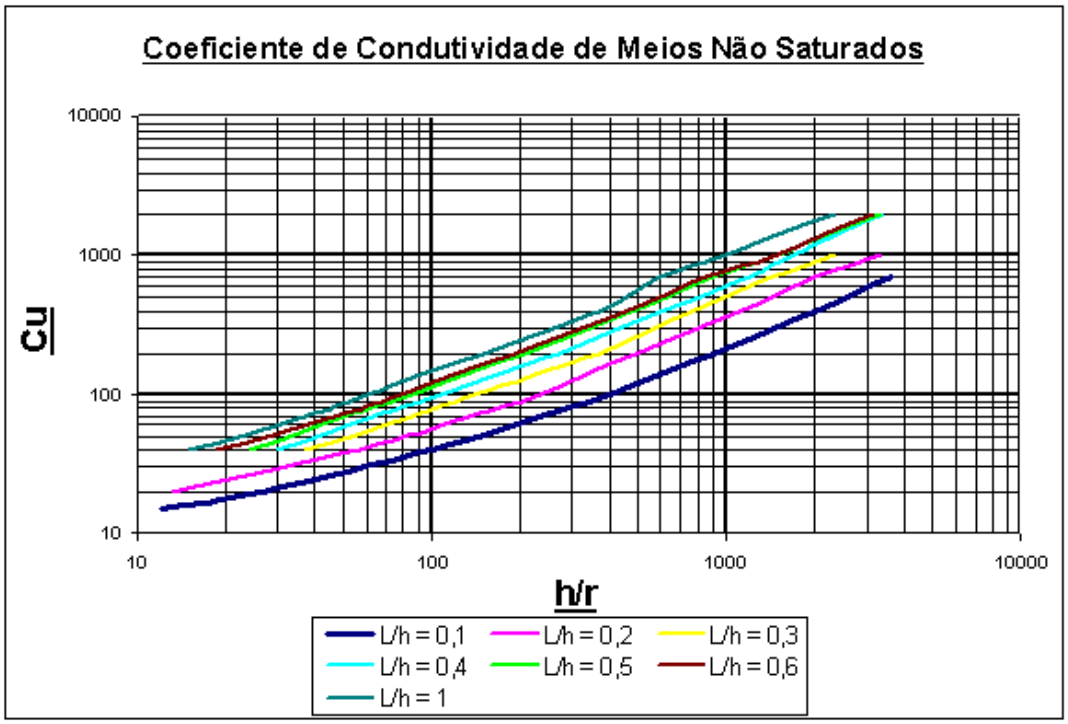


Figura 18 – Ábaco para obtenção do coeficiente empírico da Equação (1).
Fonte: ABGE (1996).

4.8 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AQUÍFERO BAURU

Os pontos de coleta de amostras de água foram selecionados com base em critérios espaciais e sanitários, partindo da análise da planta do sistema de distribuição dos poços fornecida pela companhia de abastecimento de água da cidade de Araguari (SAE - Araguari). Dessa forma, três rodadas de monitoramento foram utilizadas.

As primeiras amostras de água foram coletadas entre os meses de setembro e outubro de 2008.

Algumas regiões, bastante preocupantes, foram delimitadas em função das condições sanitárias locais. Destaca-se aqui, que alguns bairros de Araguari são carentes de rede de esgoto e utilizam o sistema de tanque-séptico, com infiltração dos efluentes no solo. Essa situação caracteriza tais áreas como potencialmente vulneráveis à poluição.

No processo de seleção dos poços também foram considerados dados referentes ao monitoramento de nível do lençol. Quanto menor a profundidade do lençol, maior a tenderá a ser a vulnerabilidade à poluição do manancial subterrâneo.

De maneira geral, para análise da qualidade da água bruta, os critérios de escolha dos poços foram:

- Poços com menores profundidades do lençol;
- Poços em regiões de maiores riscos (situados em regiões que não possuem esgotamento adequado para as águas residuárias e que utilizam o sistema de infiltração em sumidouros).

Para a segunda bateria de exames (janeiro de 2009), foram escolhidos 10 novos poços de monitoramento com a finalidade de obter um detalhamento espacial mais preciso, desconsiderando as características temporais de avaliação. Neste caso, os critérios utilizados foram os mesmos anteriormente citados. Procurou-se dar maior atenção aos poços próximos daqueles que apresentaram resultados preocupantes, quando na primeira análise.

Para a terceira bateria de exames (junho de 2009), optou-se por refazer os exames de qualidade em 10 poços onde foram encontrados os resultados mais preocupantes. Dessa forma, também é possível fazer uma análise da evolução temporal da qualidade da água, além de comparar os valores obtidos anteriormente.

A Figura 19 ilustra a distribuição espacial dos pontos amostrados para análise da qualidade da água.

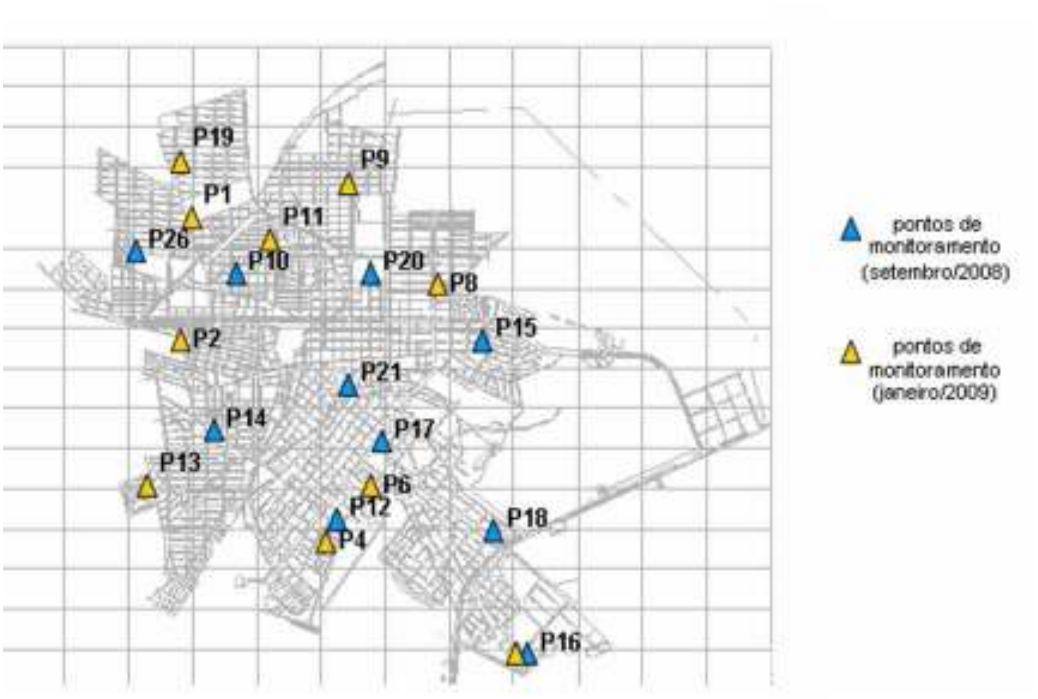


Figura 19 - Rede de monitoramento de qualidade da água.

4.8.1 COLETA DE ÁGUA

A coleta de água para análise foi realizada nos poços tubulares da rede de abastecimento da SAE - Araguari. Em cada rodada de coleta de amostras, 10 poços foram avaliados, somando um total de 30 análises para cada parâmetro de qualidade (DBO_5, Nitrato e Coliformes). A escolha do número de poços e de pontos do sistema de distribuição levou em conta a capacidade mensal do laboratório de análise da SAE e a disponibilidade de transporte para coleta das mesmas.

A sistemática de coleta e de preservação das amostras seguiu a metodologia utilizada pela SAE – Araguari, a qual obedece aos procedimentos padronizados em análises de saneamento, através do "*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*" .

A coleta de água em poços novos e desativados foi realizada mediante auxílio de um amostrador *bailer*. Este amostrador é constituído de um tubo longo aberto nas extremidades. Na parte do fundo, o amostrador possui uma esfera que trabalha como uma válvula que fecha quando a água entra no tubo. Na parte de cima, possui uma alça para que possa amarrar uma corda, que o transporta até o nível do lençol, conforme ilustra a Figura 20.



Figura 20 - Coleta de água para ensaios, realizada em poços desativados.

A coleta de água em poços operantes foi feita mediante abertura do registro localizado na extremidade superior do poço (Figura 21).



Figura 21 - Coleta de água para ensaios, realizada em poços operantes.

4.8.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os parâmetros investigados nesta pesquisa são indicadores relativamente fáceis de serem medidos em laboratório, pois não carecem de técnicas muito avançadas nem de alta tecnologia. Apesar disto, eles são importantes indicadores de uma eventual poluição das águas.

Embora a água subterrânea distribuída na cidade receba a desinfecção, a avaliação de aspectos qualitativos da água bruta está relacionada com a vulnerabilidade natural do aquífero à poluição. Nesse sentido, foram consideradas amostras colhidas em poços desativados, desligados e poços operantes, de forma que a amostra de água fosse coletada antes da desinfecção com o cloro.

4.8.2.1. DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio necessária para consumir a matéria orgânica contida na água, mediante processos biológicos aeróbios. É uma medida muito importante de eventual poluição da água por matéria orgânica. Nas águas subterrâneas, em geral, a DBO é inferior a 1mg O_2/L (Feitosa e Manuel Filho, 1997). A DBO_5 é um padrão cuja determinação é realizada em laboratório a uma temperatura constante de 20ºC, após um período de 5 dias. É medida pela diferença de OD (oxigênio dissolvido) antes e depois do período de incubação. A determinação da DBO não revela a concentração de uma substância orgânica, e sim o consumo de oxigênio, através de reações biológicas e químicas, para a decomposição da mesma.

Com o objetivo de verificar possível poluição do lençol por matéria orgânica, foram realizadas análises trimestrais da DBO_5 na água subterrânea de Araguari. Estas foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-Químicas do SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) de Uberlândia.

A técnica utilizada foi o Método de Incubação (20ºC – cinco dias), atestado pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* e pela ABNT - NBR 12614/ 1992 - Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (20º C - cinco dias).

4.8.2.2. Coliformes

Para a avaliação das condições sanitárias da água, utilizam-se bactérias do grupo coliforme, que atuam como indicadores de poluição fecal, pois estão sempre presentes no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, sendo eliminadas em grande número pelas fezes.

A água subterrânea da cidade de Araguari também foi monitorada a fim de se realizar a quantificação de coliformes totais e fecais nas amostras coletadas. A intenção foi avaliar uma possível poluição da água subterrânea por matéria fecal. Este monitoramento é particularmente interessante nos poços próximos a alguns bairros periféricos que não dispõem de rede de esgoto, cuja destinação final dos efluentes ocorre pelo sistema tanque séptico/sumidouro.

O laboratório responsável pelas análises foi o Laboratório da SAE de Araguari. O procedimento de análise é realizado pelo Método dos Tubos Múltiplos. Esta metodologia foi empregada, por ser amplamente preconizada pela Vigilância Sanitária.

A quantificação de coliformes totais e coliformes fecais é realizada através do método simplificado de aproximação, denominado "Número Mais Provável" (NMP), também conhecido como "tubos múltiplos", sendo o resultado expresso em NMP por 100 mL.

4.8.2.3 Nitrato (NO_3^-)

Com o objetivo de verificar uma possível poluição do lençol pela fertilização artificial excessiva do solo, proveniente do uso agrícola na zona rural, a água subterrânea de Araguari foi analisada segundo a concentração de Nitrato.

A avaliação das concentrações de Nitrato permite verificar se a poluição, originada na zona rural, atinge a água subterrânea coletada na zona urbana do município. A despeito disto, não há como dissociar a poluição agrícola daquela por esgoto doméstico (nitrificação), simplesmente pela avaliação das concentrações de Nitrato. Por isto, serão confrontados os três parâmetros analisados. O laboratório responsável pelas análises da concentração de Nitrato na água é o Laboratório da SAE - Araguari. A análise de Nitrato é realizada pelo Método da Redução de Cádmio. O reagente utilizado é o Nitraver 5 (*Nitrate Reagent*

Powder Pillow). O equipamento utilizado é o Espectrofotômetro DR 4000. A concentração de Nitrato é expressa em mg/L.

4.8.3 CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Obtidos os resultados de todos os parâmetros de qualidade, conforme foi descrito no item 4.8.2, esses valores numéricos foram interpolados espacialmente, gerando os mapas de qualidade da água.

4.9 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE

4.9.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO (MÉTODO GOD E MÉTODO HÍBRIDO).

Para a avaliação da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas da cidade de Araguari, o presente trabalho utilizou como base, o método GOD. As classes de vulnerabilidade da região em estudo foram definidas a partir de fatores relacionados com a ocorrência de água subterrânea explotável. O presente trabalho atribuiu novos parâmetros que podem ser importantes para uma avaliação mais exata da vulnerabilidade, tal como a condutividade hidráulica da formação superficial de solo sobreposta ao aquífero Bauru e a declividade do terreno. Com a introdução desses parâmetros, propôs-se um procedimento de avaliação do índice de vulnerabilidade, denominado de Método Híbrido. Cada um dos fatores avaliados recebeu um índice e um peso, sendo a média ponderada, um índice que representa a vulnerabilidade natural do aquífero.

4.9.1.1 Parâmetros utilizados

4.9.1.1.1 Tipo de ocorrência do aquífero “G”

Este parâmetro teve como base, valores indicados pela metodologia GOD. Segundo essa metodologia, seu valor numérico varia no intervalo de 0,0 a 1,0, correspondendo o grau de vulnerabilidade 1,0 a sistemas não confinados sem cobertura, conforme o caso do aquífero Bauru na região analisada.

4.9.1.1.2 Tipos litológicos existentes acima da zona saturada "O"

Para a classificação litológica da formação sobreposta à zona saturada, foram utilizados perfis de seis poços da rede de monitoramento (ANEXO A). Esses perfis foram extraídos durante processo construtivo dos poços. A SAE - Araguari não possui arquivo dos perfis de todos os poços, uma vez que muitos deles são antigos e foram executados sem grandes preocupações acerca do conhecimento do subsolo. Esse fator, infelizmente, foi determinante para o pequeno banco de dados sobre o local. De posse dos seis perfis existentes, analisou-se o tipo de solo da camada superficial (2 m abaixo da superfície do terreno). Em Araguari, os solos superficiais variaram de argila a areia. Dentre os perfis estudados, podem-se destacar os seguintes solos encontrados na região: argila arenosa, argila pouco arenosa, argila siltosa e areia siltosa pouco argilosa. A Tabela 27 indica os índices da metodologia GOD, para cada tipo de solo.

Tabela 27 – Tipos de solo e respectivos índices, segundo o método GOD.

S – tipo de Solo	Índice
Argila	0,3
Solos residuais	0,4
Folhelhos	0,5
Silitos	0,6
Arenitos	0,7
Calcoarenitos	0,8
Calcários e carbonatos	0,9

Fonte: Aller et al. (1987).

Como a formação superficial variou de argila a areia, uma faixa muito restrita dentro da metodologia GOD, foi necessária a fixação de índices intermediários proporcionais. Dessa forma, os respectivos índices proporcionais foram:

- Argila: 0,3;
- Argila siltosa: 0,325;
- Argila siltosa ou argilo siltosa pouco arenosa; 0,35;
- Argila arenosa: 0,375;
- Areias ou solos residuais: 0,4.

Adotado o índice para cada situação, este foi ponderado pelo peso 1,0, quando da aplicação do método desenvolvido por este estudo. A utilização desse peso baseou-se no mesmo valor proposto pela metodologia GOD.

4.9.1.1.3 Profundidade do nível da água ou do teto do aquífero "D"

A profundidade do aquífero, parâmetro (D), tem graus de vulnerabilidade entre 0,4 e 1,0 (aquíferos rasos). A Metodologia GOD indica que, para profundidades de 20 a 50 m seja utilizado o índice 0,5. Para detalhar melhor este parâmetro, este fator foi dividido em intervalos menores, conforme Tabela 28.

Tabela 28 - Intervalos de valores de profundidade do lençol e respectivos índices

Profundidade do lençol (m)	Índice
> 50	0,4
40 a 50	0,5
30 a 40	0,6
20 a 30	0,7
10 a 20	0,8
< 10	1,0

Adotado o índice para cada situação, a profundidade foi ponderada pelo peso de 1,0 quando da aplicação do método proposto nesta pesquisa. Esse valor também teve, como base, a ponderação utilizada pelo método GOD.

4.9.1.2 Outros parâmetros considerados na avaliação da vulnerabilidade natural à poluição

4.9.1.2.1 Condutividade Hidráulica da formação superficial (Kv)

Para inserir o parâmetro condutividade hidráulica superficial na avaliação da vulnerabilidade natural, foram utilizados os critérios estabelecidos pelo método EKv, descritos no item 3.2.6. Esse método estima um índice de vulnerabilidade baseado na

condutividade hidráulica vertical da formação superficial e na profundidade do aquífero. No método EKv, são atribuídos índices de 1 a 5 para os valores de condutividade da zona vadosa superficial. Dessa forma, foram feitas adaptações dos índices para utilização do método híbrido, proposto nesta pesquisa. Os índices considerados para cada condutividade hidráulica são mostrados na Tabela 29.

Tabela 29 - Intervalos de valores de condutividade hidráulica e respectivos índices

	Condutividade hidráulica vertical da zona não saturada (Kv)				
unidade: *m/dia*	$< 1{,}10^{-3}$	$> 1{,}10^{-3}$ a 0,01	> 0,01 a 1	> 1 a 50	> 50 a 500
Índice (EKV)	1	2	3	4	5
Adaptação de proporcionalidade	2	4	6	8	10
Índice proporcional (para ponderação no método híbrido)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

Vale ressaltar que, atribuído o índice de acordo com o intervalo respectivo da condutividade, esta foi ponderada com peso igual a 1,0. Essa ponderação baseou-se na relação de importância entre E (profundidade do aquífero) e Kv (condutividade hidráulica vertical da formação superficial), utilizada pelo método EKv, para obtenção do seu índice de vulnerabilidade.

4.9.1.2.1 Declividade do terreno "I"

O declive do terreno condiciona a probabilidade do poluente escoar superficialmente ou de permanecer na superfície durante um tempo suficiente para infiltrar. Para inserir o parâmetro declividade na avaliação da vulnerabilidade intrínseca, foram utilizados os critérios estabelecidos pelo método DRASTIC. Nesse método, são atribuídos índices de 1 a 10 para respectivos valores de declividade. Analogamente, para aplicação do método proposto neste trabalho, foram estabelecidos os índices proporcionais para cada valor de declividade. A Tabela 30 relaciona os índices para cada declividade percentual.

Tabela 30 - Classes de declive e respectivo índice

T – Topografia (declive em %)	Índice DRASTIC	Índice proporcional
< 2	10	1,0
2 – 6	9	0,9
6 – 12	5	0,5
12 – 18	3	0,3
> 18	1	0,1

Para utilização do método híbrido, o índice da declividade foi ponderado pelo peso de 3/5, como propõe a metodologia DRASTIC.

4.9.1.3 Índice Final

O índice final integrado de vulnerabilidade GOD é o produto dos índices obtidos para cada um dos parâmetros (G, O e D), variando de 0,0 (desprezível) até 1,0 (extrema).

O índice final, para este estudo de vulnerabilidade (método híbrido), que considera os parâmetros de declividade do terreno, profundidade do lençol, tipo de aquífero, condutividade hidráulica e litologia da formação superficial, foi obtido pela média ponderada dos cinco parâmetros, multiplicados pelos seus respectivos pesos, conforme ilustra a Equação 5.

$$\acute{I}ndiceFinal(M\acute{e}todoH\acute{i}brido) = \frac{G.1 + O.1 + D.1 + K.1 + I.3/5}{1+1+1+1+3/5} \qquad (5)$$

Na Equação 5, *G* é o índice de vulnerabilidade do parâmetro ocorrência da água subterrânea; *O* é o índice de vulnerabilidade do parâmetro litologia; *D* é o índice de vulnerabilidade do parâmetro profundidade do lençol; *K* é o índice de vulnerabilidade do parâmetro de condutividade hidráulica superficial e, finalmente, *I* é o índice de vulnerabilidade do parâmetro declividade.

Dessa forma, considerando a metodologia GOD e a metodologia híbrida proposta, o valor mínimo possível é 0 e o valor máximo é 1,0. A Tabela 31 indica os respectivos intervalos de vulnerabilidade, para ambas as metodologias.

Tabela 31 - Índice final de vulnerabilidade intrínseca do aquífero.

Índice	Vulnerabilidade
0,7 a 1,0	Muito Alta
0,5 a 0,7	Alta
0,3 a 0,5	Moderada
0,1 a 0,3	Baixa
0 a 0,1	Desprezível

4.9.2 CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE VULNERABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO

Mapas de vulnerabilidade são representações gráficas que, mediante algum tipo de codificação, permitem representar espacialmente as informações relacionadas com a susceptibilidade de um aquífero à poluição. Para sua confecção, é necessária a determinação de todos os parâmetros referidos no item 4.9, obtendo-se os índices de vulnerabilidade intrínseca, conforme descrito no item 4.9.1. No contexto deste trabalho, esses valores numéricos foram interpolados espacialmente, gerando os mapas de vulnerabilidade, para ambas as metodologias (GOD e híbrida).

CAPÍTULO 5
RESULTADOS

5.1 AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA CIDADE DE ARAGUARI

Com o uso da ferramenta ArcMap, delimitou-se o perímetro urbano, para a definição da área de estudo, em aproximadamente 67 km². Definidas as categorias a serem consideradas para este estudo e, com o uso da ferramenta que calcula a área de cada polígono no ArcMap, foi possível levantar as frações de área de cada categoria, as quais são listadas na Tabela 32.

Tabela 32 - Estudo do uso e ocupação do solo da cidade de Araguari: áreas de cada categoria.

Categoria	Cor	Área (Km²)
Áreas industriais	laranja	0,157
Áreas residenciais com rede de esgoto	azul	14,625
Áreas residenciais sem rede de esgoto	vermelho	7,254
Áreas agrícolas	roxo	22,045
Áreas verdes	verde	22,819
Cemitérios	amarelo	0,068
Área total do estudo:		66,968

Como resultado, foi gerado um mapa (Figura 22) que ilustra as delimitações dos respectivos usos do solo da cidade de Araguari.

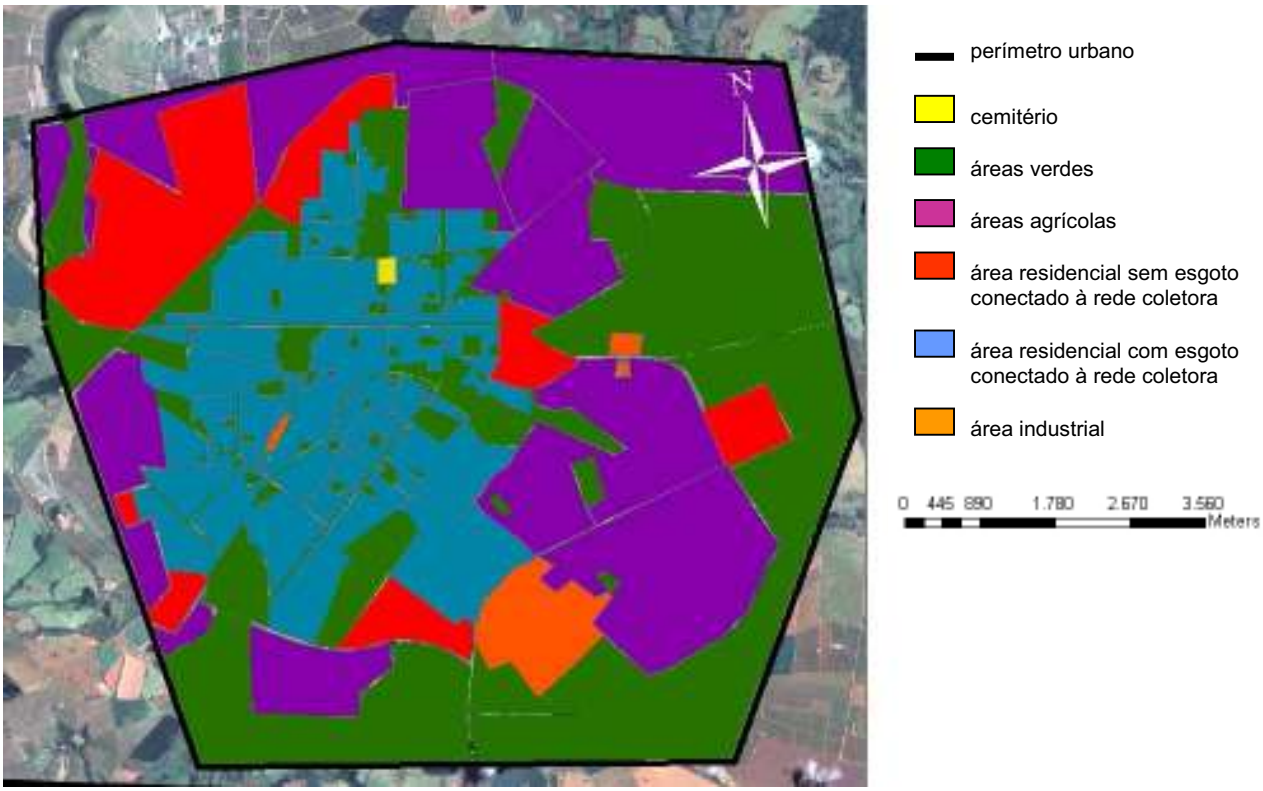


Figura 22 – Mapa de uso e ocupação do solo da cidade de Araguari.

5.2 SUPERFÍCIE DO TERRENO

A superfície do terreno, gerada mediante interpolação dos dados pontuais de cotas do terreno, encontra-se ilustrada na Figura 23. Este tipo de mapa é muito importante para conhecimento geral das características do relevo local, uma vez que pode indicar áreas potenciais de poluição.

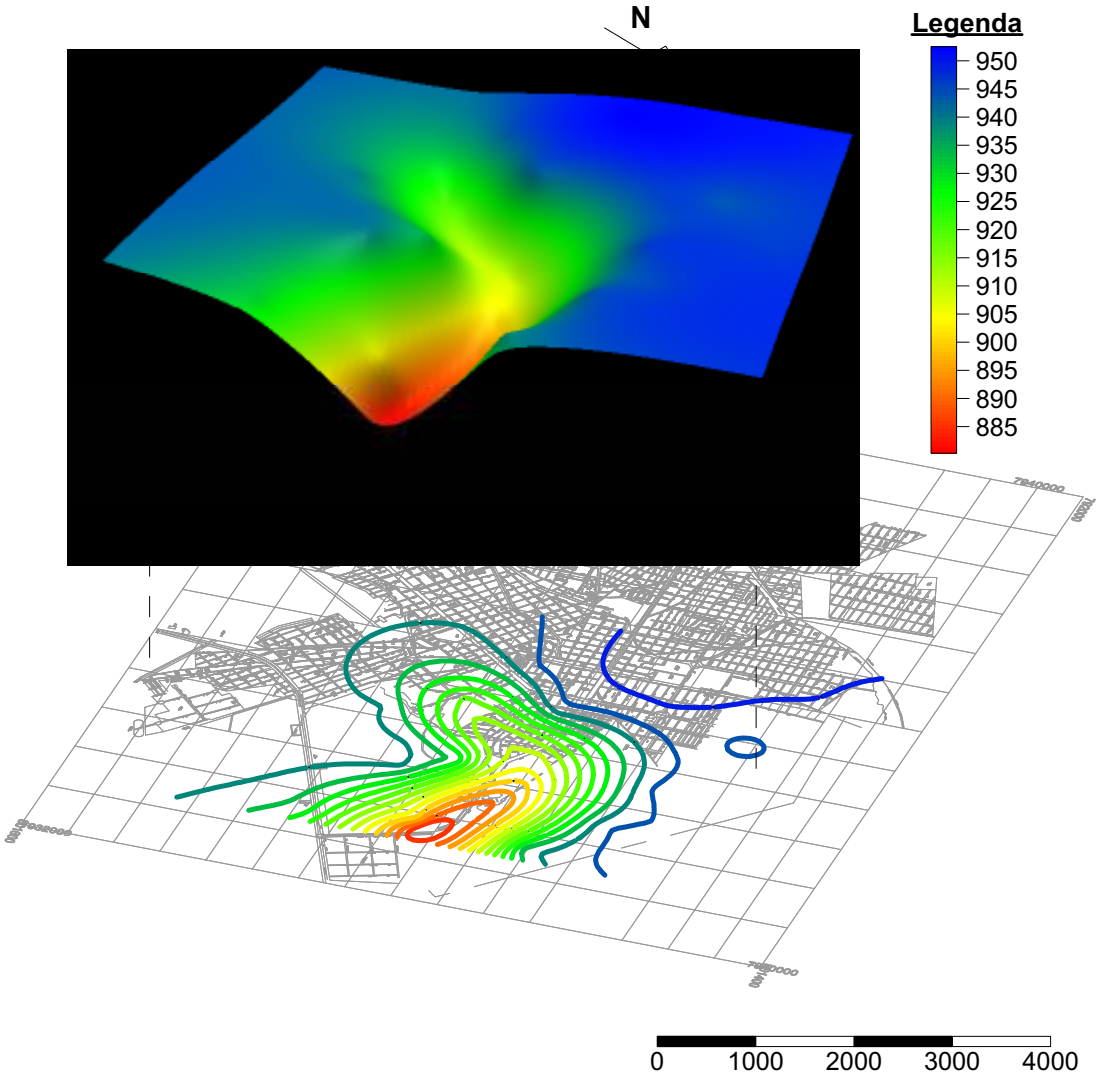


Figura 23 – Superfície do terreno – cidade de Araguari. Cotas em metros.

5.3 DECLIVIDADE DO TERRENO

Com a malha de cotas da superfície, foi possível calcular a declividade do terreno para toda a zona urbana. A máxima declividade encontrada foi de 9,16% e a mínima foi de 0,02%. A Figura 24 ilustra as respectivas declividades sobre toda a zona urbana de Araguari.

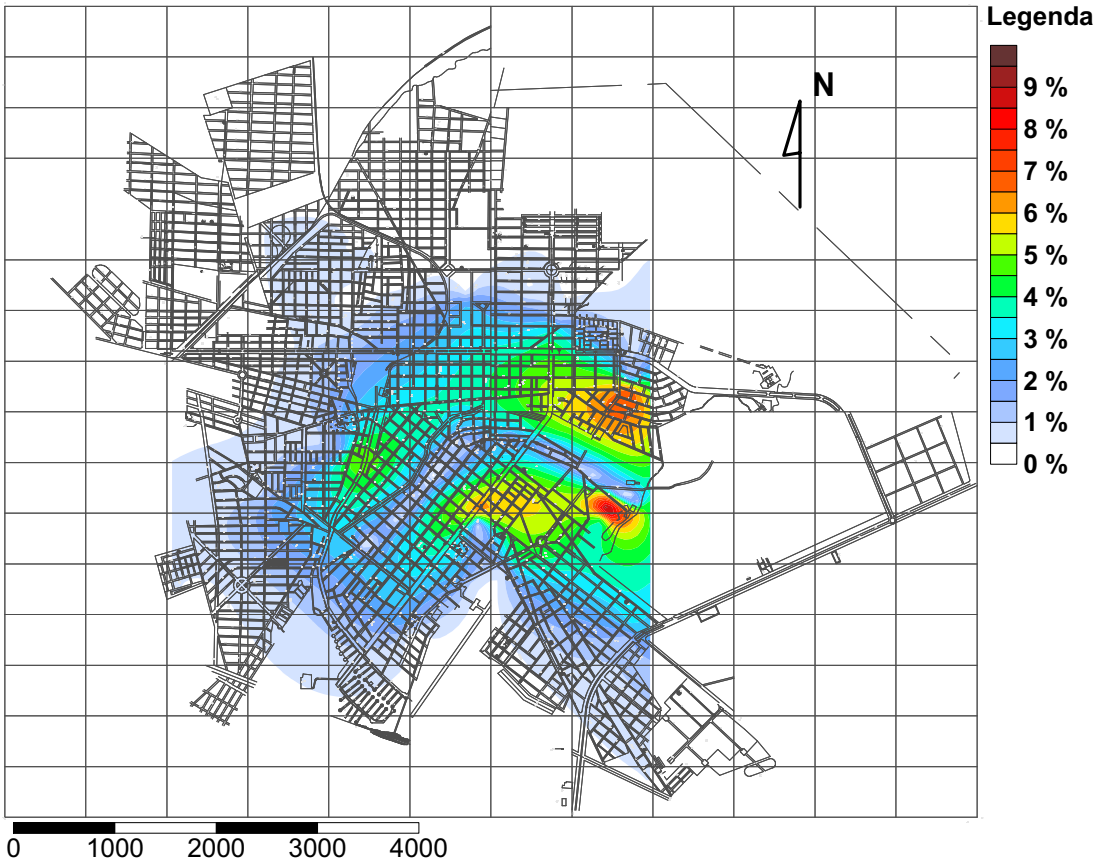


Figura 24 – Mapa de declividade do terreno – cidade de Araguari

De acordo com a Figura 24, percebe-se que grande parte da área urbana da cidade possui pequena declividade do terreno (de 0 a 4%), o que condiciona uma probabilidade do poluente permanecer na superfície durante tempo suficiente para se infiltrar.

5.4 MONITORAMENTO DA PROFUNDIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os poços monitorados e suas respectivas leituras de profundidades mensais encontram-se discriminados na Tabela 33.

Tabela 33 - Monitoramento mensal do nível do lençol freático. Os valores numéricos indicam a profundidade da superfície do lençol em metros (m).

Monitoramento Nível (m)		Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Pofund. Média
		2008								2009				
Poço novo S. Sebastião	**P1**	15,99	16,9	16,95	17,12	17,5	17,34	17,97	18,27	17,77	17,72	16,57	17,37	17,3
Poço da Coronel Belchior	**P2**	18,92	19,6	19,25	18,22	19,85	19,97	20,62	12,37	20,17	19,97	18,82	19,82	19,0
Bateria Fátima P1	**P3**	26,4	27,3	27,18	27,99	28,43	28,4	28,82	27,3	27,95	31,57	26,07	28,17	28,0
Bateria Fátima P15	**P3a**						33,6		33,1	35,18	33,97	30,92	36,17	33,8
Poço Bat. São Benedito P1	**P4**	23,75	24,45	24,23	23,5	24,38	24,9	24,9	24,45	24,27	25,77	23,27	24,67	24,4
Poço Bat. São Benedito P5	**P4a**						25,58	25,55	25,15	24,95	24,92	24,27	25,42	25,1
Chácara Fernando	**P5**	2,95	5,13	4,08	9,8	4,23	6,8	4,48	3,2	3,6	3,87	3,87	3,92	4,7
Bateria Estadual P7	**P6**	20,9	21,98	21,93	22,21				21,65					21,7
Bateria Estadual P12	**P6a**						40,65	48,75	40,9	37,27	35,97	35,77	34,22	39,1
Poço R. Goiás	**P7**	20,38	21,21	21,66	21,48	22,43	23,11		22,48	21,86	23,19	25,87	22,02	22,3
Poço Miranda	**P8**	17,6		22,08	18,85	18,76	23,33	23,2	22,85	22,58	21,84	20,42	21,57	21,2
Poço da Walter Santiago	**P9**	17,5	20,16	20,98	20,95	22,03	34,85	38,2	34,45	34,7	43,77	37,57	41,27	30,5
Poço novo da Passarela	**P10**	18,51	19,38	19,41	18,03	19,36	19,98	20,78	18,73	20,33	20,92	19,57	20,67	19,6
Poço da R. 21	**P11**	7,48	9,09	9,76	10,37	10,86	11,08	11,53	9,23	9,18	8,97	8,37	9,17	9,6
Poço novo da Minas Gerais	**P12**	22,59	23,52	23,37	22,74	23,57	23,64	24,17	23,74	23,44	23,77	22,27	32,57	24,1
Poço Madri	**P13**	23,78	24,81	25,71	27,23	27,71	29,63	30,38	28,23	27,33	28,27	26,17	27,97	27,3
Poço Chancia P1	**P14**	32,6	33,78	33,68	35,35	35,98	28,85	36,4	41,05	40,45	34,27	35,77	36,92	35,4
Poço Chancia P4	**P14a**						46,35	46,6	47,55	47,85	46,57	47,27	48,27	47,1
Poço da Theodoreto	**P15**	25,33	28,79	28,66	18,85	29,28	32,43	45,78	45,03	44,16	50,17	44,77	44,77	36,5
Lagoa Seca	**P16**					29,58	30,36	29,8	36,1	35,54	36,92	35,22	37,17	33,8
Praça Getúlio Vargas	**P17**					21,53	22,11	20,47	19,47	19,9	19,92	18,67	17,27	19,9
Poço da José de Belém	**P18**					19,39	19,63	15,71	19,08	18,83	18,62	16,92	17,92	18,3
Vieno	**P19**					11,88	11,9	12,65	12,05	11,92	11,77	10,42	10,77	11,7
Poço da Exposição	**P20**					27,23	21,8		25	24	23,37	22,17	22,77	23,8
Ginásio	**P21**					3,73	6,45	0,95	0,95	0,8	1,27	0,82	1,82	2,1
Araras	**P22**					15,33	31,75	32,45		32,35	36,57	32,47	32,27	30,5
R. Tupaciguara	**P23**					21,78	22,25	25,45	21,2	21,05	23,72	22,17	23,42	22,6
Bateria Independência P4	**P24**						44,45	45,35	23,35	36,3	40,37	38,57	32,07	37,2
Bateria Independência P8	**P24a**						47,1	42,55				35	33	39,4
Poço da Jaca P31	**P26**						42,18	47,23	36,83	48,58	36,47	47,47	36,67	42,2
Praça Jardim Regina	**P27**						36	36	35,2	35,34	35,02	33,72	35,12	35,2

A profundidade média de todos os poços monitorados, dos meses de maio de 2008 a janeiro de 2009, foi de 25,7m, com um desvio padrão de 10,97m.

Para a determinação da profundidade estática, foram consideradas apenas as leituras nos poços desativados, desligados e nos poços novos. Assim, a profundidade estática média foi de 20,0 m, com desvio padrão de 8,37m. Foram considerados os seguintes poços, Tabela 34.

Tabela 34 - Poços de monitoramento de profundidade estática

Poços de Monitoramento de Nível estático
Poço novo S. Sebastião
Poço da Coronel Belchior
Bateria Fátima P1
Poço Bat. São Benedito P1
Poço Bat. São Benedito P5
Chácara Fernando
Bateria Estadual P7
Poço R. Goiás
Poço Miranda *
Poço da Walter Santiago *
Poço novo da Passarela
Poço da R. 21
Poço novo da Minas Gerais
Poço Madri *
Poço Chancia P1*
Poço da Theodoreto*
Ginásio

Os poços destacados com asterisco (poços parados) foram desligados com 24 horas de antecedência à leitura.

Vale ressaltar que os poços da Walter Santiago, Theodoreto, Miranda e Madri, a partir de Outubro de 2008, tiveram seus níveis dinâmicos monitorados.

A maior profundidade estática encontrado foi de 36,92m na bateria da Chancia em abril de 2009. Este poço, apesar de estar inoperante, é influenciado pelo bombeamento dos demais poços que se encontram nessa bateria.

A menor profundidade estática encontrado foi de 0,8 m no Ginásio Municipal, em janeiro de 2009.

Em relação à profundidade dinâmica, os poços monitorados estão listados na Tabela 35.

Tabela 35 - Poços de monitoramento de Nível Dinâmico

Poços de Monitoramento de Nível dinâmico
Bateria Fátima P15
Bateria Estadual P12
Poço Miranda
Poço da Walter Santiago
Poço Madri
Poço Chancia P1
Poço Chancia P4
Poço da Theodoreto
Lagoa Seca
Praça Getúlio Vargas
Poço da José de Belém
Vieno
Poço da Exposição
Ginásio
Araras
R. Tupaciguara
Bateria Independência P4
Bateria Independência P8
Poço da Jaca P31
Praça Jardim Regina

Os poços da bateria de Fátima (P15), Bateria do Estadual (P12), Miranda, Walter Santiago, Madri, e Theodoreto, foram monitorados quanto ao nível dinâmico a partir de Outubro de 2008.

A média das profundidades foi de 30,43 m, com desvio padrão de 10,88 m. A despeito do elevado desvio padrão encontrado, esses dados evidenciam que o aquífero, mesmo quando submetido aos rebaixamentos em função da operação de poços, apresenta pequena profundidade. Isto sugere uma potencial vulnerabilidade intrínseca do aquífero na região analisada.

A maior profundidade dinâmica encontrada foi de 50,17 m, no poço da Theodoreto em fevereiro de 2009. A menor profundidade dinâmica encontrada foi de 3,73 m, no Poço do

Ginásio. Esse último poço tem função exclusiva de bombear água para as duas piscinas do local e para suprir a necessidade de abastecimento do clube adjacente ao Ginásio.

A Figura 25 ilustra a distribuição espacial da profundidade média do lençol dos meses de maio de 2008 a janeiro de 2009. Os poços indicados correspondem àqueles onde os níveis foram monitorados.

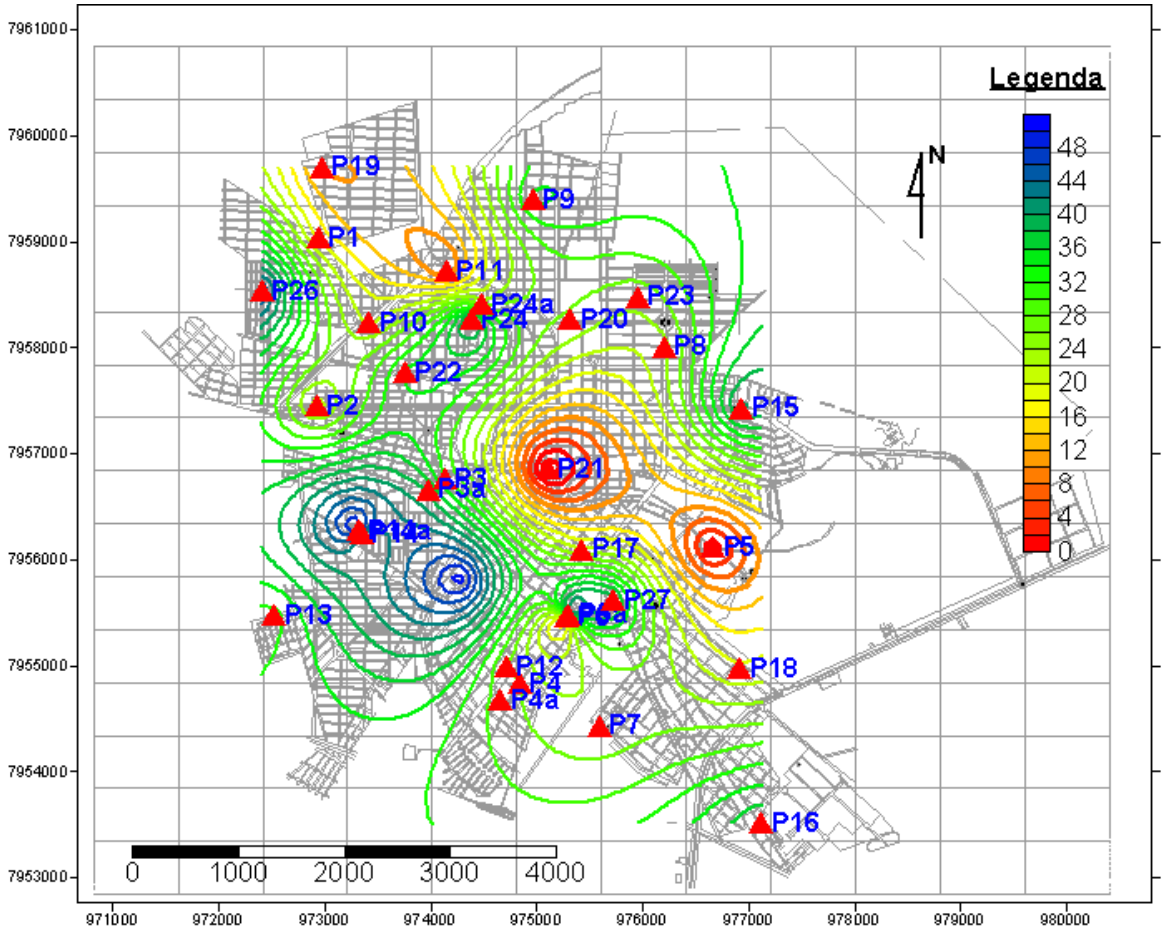


Figura 25 – Curvas de profundidade média do lençol. Valores dados em metros.

Nas regiões destacadas em vermelho, regiões próximas aos poços P5 e P21 (Chácara do Fernando e Ginásio), as profundidades do lençol são muito pequenas, em torno de 4,7 m e 2,1 m, respectivamente. Dessa forma, analisando somente o fator profundidade do nível de água, há indicações de que o lençol freático nessa região encontra-se mais susceptível à poluição local.

Em relação à pequena profundidade do lençol, uma outra região preocupante é a região dos poços P11 e P19 (Vieno e Rua 21). Nesses poços, a profundidade média do lençol é de 9,6 e 11,7 m, respectivamente. O que torna essa região preocupante é o fato de a mesma estar inserida em um bairro com pouca infra-estrutura, conforme descrito no item 5.1. Isto indica que deva existir uma carga poluidora maior devido à falta de rede coletora de esgoto nesse local. Este fato aumenta a susceptibilidade à poluição desta área.

5.4 MAPAS DE SUPERFÍCIES POTENCIOMÉTRICAS

A Figura 26 indica o nível freático médio, entre o período de maio/2008 a abril/2009, do aquífero Bauru em toda a zona urbana da cidade.

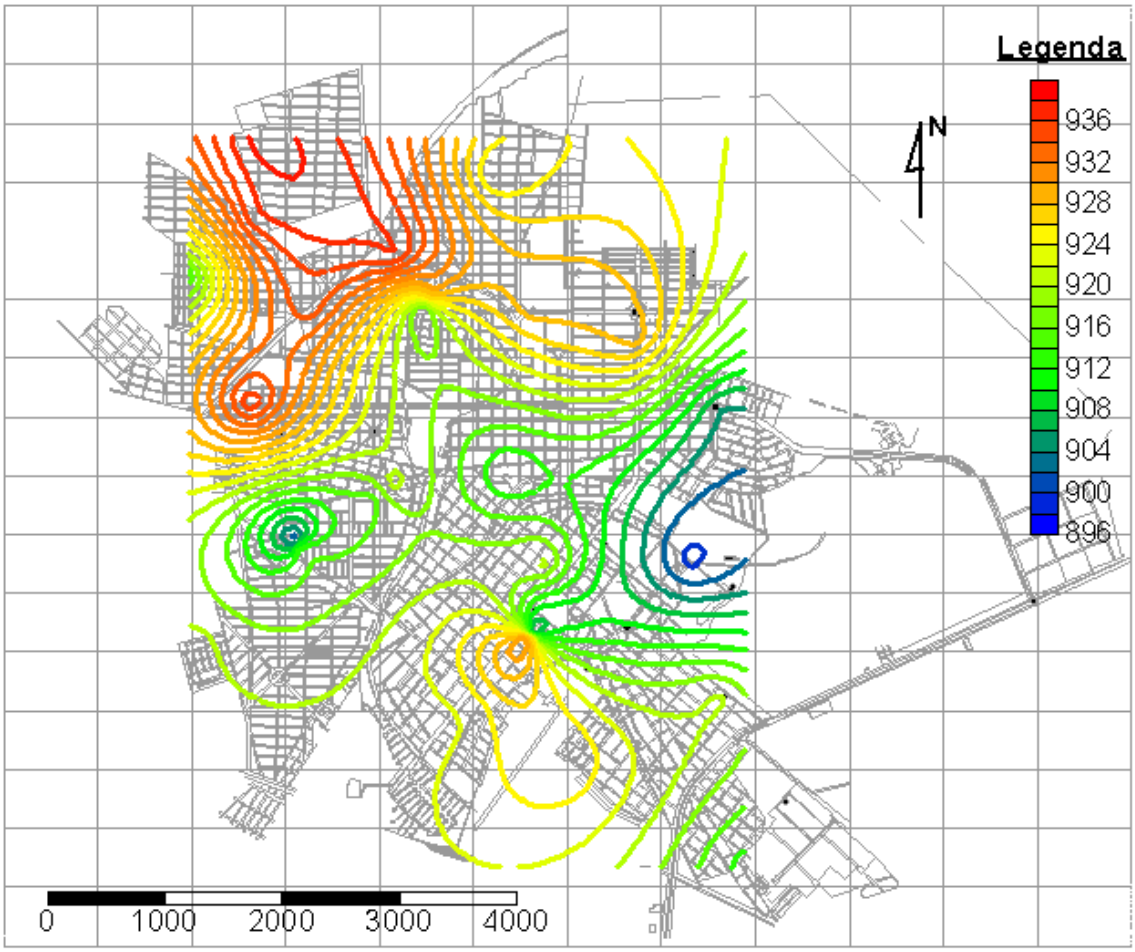


Figura 26 - Mapa do nível freático do sistema Aquífero Bauru na zona urbana da cidade de Araguari. Cotas em metros.

Para se ter uma noção geométrica da fronteira superior do aquífero, elaborou-se a Figura 27, a qual propicia uma melhor visualização da superfície piezométrica.

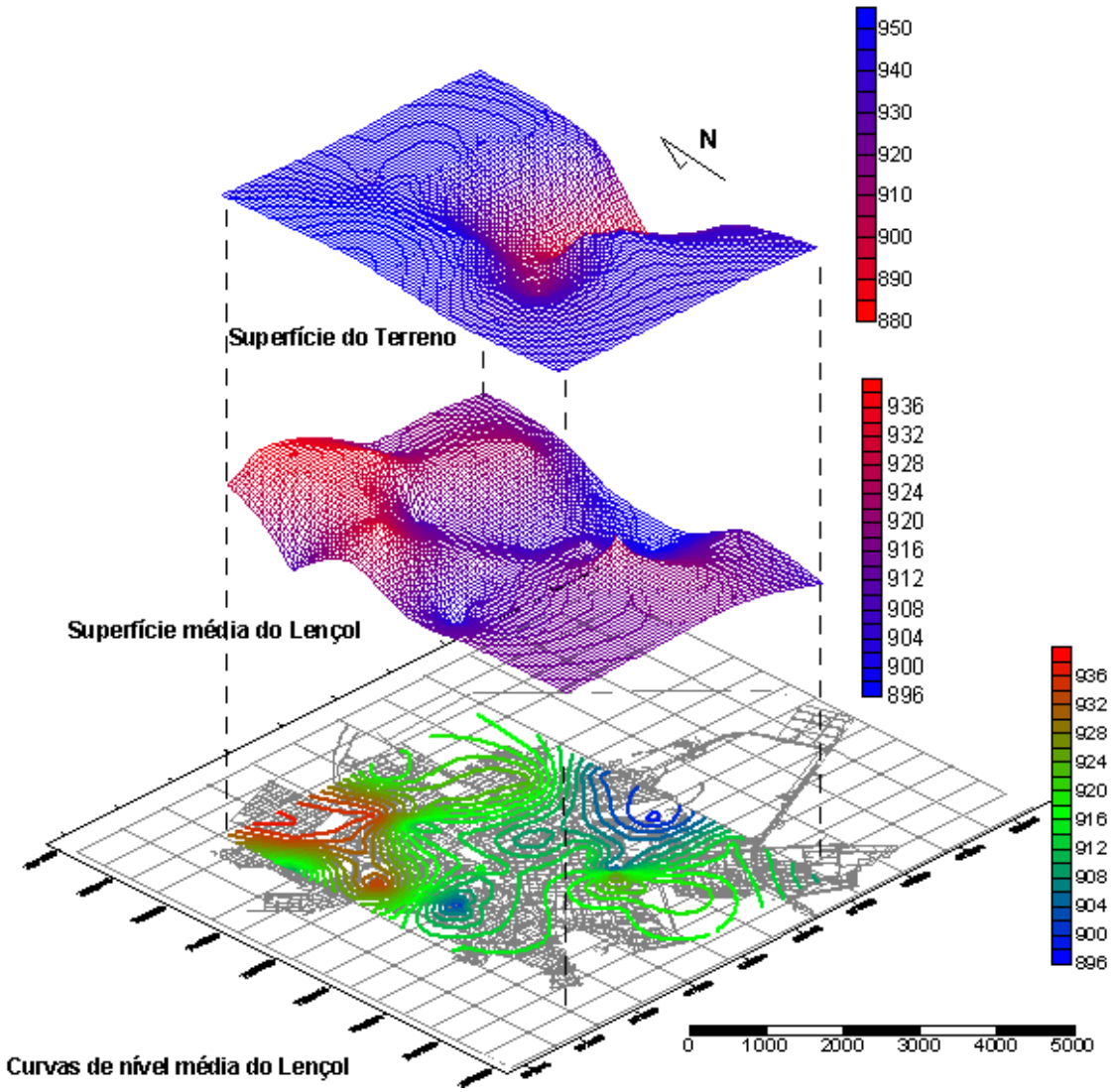


Figura 27 - Bloco diagrama da superfície potenciométrica do sistema Aquífero Bauru na zona urbana de Araguari. Valores dados em metros.

5.5 MAPAS DE LINHAS DE FLUXO

As Figuras 28 a 39 representam os mapas de linhas de fluxo do Aquífero Bauru em Araguari, nos meses de maio de 2008 a abril de 2009. Para tal, foram utilizados valores do nível freático (cotas da superfície do lençol) medidos no decorrer do monitoramento de

profundidade realizado. Os mapas foram elaborados a partir de dados dos 31 poços de monitoramento distribuídos na zona urbana da cidade.

Esse tipo de representação, apesar de não indicar a magnitude das velocidades, é útil para definir a direção e o sentido de escoamento da água subterrânea.

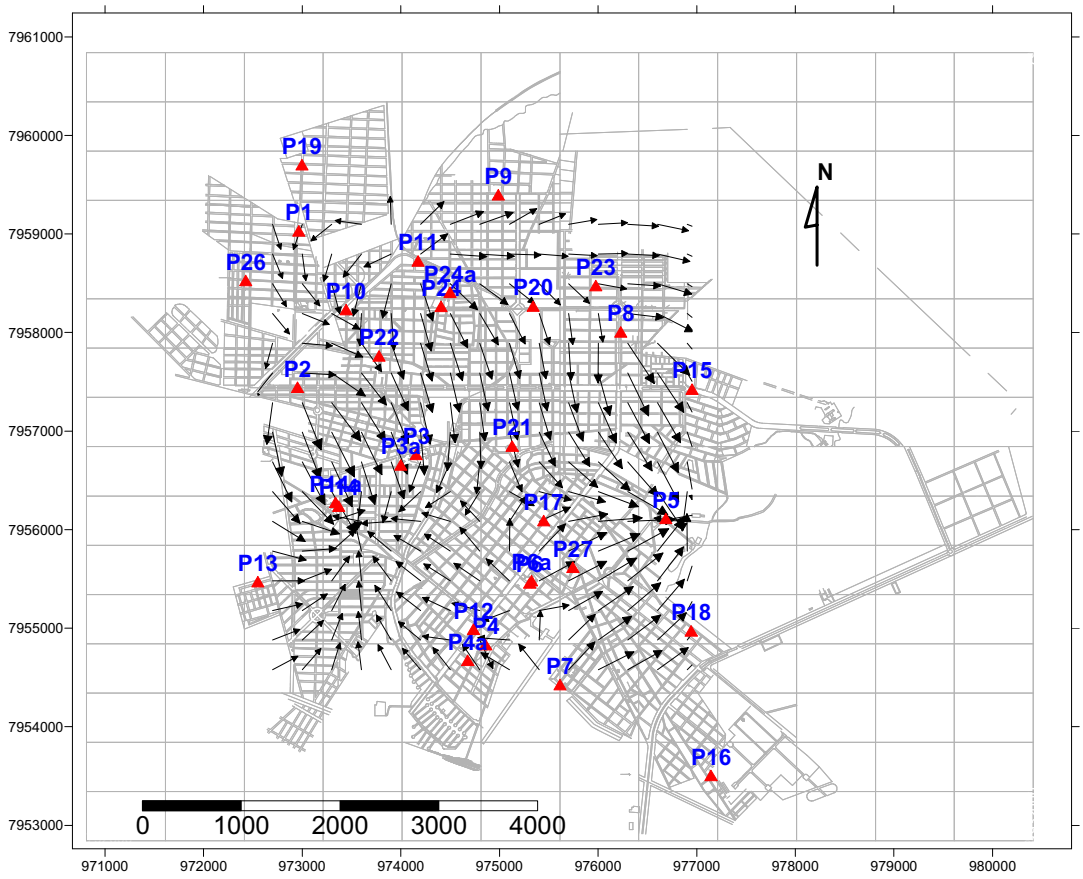


Figura 28 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: maio/2008

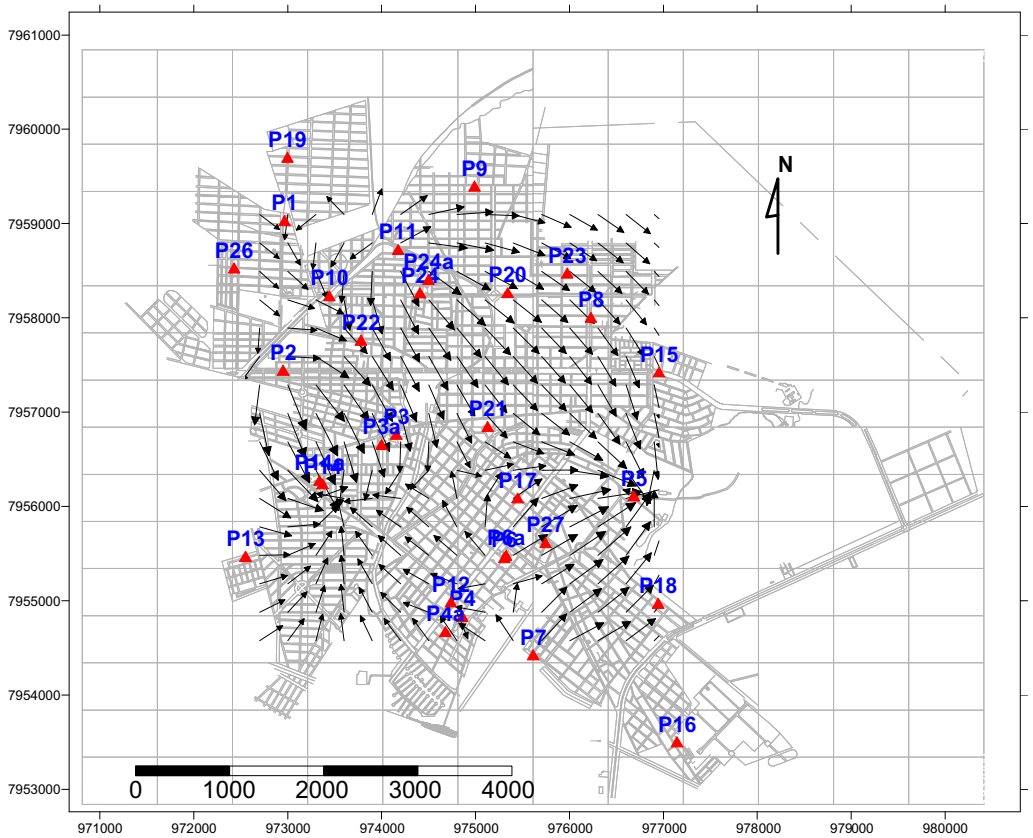


Figura 29 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: junho/2008

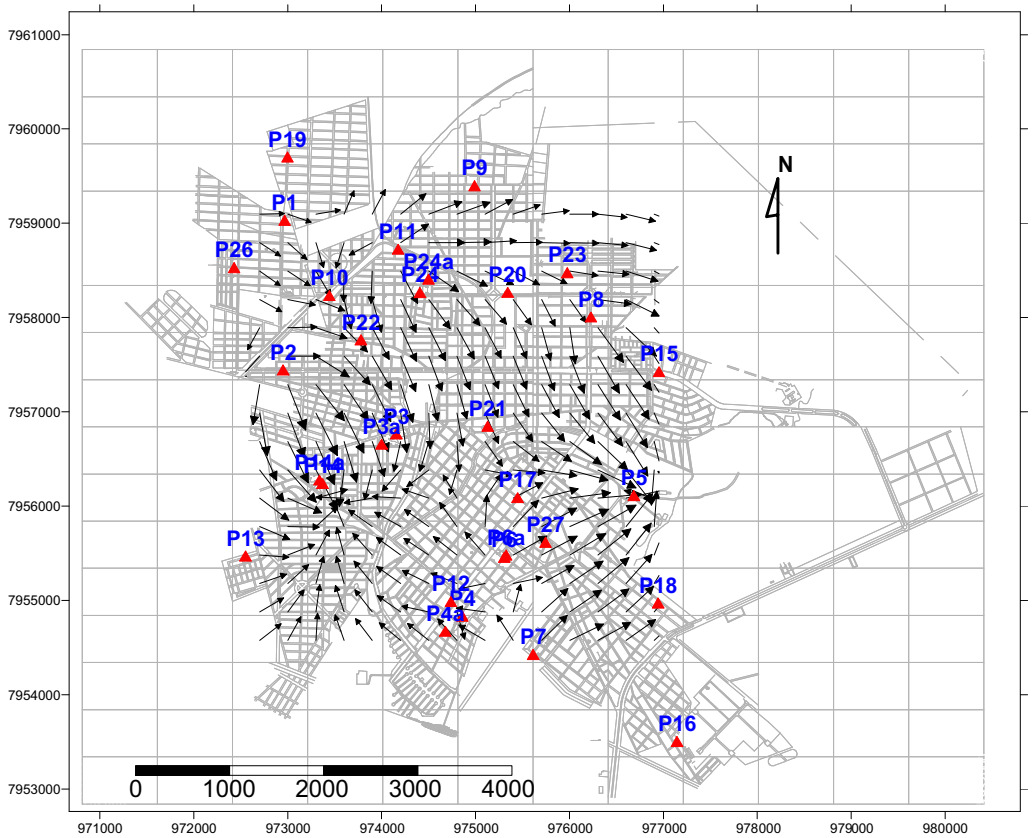


Figura30 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: julho/2008

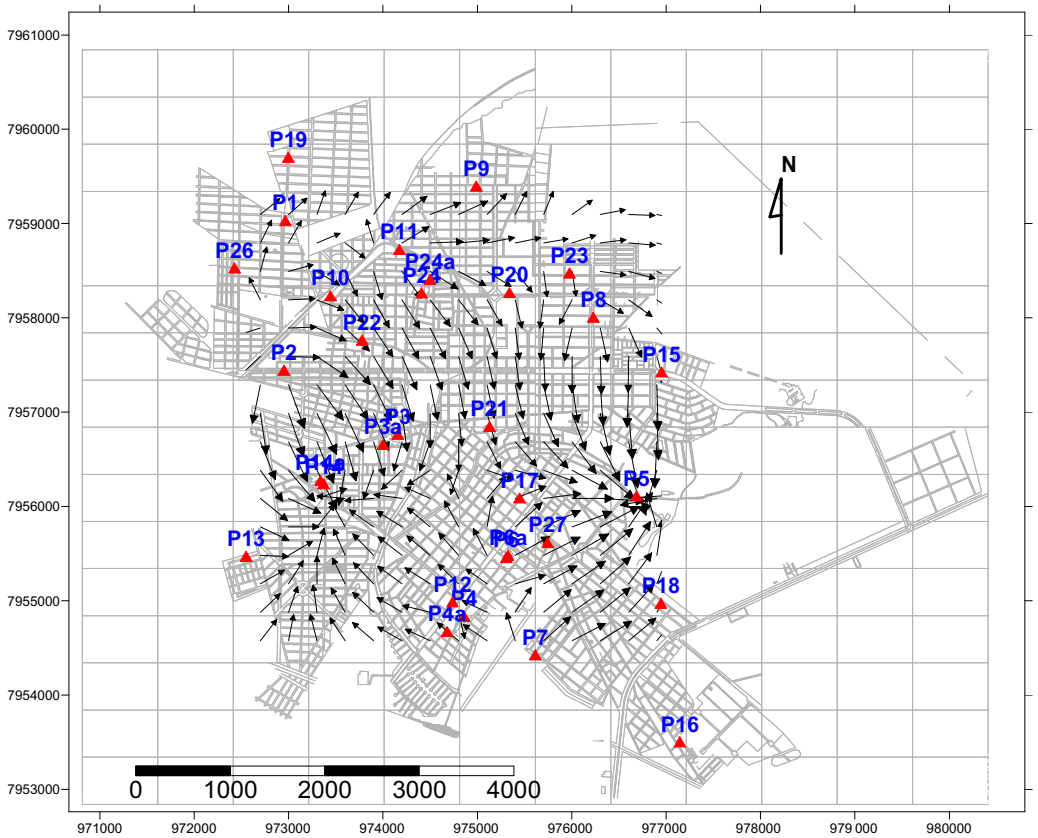


Figura 31 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: agosto/2008

Os padrões de escoamento dos meses de maio/2008 a agosto/2008 são praticamente os mesmos. Nesse período foram monitorados apenas 15 poços. Como já era esperado, constatou-se que os caminhos preferenciais do lençol é escoar para os pontos mais baixos da superfície freática. Sendo assim, verifica-se a tendência de escoamento ocorrer da periferia para a região central da cidade.

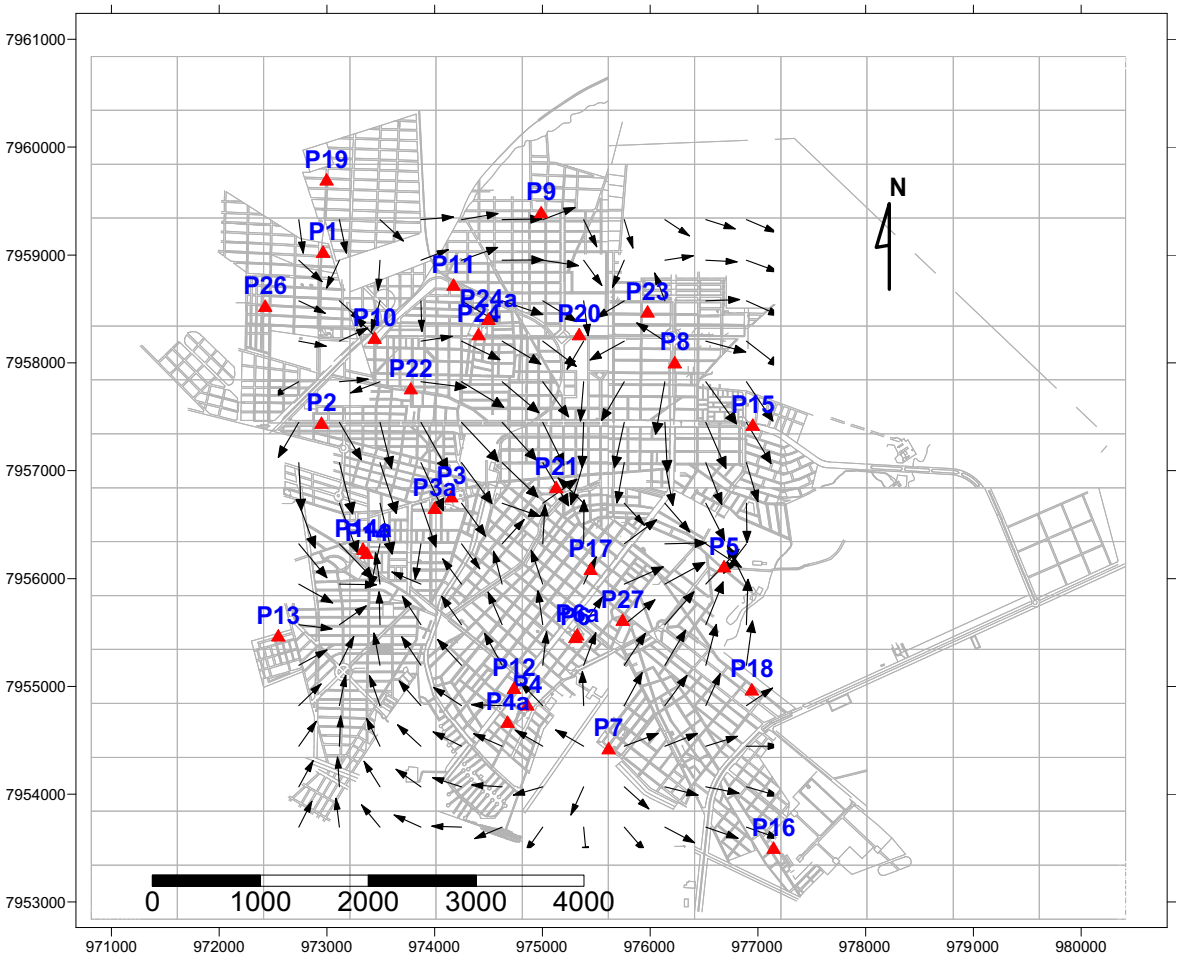


Figura 32 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: setembro/2008

A partir do mês de setembro/2008, o monitoramento do lençol foi estendido para 31 poços da cidade. Este fato permitiu identificar mais detalhadamente o padrão de escoamento de algumas regiões mais periféricas, como a região do poço P19 e P16 (Vieno e Lagoa Seca), assim como na região mais central da cidade, poços P21, P17 P22 E P27. Observou-se que, com a introdução dos poços de monitoramento P16 e P18 (Lagoa Seca e poço da Rua Raul José Belém), o perfil de escoamento próximo à região do poço P7 (Ginásio), alterou-se significativamente. O escoamento que outrora se dirigia para a região central da cidade passou a se dirigir para a região sudeste da mesma. O mesmo aconteceu com a introdução do novo poço de monitoramento P17 (Praça Getúlio Vargas). O sentido de escoamento próximo do poço P12 (Poço Novo da Minas Gerais) direcionou-se em sentido ao P17 e não mais para a região do Poço P14 (Bateria da Chancia) como acontecia anteriormente. Fatores como estes destacam a importância de se ampliar a rede de monitoramento, com a finalidade de se obter uma descrição mais precisa da superfície do lençol. Verificou-se que os vetores de fluxo são concêntricos na proximidade dos poços em funcionamento e dos

poços de cota piezométrica baixa. A tendência geral de escoamento se dá em sentido aos Poços P13, P21 e P5 (Chancia, Ginásio e Chácara do Fernando). Dessa forma, conclui-se que mesmo aumentando a quantidade de poços de monitoramento, o sentido preferencial de escoamento continua sendo a região central da cidade, conforme ilustram as figuras 33 a 39.

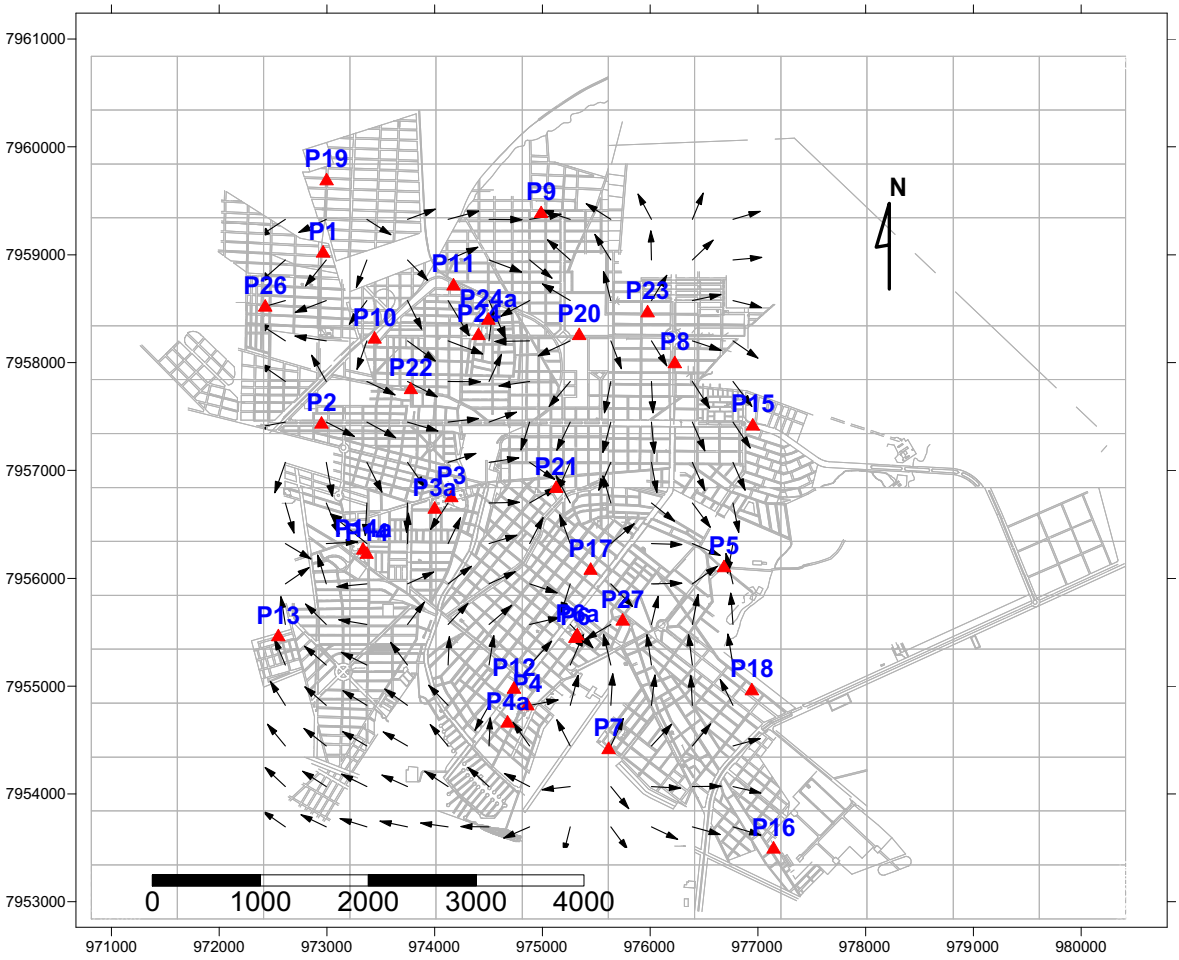


Figura 33 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: outubro/2008

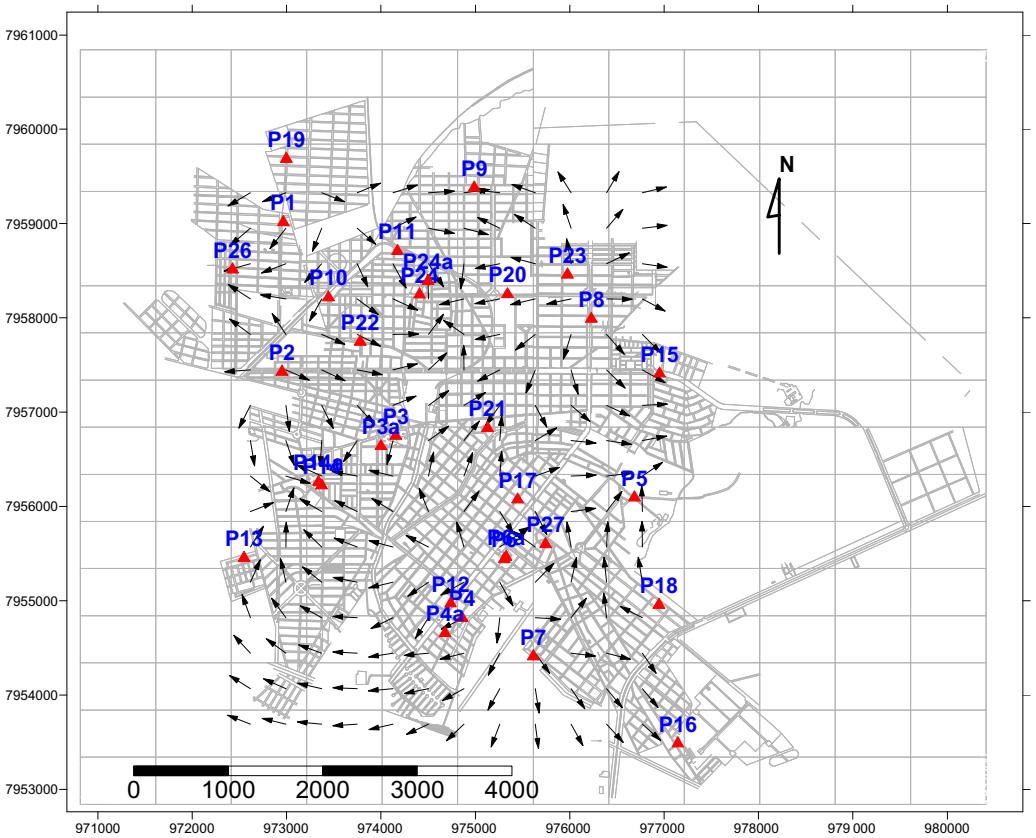


Figura 34 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: novembro/2008

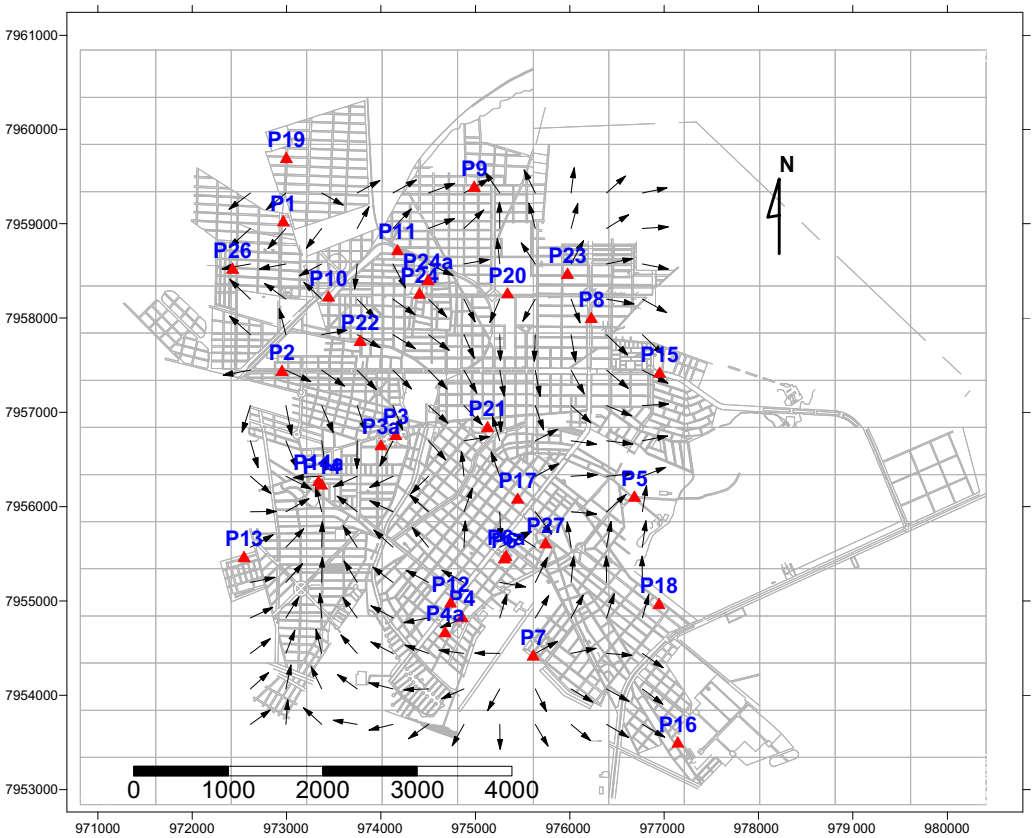


Figura 35 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: dezembro/2008

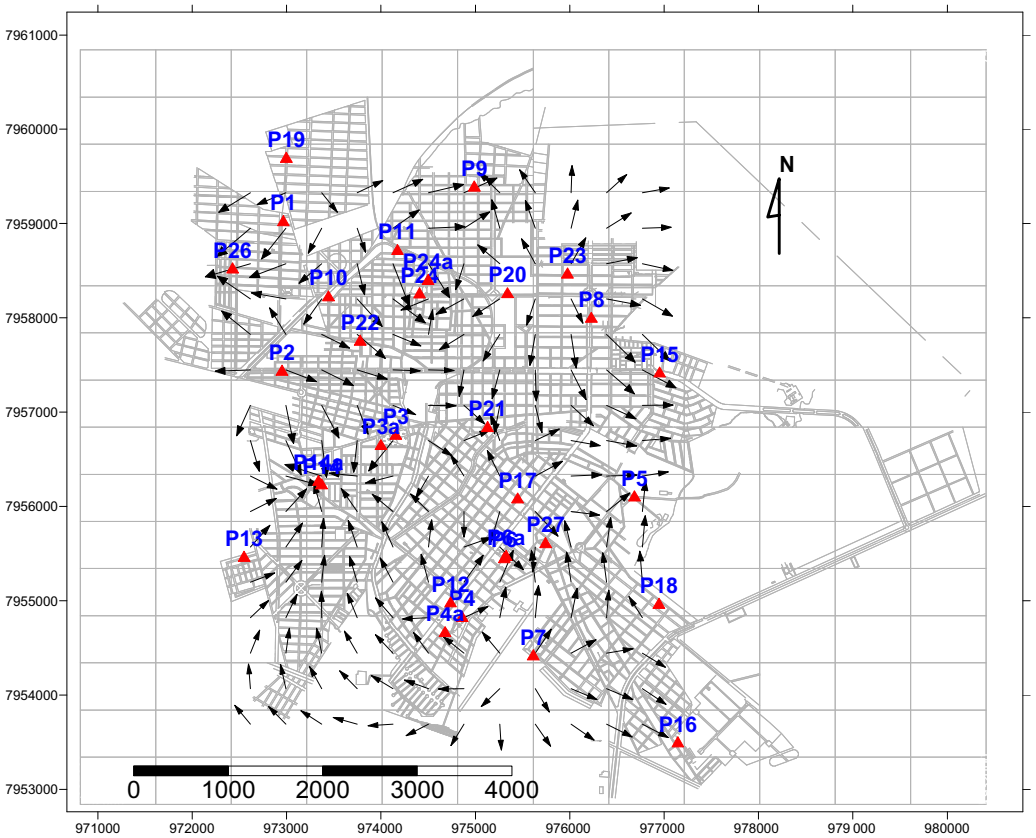


Figura 36 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: janeiro/2009

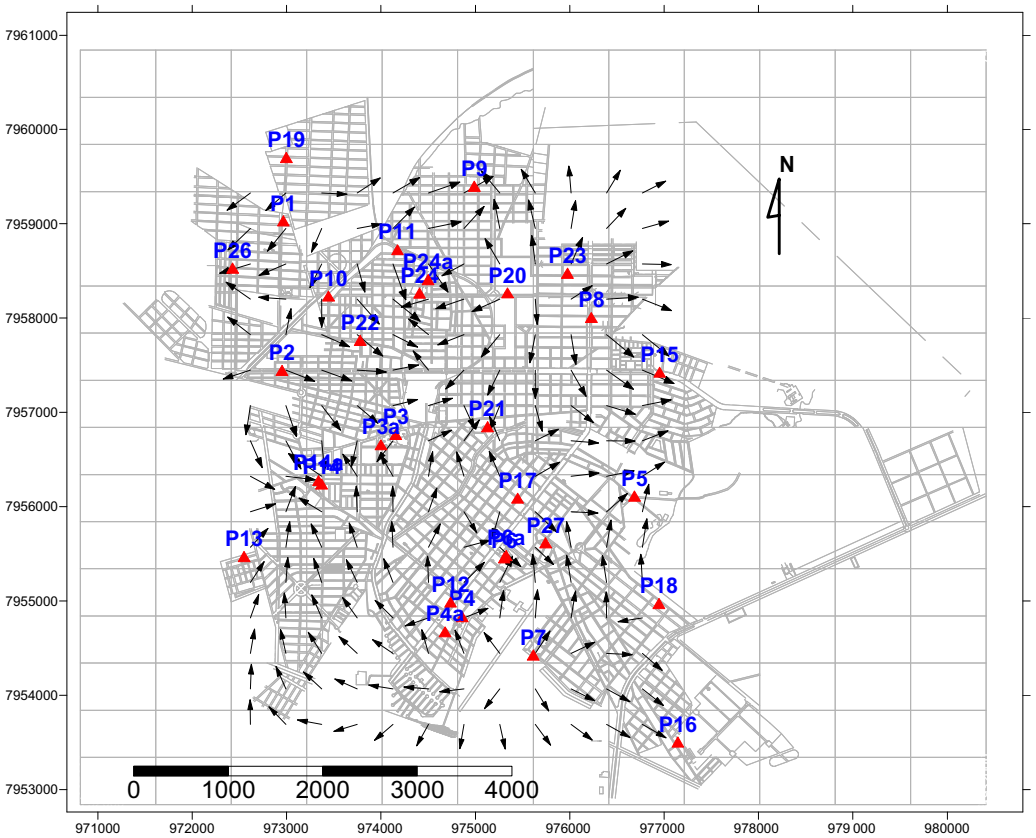


Figura 37 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: fevereiro/2009

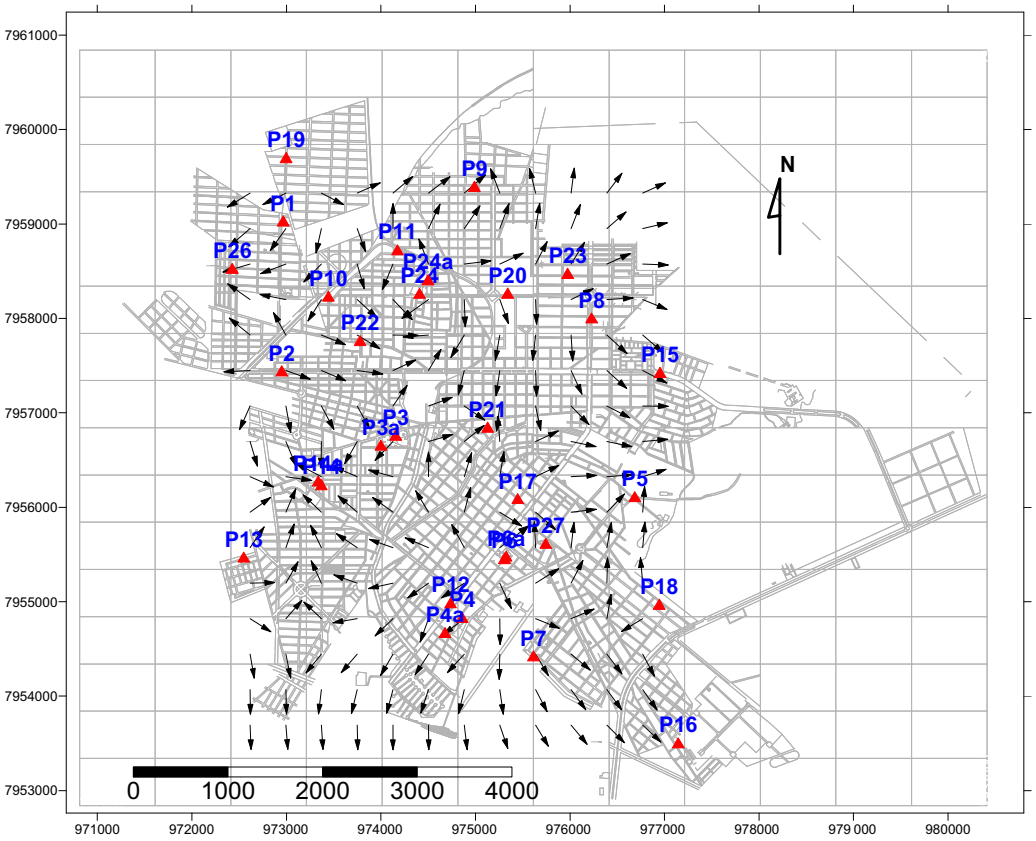


Figura 38 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: março/2009

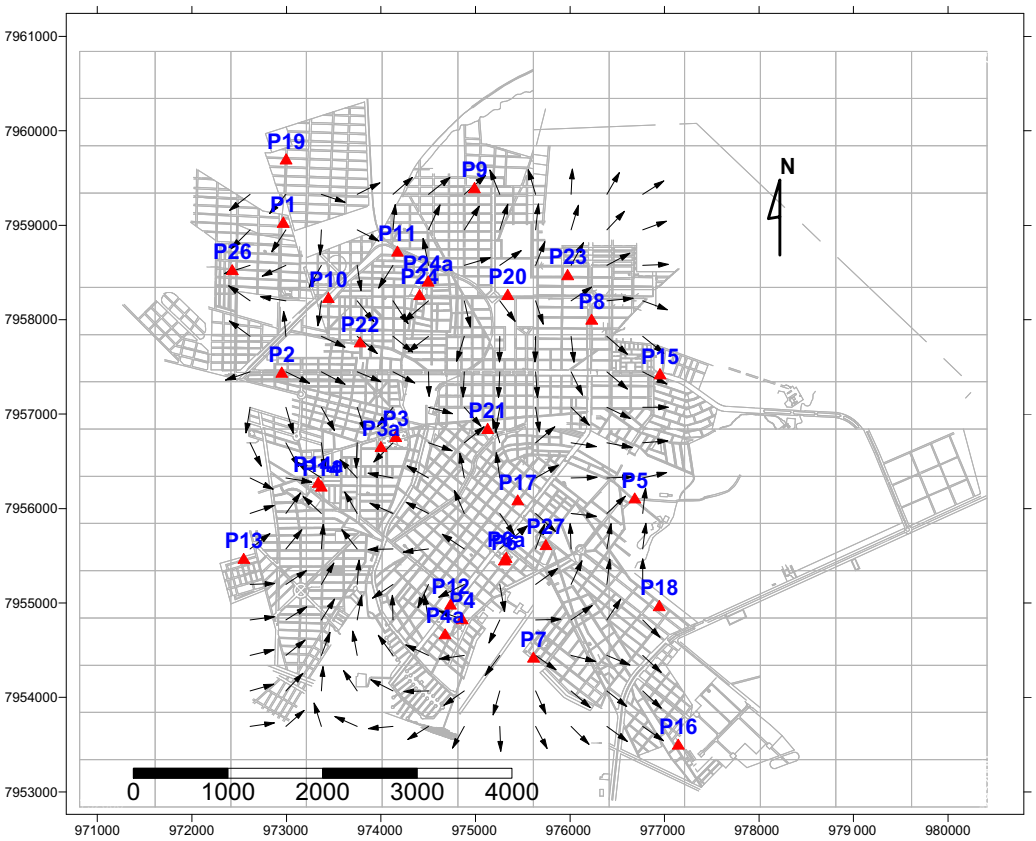


Figura 39 - Vetores de Fluxo da água subterrânea – mês: abril/2009

De uma maneira geral, todos os padrões de escoamento observados nos diferentes meses indicam que os vetores dirigem-se para o talvegue principal da cidade. Este fator evidencia que um determinado poluente, ao atingir o aquífero, tenderá a ser advectado para as regiões centrais da cidade ou, logicamente, para os poços bombeados mais próximos.

Com o intuito de melhor ilustrar o sentido do fluxo do lençol subterrâneo e também da superfície freática, foram elaboradas as Figuras 40 a 46, as quais permitem melhor visualização da superfície freática subjacente à zona urbana de Araguari.

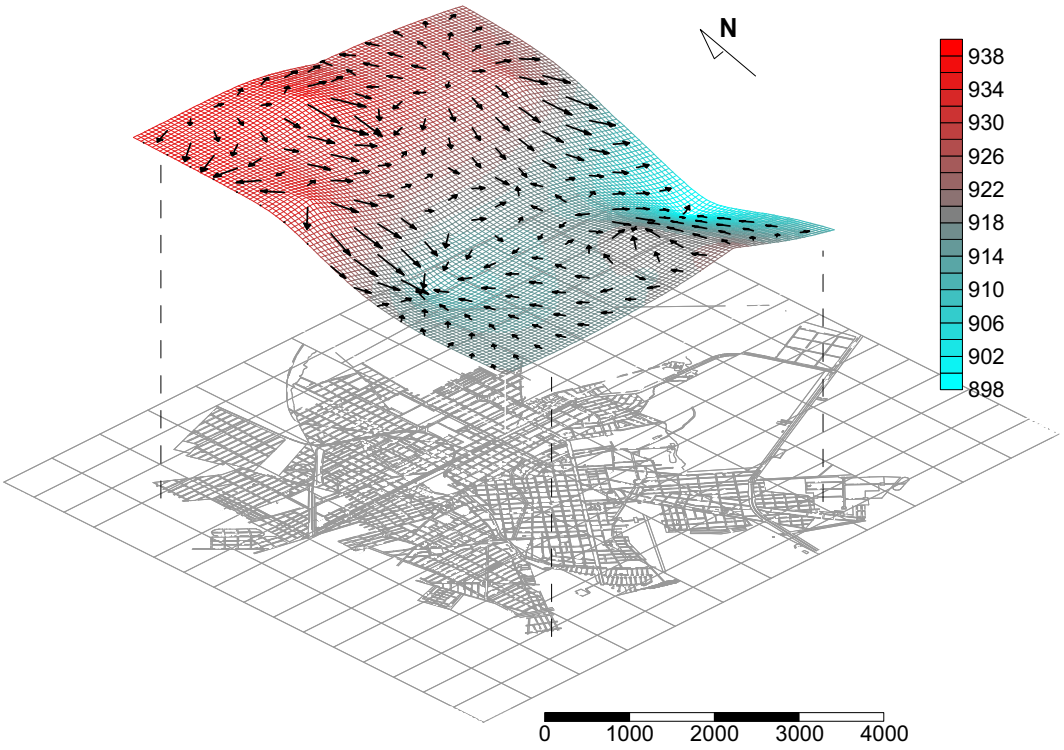


Figura 40 - Superfície freática e vetores de fluxo da água subterrânea – mês: maio/2008

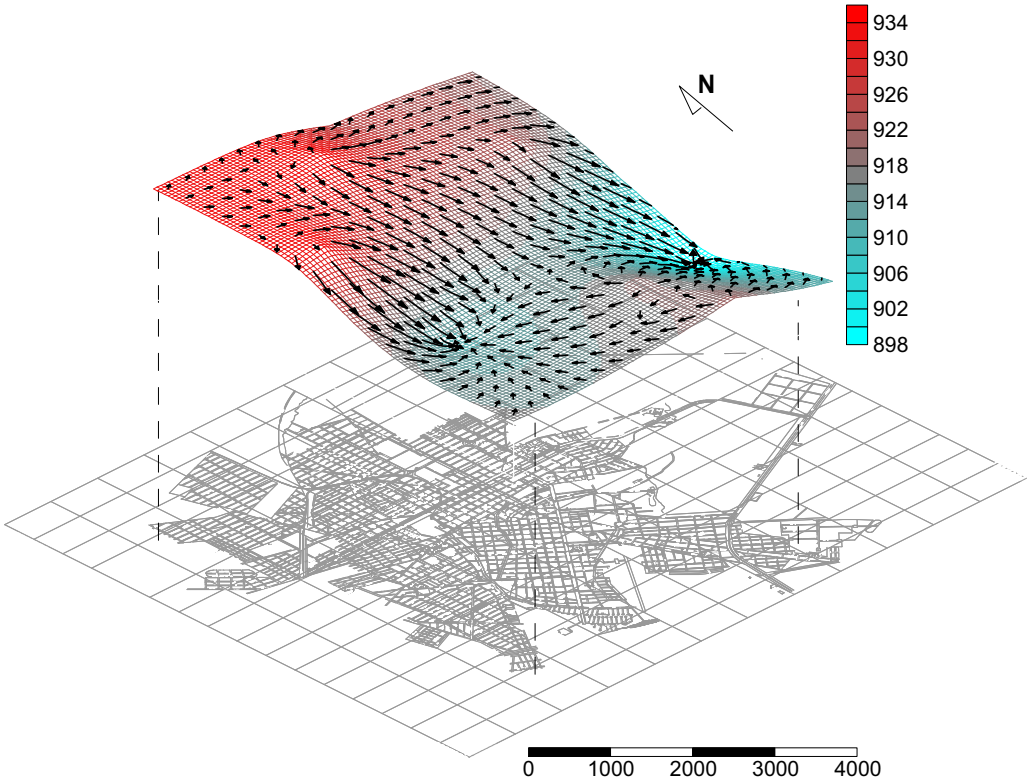


Figura 41 - Superfície freática e vetores de fluxo da água subterrânea – mês: julho/2008

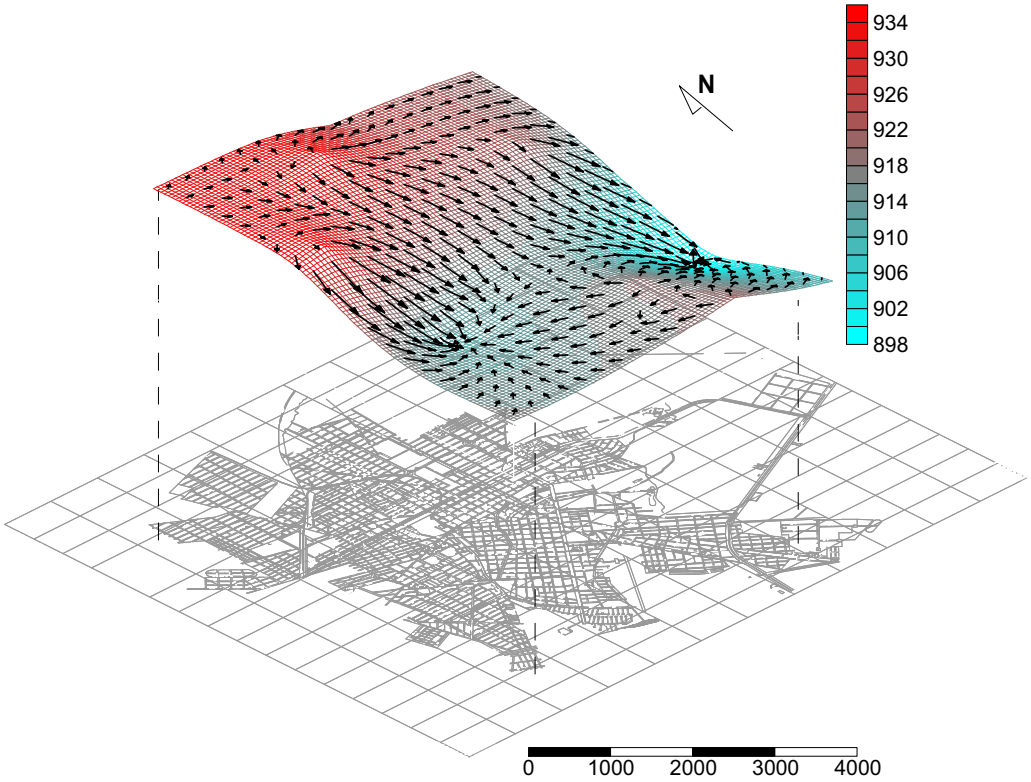


Figura 42 - Superfície freática e vetores de fluxo da água subterrânea – mês: setembro/2008

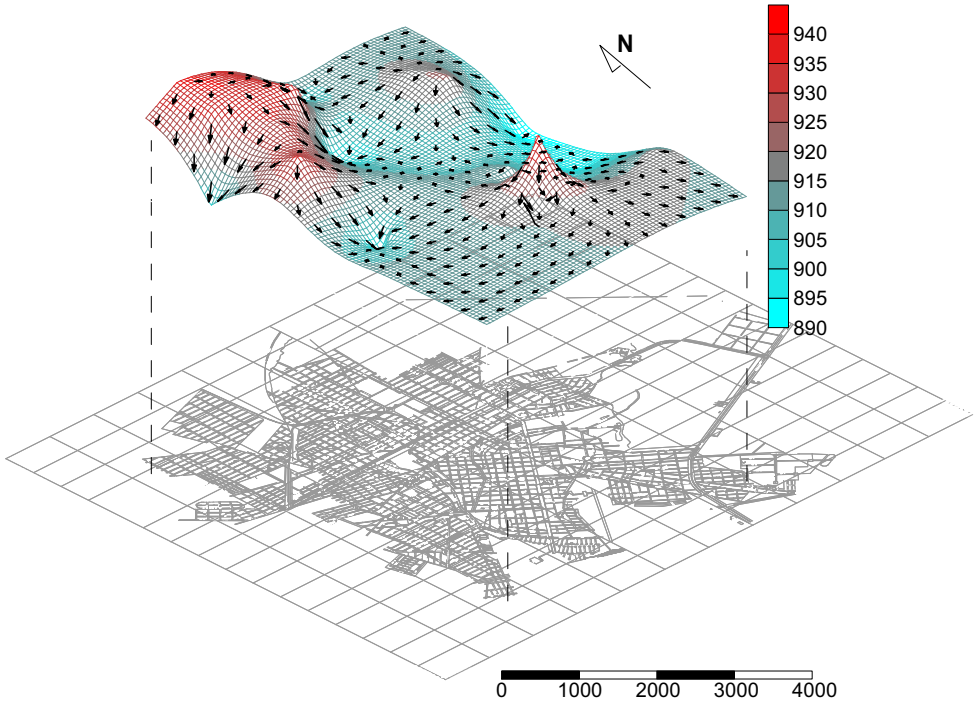


Figura 43 - Superfície freática e vetores de fluxo da água subterrânea – mês: novembro/2008

O mapa da Figura 44 apresenta recuperações evidentes de poços (picos) que correspondem aos poços desligados, cujos resultados mascararam a realidade da superfície freática.

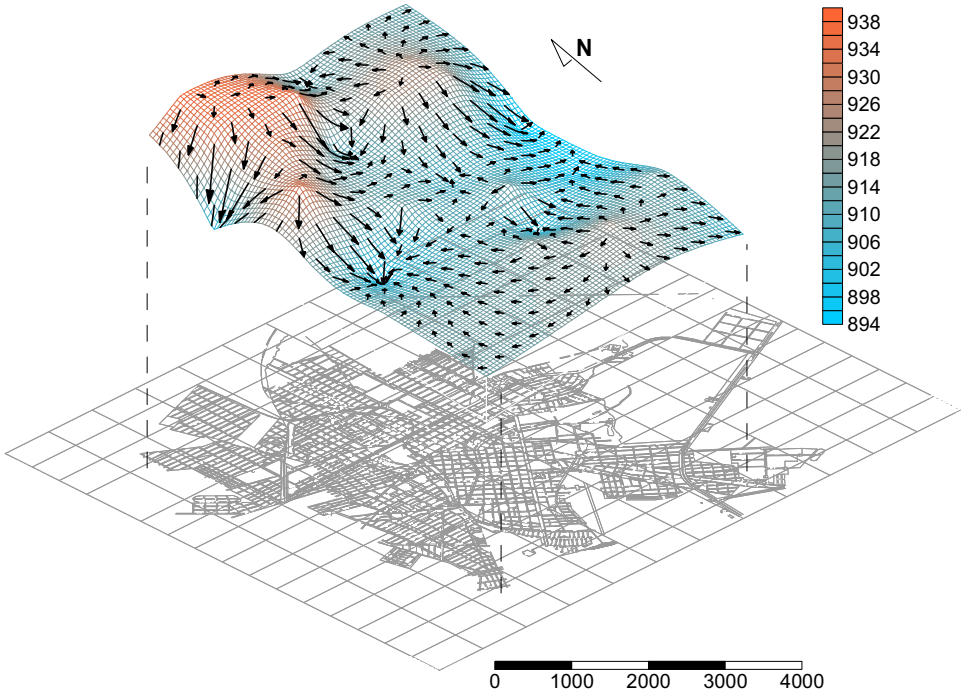


Figura 44 - Superfície freática e vetores de fluxo da água subterrânea – mês: janeiro/2009

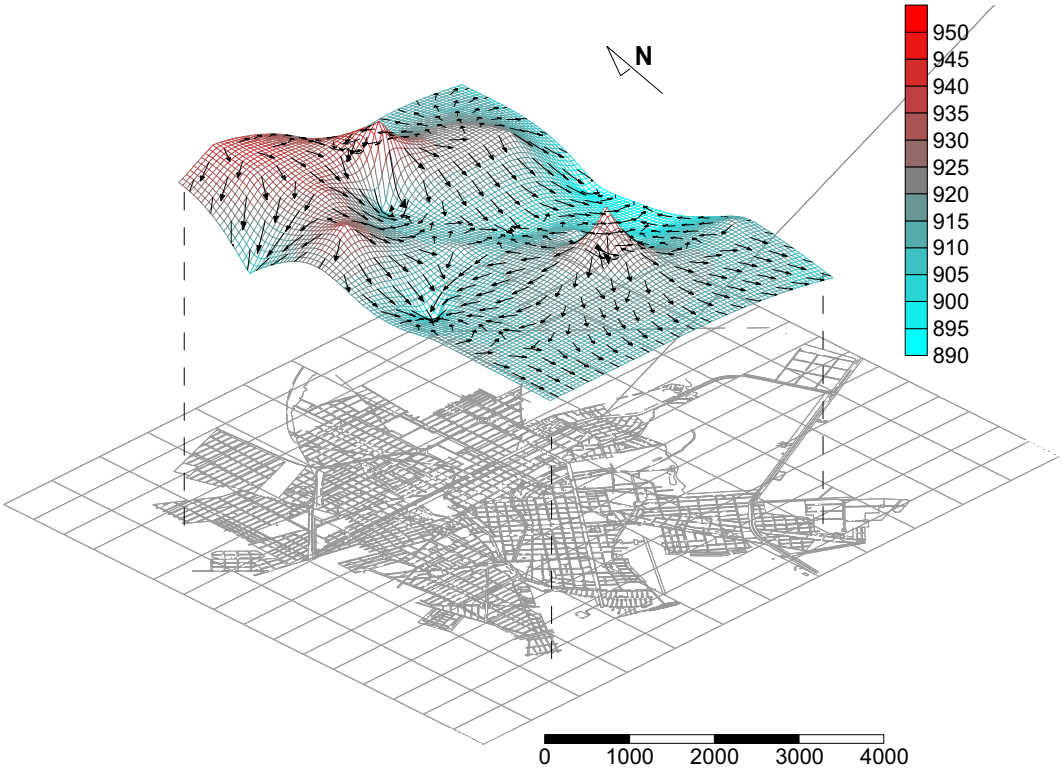


Figura 45 - Superfície freática e vetores de fluxo da água subterrânea – mês: março/2009

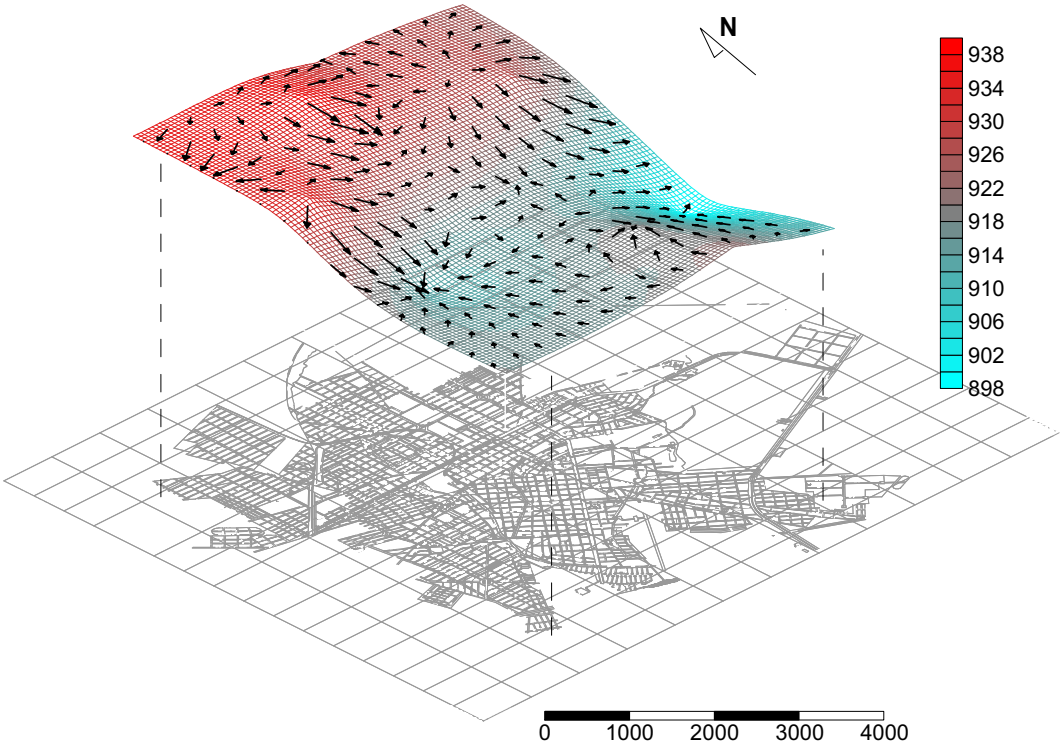


Figura 46 - Superfície freática e vetores de fluxo da água subterrânea – mês: maio/2009

5.6 QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é definida em função de valores limites permissíveis para variáveis físicas, químicas e biológicas. A Resolução CONAMA Nº 357 : 2005 enquadra as águas em cinco classes através de condições indispensáveis, visando aos diferentes usos e ao equilíbrio ecológico dos corpos hídricos. A classificação das águas subterrâneas é estabelecida a partir da Resolução CONAMA Nº 396 : 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas.

A água para consumo humano deve-se ajustar a padrões adequados de potabilidade, segundo as normas do Ministério da Saúde e da Organização Mundial de Saúde. A Portaria do Ministério da Saúde Nº 518: 2004, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, bem como o seu padrão de potabilidade. Nos subitens seguintes, são apresentados os resultados dos três parâmetros de qualidade analisados nesta pesquisa.

5.6.1 NITRATO (NO_3^-)

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de Nitrato entre 0,1 e 10 mg/L, porém, em águas poluídas, os teores podem chegar a 1000 mg/L (Santos, 2003).

Segundo a Portaria Nº 518 : 2004, a água destinada ao abastecimento humano não deve conter mais que 10 mg/L de Nitrato. Concentrações elevadas podem causar metahemoglobinemia (cianose) em crianças. O Nitrato pode chegar às águas subterrâneas através de esgotos domésticos e industriais ou pela lixiviação de áreas agrícolas, segundo destacam Franca *et al.* (2006).

5.6.1.1 AVALIAÇÃO ESPACIAL DA CONCENTRAÇÃO DE NITRATO

Durante o período de estiagem, correspondente ao mês de outubro de 2008, nas águas dos poços monitorados, as concentrações de Nitrato mantiveram-se entre 0,1 mg/L, nos poços (P2, P8, P4, P9, P13 E P19) e 5,5 mg /L, no P6 (Bateria do Estadual), conforme indica a Tabela 36.

Tabela 36 – Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Nitrato. Outubro/2008

	Identificação	**Nitrato (mg/L)**
P1	Poço novo S. Sebastião	0,9
P2	Coronel Belchior de Godoy	0,1
P6	Bateria Estadual	5,5
P8	Poço Miranda	0,1
P16	Lagoa Seca	0,7
P4	Bateria São Benedito	0,1
P9	Walter Santiago	0,1
P11	R. 21	0,2
P13	Madri	0,1
P19	Vieno	0,1

No período chuvoso (mês de janeiro e fevereiro de 2009), essas concentrações variaram entre 0,1 mg/L e 4,4 mg/L, atingindo o maior valor no Poço da Getúlio Vargas (P17), conforme indica a Tabela 37.

Tabela 37 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Nitrato. Janeiro/2009.

	Identificação	**Nitrato (mg/L)**
P10	Poço novo da Passarela	0,1
P18	Poço da José de Belém	0,3
P21	Ginásio	0,4
P17	Praça Getúlio Vargas	4,4
P26	Conj. Mauá (Poço Jaca)	0,2
P14	Bateria Chancia PC1	0,2
P12	Poço novo da Minas Gerais	0,1
P15	Poço da Theodoreto(*)	0,1
P16	Lagoa Seca	0,7
P20	Poço da Exposição	0,1

A Figura 47, construída a partir das interpolações dos dados das 20 análises laboratoriais, ilustra a distribuição espacial das concentrações de Nitrato.

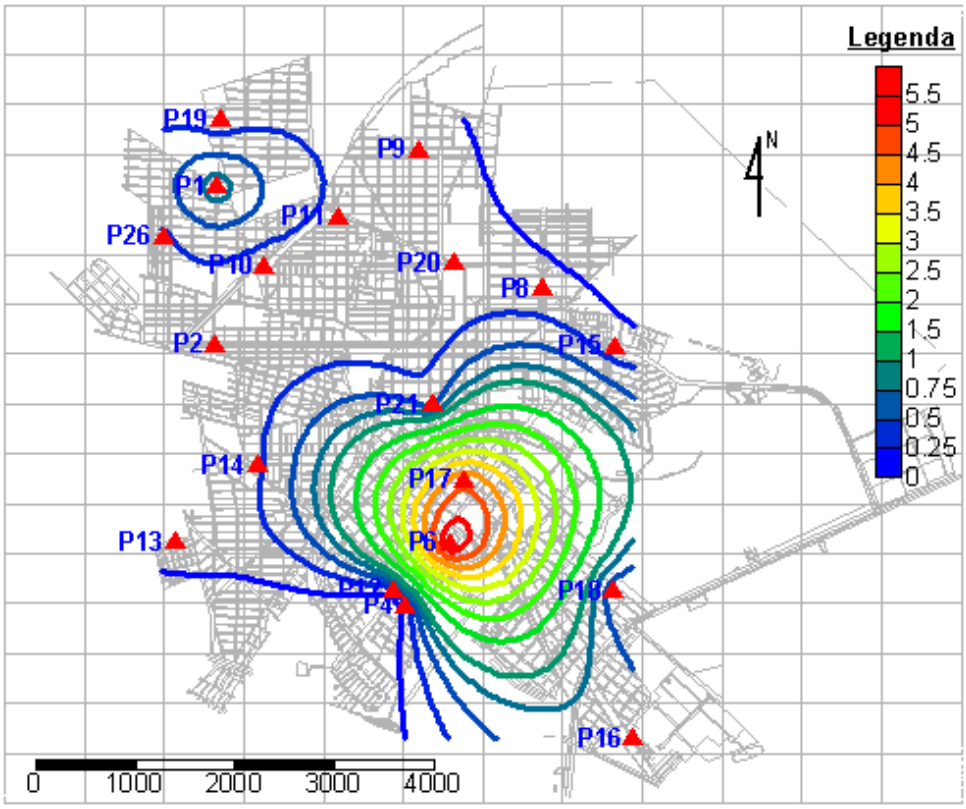


Figura 47 - Mapa de contorno das Concentrações de Nitrato na zona urbana de Araguari (avaliação espacial). Valores em mg/L.

A Figura 47 destaca que a região dos Poços P17 e P6 (Praça Getúlio Vargas e Bateria do Estadual) é uma região preocupante, visto que as maiores concentrações (4,4 mg/L e 5,5 mg/L, respectivamente) foram encontradas nas análises de água destes poços. Analisando o mapa de uso e ocupação do solo, percebe-se que estes poços estão inseridos em uma área residencial com rede de esgoto, o que afasta a hipótese de que tais resultados sejam conseqüência de uma poluição regional.

Um outro fator que foi considerado foi a possível poluição originada em uma região mais afastada, de forma que o poluente fosse carreado pelo escoamento subterrâneo até a região dos poços P17 e P6. Para tal verificação, os mapas de vetores de fluxo foram analisados e identificou-se que não há convergência do escoamento para a região destes poços. Além disto, não existe área agrícola e industrial próxima a estes poços. Portanto, o que se conclui é que estas concentrações de Nitrato são provenientes de algum processo de poluição pontual. Como não há regiões agrícolas próximas, haja vista que tais poços localizam-se

próximos ao centro da cidade, há indícios de que essa poluição por Nitrato possa ter origem no esgoto doméstico.

As águas do lençol subterrâneo da cidade de Araguari, durante o período seco e chuvoso, enquadram-se no limite de 10 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 396: 2008 e pela Portaria M.S. Nº518: 2004, não apresentando, em nenhum caso, concentrações superiores. Esses resultados indicam que a poluição por Nitrato ainda não é preocupante para a qualidade da água subterrânea captada na zona urbana da cidade. As concentrações pouco elevadas nos limites norte, nordeste e noroeste da cidade, setores próximos de atividades agrícolas, indicam que o Nitrato, proveniente da fertilização do solo, ainda não tem atingido, de forma alarmante, a zona de captação de água para abastecimento público. A despeito disto, sugere-se que a qualidade da água bruta nessas regiões, principalmente no tocante ao parâmetro Nitrato, seja monitorada com mais freqüência.

5.6.1.2 AVALIAÇÃO TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE NITRATO

Como forma de avaliar as variações temporais das concentrações de nitrato, a terceira bateria de análises foi realizada em 10 poços já avaliados anteriormente. Todavia, nesta foram utilizadas amostras de água tratada da série de amostras semanais da própria SAE. Os poços selecionados para esta avaliação encontram-se detalhados na Tabela 38.

Tabela 38 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Nitrato. Julho/2009.

	Identificação	**Nitrato (mg/L)**
P9	Walter Santiago	0,3
P18	Poço da Raul José Belém	0,8
P20	Poço da Exposição	0,5
P6	Poço Bateria Estadual	1,4
P28	Poço da Av. Batalhão Mauá	0,6
P14	Bateria Chancia PC1	0,4
P3	Bateria de Fátima	0,9
P15	Poço da Theodoreto	0,4
P13	Poço Madri	0,3
P19	Poço Vieno	0,4
P29	Contingente	0,6

A Figura 48 ilustra a distribuição das concentrações de Nitrato relativas ao mês de Junho/2009.

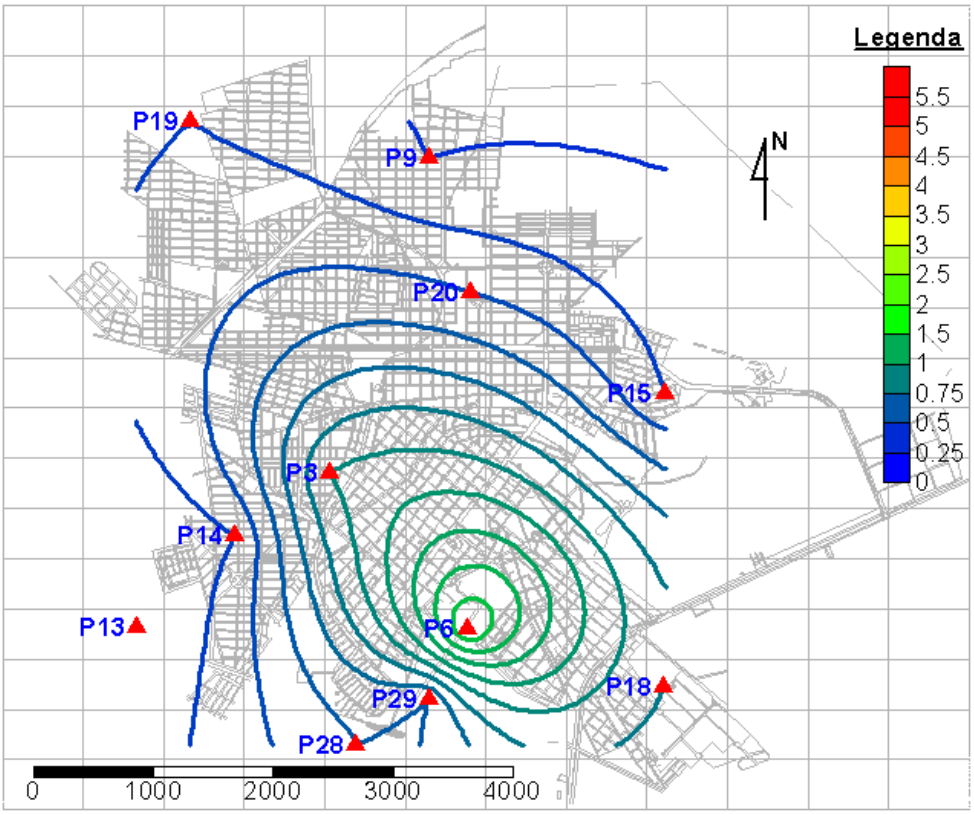


Figura 48 - Mapa de contorno das concentrações de Nitrato na zona urbana de Araguari (avaliação temporal). Valores em mg/L.

Alguns poços, sistematicamente, apresentaram valores mais altos e/ou mais baixos de nitrato enquanto outros não demonstraram possuir qualquer tipo de tendência de variação. Em média, as concentrações nas regiões nordeste, noroeste e sudoeste da zona urbana de Araguari, permaneceram inferiores a 0,7 mg/L. Apesar disto, um declínio significativo de 3,9 mg/L foi verificado na região sudeste da cidade, particularmente no poço P6 (Bateria do Estadual).

De maneira geral, o que se identificou com a avaliação temporal e espacial da concentração de Nitrato na zona urbana da cidade, foi a que a região sudeste da mesma apresentou as maiores concentrações do referido parâmetro. Ressalta-se, portanto, que nessa região deva existir alguma fonte poluidora que esteja alterando essas concentrações. Recomenda-se a identificação e controle desta possível fonte poluidora. Apesar disto, todos os valores encontrados permanecem abaixo de 10 mg/L.

5.6.2 DBO (DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO)

A Portaria M.S. Nº518: 2004 e a Resolução CONAMA Nº 396: 2008, não fazem referências quanto aos valores máximos permitidos para o parâmetro DBO5. Já a Resolução CONAMA Nº 357: 2005, indica uma concentração máxima de 3 mg/L para as classes de águas doces (classes especial e 1), 5 mg/L para classe 2, 10 mg/L para classe 3; para a classe 4 não faz referência.

5.6.2.1 AVALIAÇÃO ESPACIAL DA CONCENTRAÇÃO DE DBO

Os valores de DBO, monitorados com freqüência trimestral, encontram-se detalhados nas Tabelas 39 e 40.

Tabela 39 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: DBO_5. Outubro/2008

	Identificação	**DBO_5 (mg/L)**
P1	Poço novo S. Sebastião	0,71
P2	Poço da Cor. Belchior	2
P6	Bateria Estadual	7,6
P8	Poço Miranda	0,57
P16	Lagoa Seca	3,7
P4	Bateria São Benedito	2,1
P9	Walter Santiago	6,4
P11	R. 21	2,5
P13	Madri	0,8
P19	Vieno	1,2

Tabela 40 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: DBO_5. Janeiro/2009.

	Identificação	**DBO_5 (mg/L)**
P10	Poço novo da Passarela	47
P18	Poço da José de Belém	7
P21	Ginásio	7
P17	Praça Getúlio Vargas	8
P26	Poço Jaca (Conj. Mauá)	9
P14	Bateria Chancia PC1	8,1
P12	Poço novo da Minas Gerais	22,4
P15	Poço da Theodoreto	6,8
P16	Lagoa Seca	3,2
P20	Poço da Exposição	6,4

O mapa de distribuição espacial das concentrações de DBO_5, construído a partir das interpolações dos dados das 20 análises laboratoriais, está representado na Figura 49.

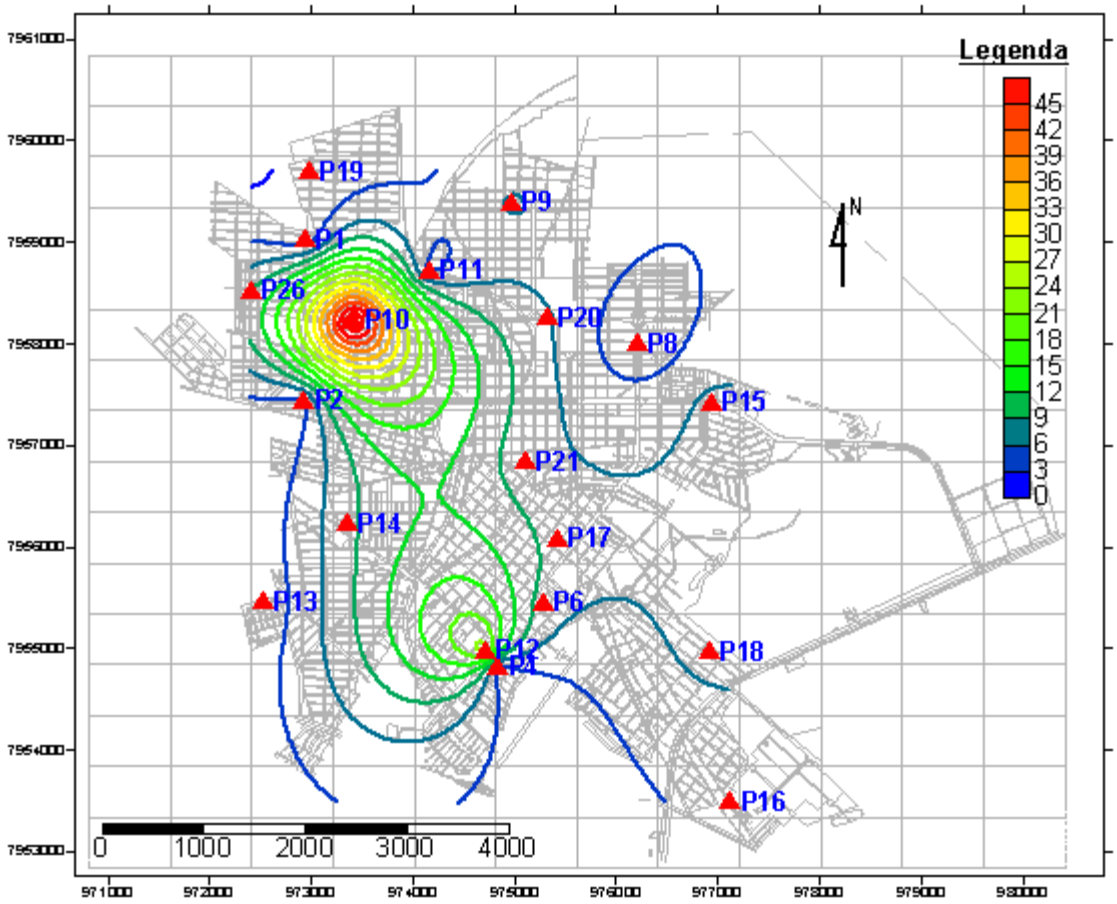


Figura 49 - Mapa de contorno das concentrações de DBO_5 na zona urbana de Araguari (avaliação espacial). Valores em mg/L.

Durante o período seco (análise do mês de outubro), o maior valor de DBO_5 observada na água subterrânea de Araguari foi de 7,6 mg/L (Poço da Bateria do Estadual P6) e o menor de 0,71 mg/L (Poço novo do Bairro São Sebastião P1). De acordo com o mapa de Uso e Ocupação do Solo, elaborado neste trabalho, o Poço P6 encontra-se em uma região provida de rede coletora de esgoto, apesar da concentração de 7,6 mg/L de DBO_5. O Poço P9, que apresentou uma concentração de 6,4 mg/L de DBO_5, também está localizado em uma área provida de rede coletora de esgoto. Este, porém, situa-se próximo de uma região carente das mesmas condições sanitárias (Bairro Palmeiras do Império e Jardim Panorama).

Durante o período chuvoso, o valor máximo foi 47 mg/L (Poço Novo da Passarela – P10) e o valor mínimo foi de 3,2 mg/L (Poço da Lagoa Seca – P16). Em termos médios, houve um acréscimo bastante significativo na DBO_5 durante o período chuvoso. Esta passou de 2,76 mg/L, no período de seca, para 12,49 mg/L, no período chuvoso. Os valores de DBO, no período chuvoso, apresentaram-se bastante elevados, confirmando que o lençol subterrâneo apresenta carga orgânica poluidora.

Analisando os mapas de vetores, que indicam o sentido do escoamento do lençol, percebe-se que a água da região sem rede de esgoto, próxima dos poços P26, P1 e P9 (bairros Vieno, Goiás e São Judas Tadeu), converge para o poço P10. Este fato indica que a carga poluidora proveniente dessa região deve estar migrando para bairros próximos, principalmente para a região do poço P10 (Novo da Passarela), uma vez que este apresentou concentrações elevadas de DBO_5 (47mg/l). Não se pode afirmar, contudo, que esta poluição seja proveniente exclusivamente de esgotos domésticos, devido ao fato de que, conforme os resultados do item seguinte, não foram encontrados coliformes fecais nessas proximidades.

O poço P19, apesar de estar inserido nas regiões acima referidas, apresentou concentração baixa de DBO_5 (1,2 mg/L). O Poço P26, que também se localiza nesta região, apresentou concentrações de 9 mg/L. Os poços P18, P21, P17, P14, P12 e P20, apresentaram valores elevados de DBO_5, variando de 6,4 a 22,4 mg/L e média de 9,82 mg/L. Todos estes situam-se em locais providos de rede coletora de esgoto.

Utilizando as referências da Resolução CONAMA Nº 357: 2005, e tendo o recurso água subterrânea para abastecimento classificado como classe 2, verifica-se que em 60 % das análises, os valores encontrados superam o mínimo estabelecido de 5 mg/L. A despeito disto, cuidados devem ser tomados na região dos poços P6, P16, P9, P10, P18, P21, P17, P26, P14, P12, P15 e P20, a começar pela identificação da(s) fonte(s) poluidora(s).

5.6.2.2 AVALIAÇÃO TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE DBO_5

A terceira bateria de exames de DBO foi realizada em junho de 2009. Para tal, foram considerados os poços descritos na Tabela 41. Procurou-se refazer as análises nos poços que apresentaram as maiores concentrações nas análises anteriores.

Tabela 41 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: DBO_5. Julho/2009.

N° Poço	Endereço	DBO_5 (mg/L)
P16	Lagoa Seca	15,9
P4	Bateria São Benedito	11
P9	Walter Santiago	14,2
P10	Poço novo da Passarela	47,1
P17	Praça Getúlio Vargas	9,6
P26	Poço Jaca (Conj. Mauá)	15,7
P14	Bateria Chancia PC1	9,1
P12	Poço novo da Minas Gerais	8,1
P15	Poço da Theodoreto	13,7
P20	Poço da Exposição	16,6

Comparando os valores das Tabelas 39 e 40 com a Tabela 41, percebe-se um aumento das concentrações de DBO_5 em toda a zona urbana de Araguari. A Figura 50 ilustra esse fato.

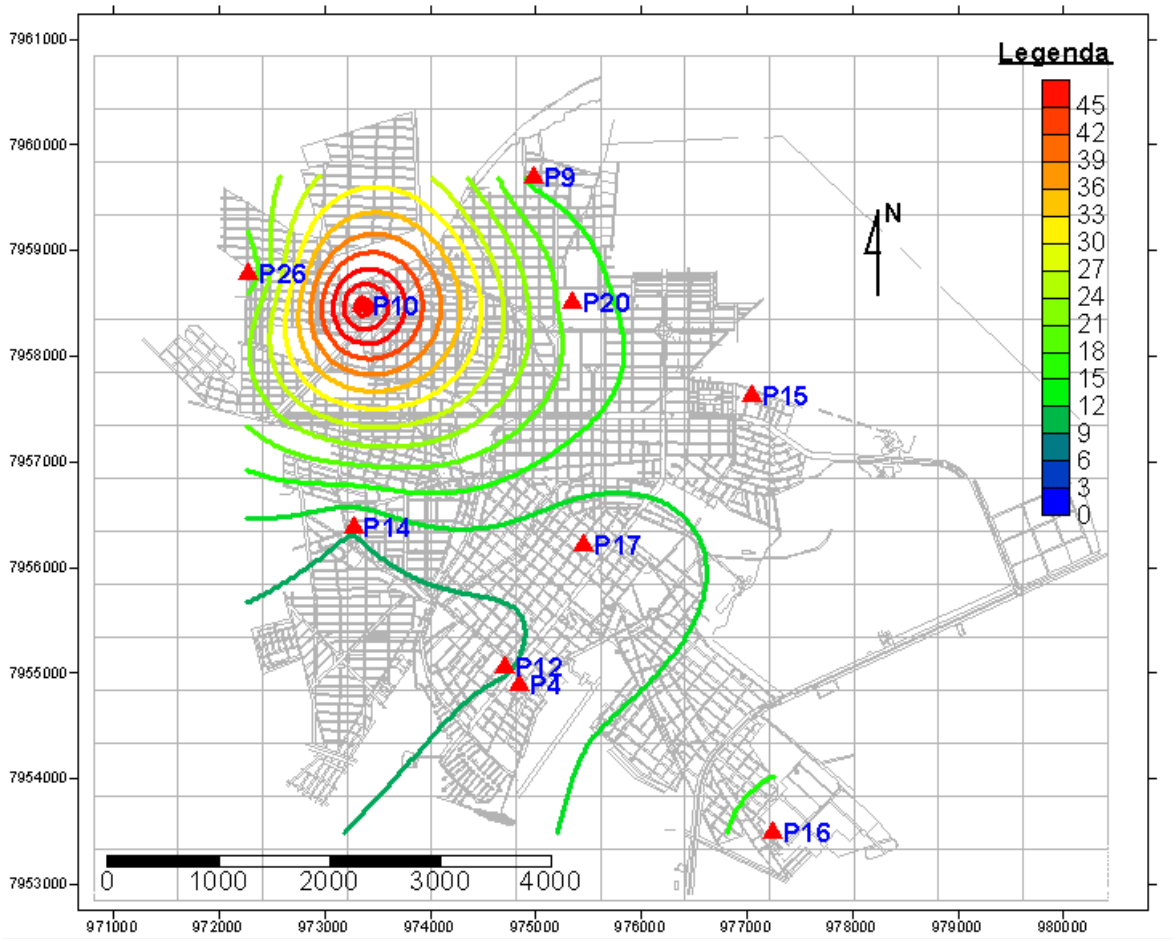


Figura 50 - Mapa de contorno das Concentrações de DBO_5 na zona urbana de Araguari (avaliação temporal). Valores em mg/L.

Nesta terceira bateria de análise de DBO, todos os poços monitorados apresentaram concentrações acima do valor máximo recomendado pela Resolução 357 do CONAMA (2005). Os valores encontrados confirmam que a região norte da cidade, principalmente a área próxima ao poço P10 é a mais preocupante, haja vista que esta apresentou concentrações elevadas de DBO_5 (cerca de 47 mg/L). Dessa forma, sugere-se que haja um monitoramento mais freqüente desse parâmetro.

5.6.3 COLIFORMES

5.6.3.1 AVALIAÇÃO ESPACIAL DA CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES

As concentrações de coliformes totais e fecais nas águas dos poços apresentaram pouca variação ao longo do período de monitoramento, como mostram as Tabelas 42 e 43.

Tabela 42 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Coliformes. Outubro/2008.

N° Poço	Endereço	Coliformes Totais (NMP)	Coliformes Fecais (NMP)
P1	Poço novo S. Sebastião	0	0
P2	Poço da Coronel Belchior	0	0
P6	Bateria Estadual	0	0
P8	Poço Miranda	0,2	0
P16	Lagoa Seca	500	0
P4	Bateria São Benedito	900	0
P9	Walter Santiago	2	0
P11	R. 21	8	0
P13	Madri	0	0
P19	Vieno	0	0

* NMP (número mais provável/100mL)

Tabela 43 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Coliformes. Janeiro/2009.

N° Poço	Endereço	Coliformes Totais (NMP)	Coliformes Fecais (NMP)
P10	Poço novo da Passarela	4	0
P18	Poço da José de Belém	0	0
P21	Ginásio	0	0
P17	Praça Getúlio Vargas	0	0
P26	Poço Jaca (Conj. Mauá)	0	0
P14	Bateria Chancia PC1	0	0
P12	Poço novo da Minas Gerais	0	0
P15	Poço da Theodoreto (*)	0	0
P16	Lagoa Seca	0	0
P20	Poço da Exposição	0	0

* NMP (número mais provável/100mL)

Dos dez poços amostrados no mês de Outubro, correspondente ao período mais seco das coletas, cinco poços (P1, P2, P6, P13, P19), não apresentaram coliformes (totais e fecais) em nenhuma das análises. Este fato é relevante, visto que os poços P1, P2 e P19, encontram-se localizados em regiões sem rede coletora de esgoto doméstico. Além disto, o lençol, na região desses poços, não é tão profundo, apresentando uma profundidade média de 17,3m, 19m, e 11,7m, respectivamente.

Os poços P4 e P16 (Bateria São Benedito e Lagoa Seca) apresentam as concentrações mais significativas de coliformes totais (900 e 500 /100mL, respectivamente) quando na primeira bateria de exames. Destes, apenas o P16 (lagoa Seca) encontra-se inserido em uma região carente de infra-estrutura (esgoto doméstico não conectado à rede coletora).

No período chuvoso (segunda bateria de exames), apenas o poço P10 identificou a presença de coliformes totais, 4/100mL. Esta concentração, associada com a elevada DBO_5, analisada no item 6.4.2, indica que tal poluição deva ser proveniente de esgoto doméstico. Nesta situação, conforme o que foi descrito no item 5.4.2, pode estar ocorrendo uma migração de poluentes para a região do poço P10.

Para confirmar os resultados obtidos na primeira bateria de exames, repetiu-se as análises bacteriológicas no poço P16, quando na segunda bateria de exames, conforme detalha a tabela 43. Observou-se que este poço apresentou como resultado, nenhuma contaminação

por coliformes totais. Dessa forma, suspeita-se que deva ter acontecido alguma contaminação da amostra, quando no processo de coleta de água.

O mapa de distribuição espacial das concentrações de Coliformes Totais, construído a partir das interpolações dos dados das 20 análises laboratoriais, está representado na Figura 51.

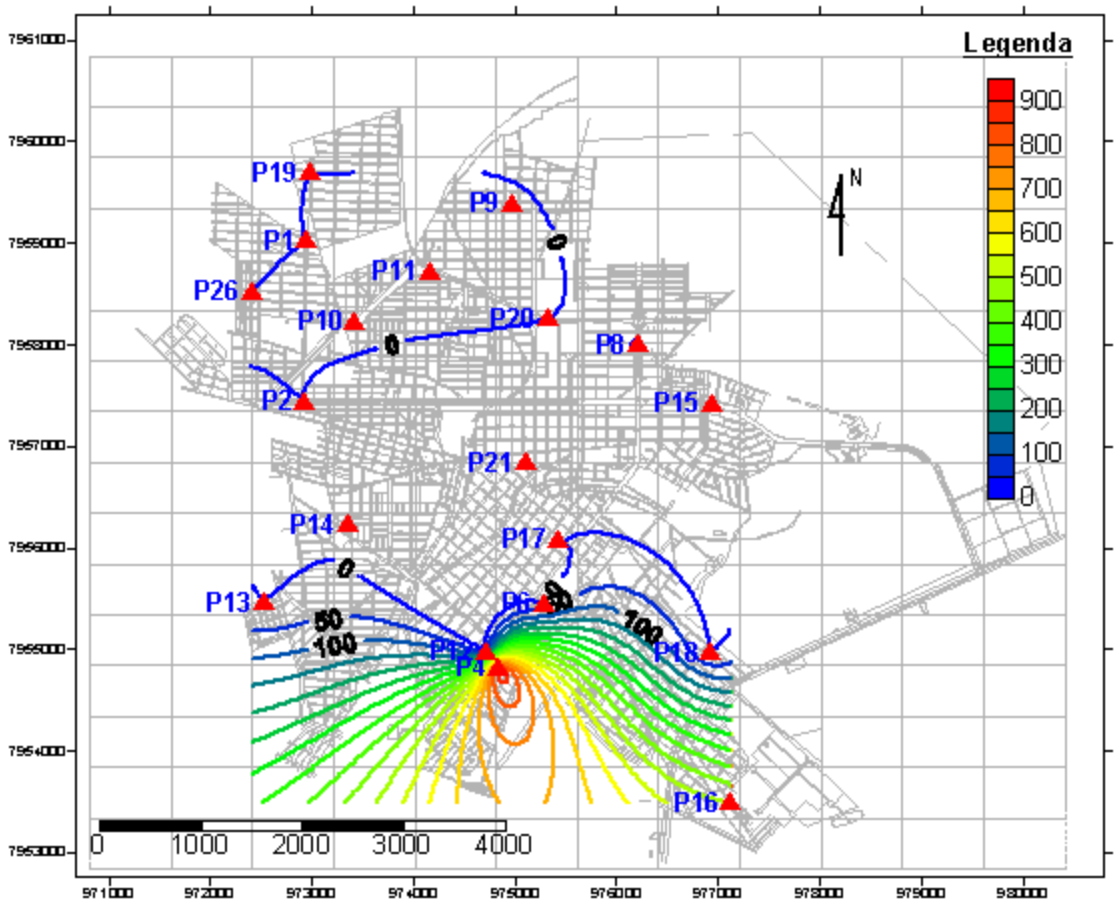


Figura 51 - Mapa de contorno das Concentrações de Coliformes na zona urbana de Araguari (avaliação espacial). Valores em NMP/100mL.

5.6.3.2 AVALIAÇÃO TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES

Os valores das concentrações de coliformes totais e fecais da terceira bateria de exame encontram-se detalhados na Tabela 44.

Tabela 44 - Monitoramento da Qualidade da Água – Parâmetro: Coliformes. Julho/2009.

N° Poço	Endereço	Coliformes Totais (NMP)	Coliformes Fecais (NMP)
P16	Lagoa Seca	0	0
P4	Bateria São Benedito	0	0
P9	Walter Santiago	0	0
P10	Poço novo da Passarela	0	0
P17	Praça Getúlio Vargas	0	0
P26	Poço Jaca (Conj. Mauá)	0	0
P14	Bateria Chancia PC1	0	0
P12	Poço novo da Minas Gerais	0	0
P15	Poço da Theodoreto	0	0
P20	Poço da Exposição	0	0

Destaca-se que, nessa terceira rodada de análises, foram refeitas coletas nos poços P16 (Lagoa Seca) e P4 (Bateria São Benedito), conforme ilustra a tabela 44. Os resultados das análises mostraram ausência de coliformes (totais e fecais) para todas as amostras. Dessa maneira concluiu-se que realmente ocorrera uma contaminação da amostra no Poço P16, quando na primeira bateria de análises. Essa terceira bateria de análises também gerou uma suspeita de que o mesmo fato poderia ter acontecido para o poço P4. Dessa forma, o poço P4 foi novamente reavaliado, separadamente, em um novo exame. Neste exame, detectou-se 1600 coliformes em 100 mL, confirmando que este poço apresenta uma contaminação por coliformes totais. Contudo, somente um monitoramento mais freqüente desses poços poderá trazer respostas mais conclusivas.

A reduzida velocidade do escoamento e a capacidade filtrante do meio aquífero são fatores que podem garantir a inexistência dos coliformes nas águas subterrâneas. Este fato foi verificado nas análises de qualidade da água, haja vista que, em todas as baterias de análises, nenhum poço apresentou indícios de coliformes fecais. Isto sugere que os coliformes totais encontrados em alguns poços possam ser provenientes do solo, ou oriundos de contaminação de amostras, conforme já foi comentado.

5.7 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DA FORMAÇÃO SUPERFICIAL (K)

O coeficiente de condutividade hidráulica da formação superficial de solo foi obtido mediante procedimento descrito no item 4.7. Para cada ensaio, foi determinada a vazão constante (Q) e consequentemente a condutividade hidráulica (K), conforme Equação 4, descrita no item 4.7.

Os valores da condutividade hidráulica da formação superficial, calculados para cada ponto, encontram-se detalhados na Tabela 45.

Tabela 45 – Valores da condutividade hidráulica da formação superficial.

Localização	Identificação	Vazão constante do ensaio (cm^3/s)	Condutividade hidráulica (K) (cm/s)	Condutividade hidráulica (K) (m/d)
Bateria Fátima	P3	6,02E+00	2,32E-03	2,01
Contingente	P29	5,34E+01	2,06E-02	17,79
Walter Santiago	P9	1,75E+02	6,74E-02	58,23
Poço Madri	P13	3,02E+00	1,16E-03	1,01
Poço Chancia P1	P14	3,20E+01	1,23E-02	10,66
Poço da Theodoreto	P15	6,17E+00	2,38E-03	2,06
Lagoa Seca	P16	4,80E+00	1,85E-03	1,60
José de Belém	P18	2,69E+01	1,04E-02	8,96
Vieno	P19	3,91E+01	1,51E-02	13,03
Poço da Exposição	P20	3,16E+01	1,22E-02	10,52
Ginásio	P21	5,58E+01	2,15E-02	18,60
Araras	P22	4,45E+01	1,71E-02	14,81
R. Tupaciguara	P23	8,68E+00	3,35E-03	2,89
Conj Mauá (Poço Jaca)	P26	7,15E+01	2,76E-02	23,82
Praça Jardim Regina	P27	1,41E+02	5,42E-02	46,81
Av. Batalhão Mauá	P28	8,15E+01	3,14E-02	27,14
Poço R. Goiás	P7	6,89E+01	2,66E-02	22,95
Chácara Fernando	P5	1,81E+01	6,97E-03	6,02
Bat. Indep. P4	P24	7,76E+01	2,99E-02	25,84

Com os valores de condutividade hidráulica nos 19 pontos amostrados, fez-se o uso do método de Kriging para a interpolação dos valores para toda a zona urbana. As iso-linhas de condutividade hidráulica são ilustradas pela Figura 52.

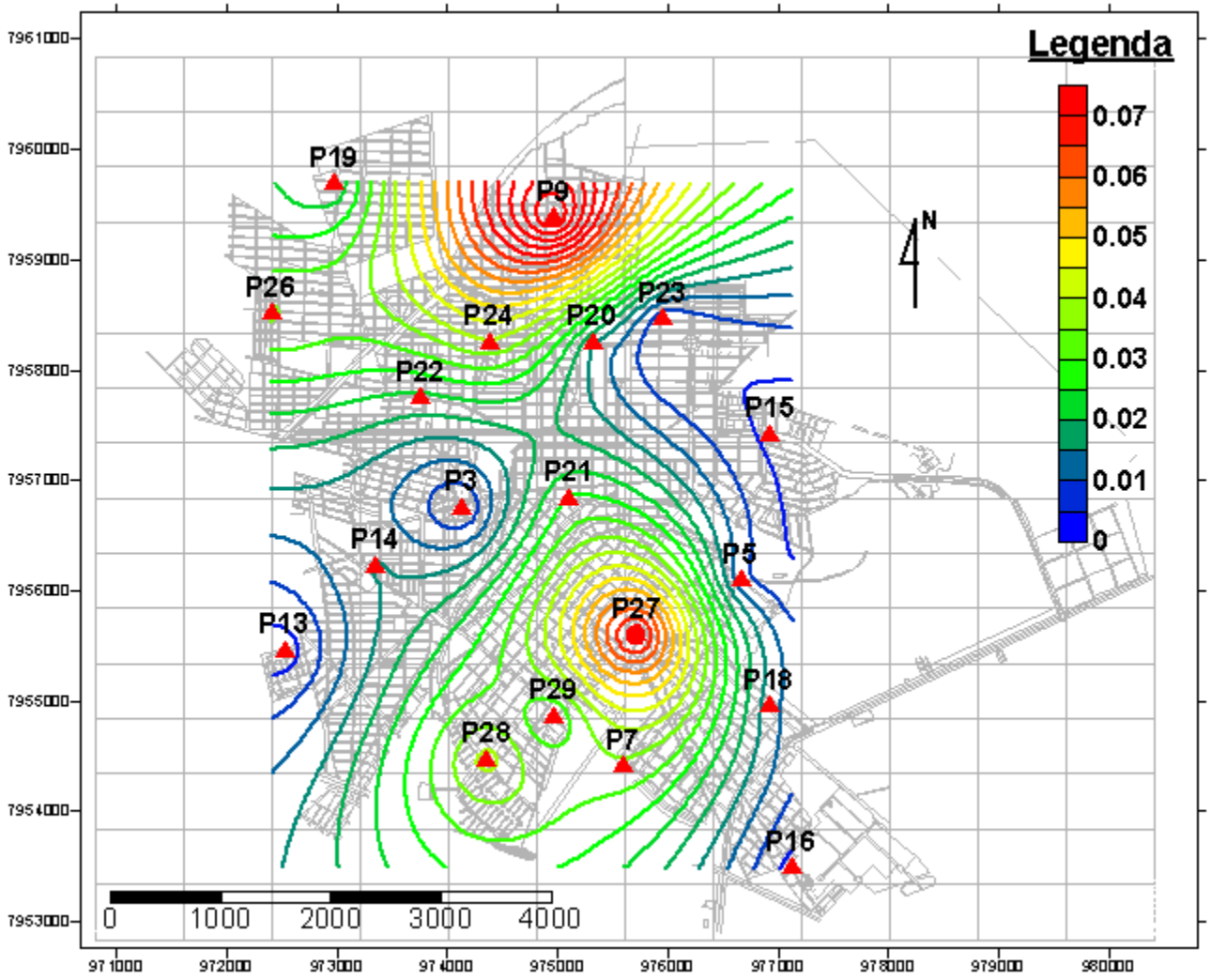


Figura 52 – Iso-linhas de condutividade hidráulica da formação superficial (valores em cm/s).

Em termos locais, a melhor maneira de avaliar os valores encontrados, é comparando os mesmos nos diferentes pontos da cidade. Para isto, as condutividades hidráulicas foram normalizadas, ou seja, utilizaram-se valores adimensionais para representá-las. Os valores adimensionais são os resultados das relações entre as condutividades, encontradas em cada ponto, pelo valor máximo encontrado (6,74 $.10^{-2}$ cm/s, P9 da Walter Santiago). A Tabela 46 detalha os respectivos valores adimensionais das condutividades hidráulicas normalizadas nos pontos ensaiados.

Tabela 46 – Valores da condutividade hidráulica da formação superficial.

Localização	Identificação	Condutividade hidráulica normalizada (%)
Bateria Fátima	P3	3,44
Contingente	P29	30,55
Walter Santiago	P9	100,00
Poço Madri	P13	1,73
Poço Chancia P1	P14	18,31
Poço da Theodoreto	P15	3,53
Lagoa Seca	P16	2,75
José de Belém	P18	15,39
Vieno	P19	22,37
Poço da Exposição	P20	18,07
Ginásio	P21	31,94
Araras	P22	25,44
R. Tupaciguara	P23	4,97
Conj Mauá (Poço Jaca)	P26	40,91
Praça Jardim Regina	P27	80,39
Av. Batalhão Mauá	P28	46,60
Poço R. Goiás	P7	39,41
Chácara Fernando	P5	10,35
Bat. Indep. P4	P24	44,38

A Figura 53 representa os valores normalizados de condutividade hidráulica, permitindo comparações mais diretas entre suas magnitudes e uma análise mais simplificada acerca dos setores da cidade onde a percolação de poluentes seria, teoricamente, mais facilitada.

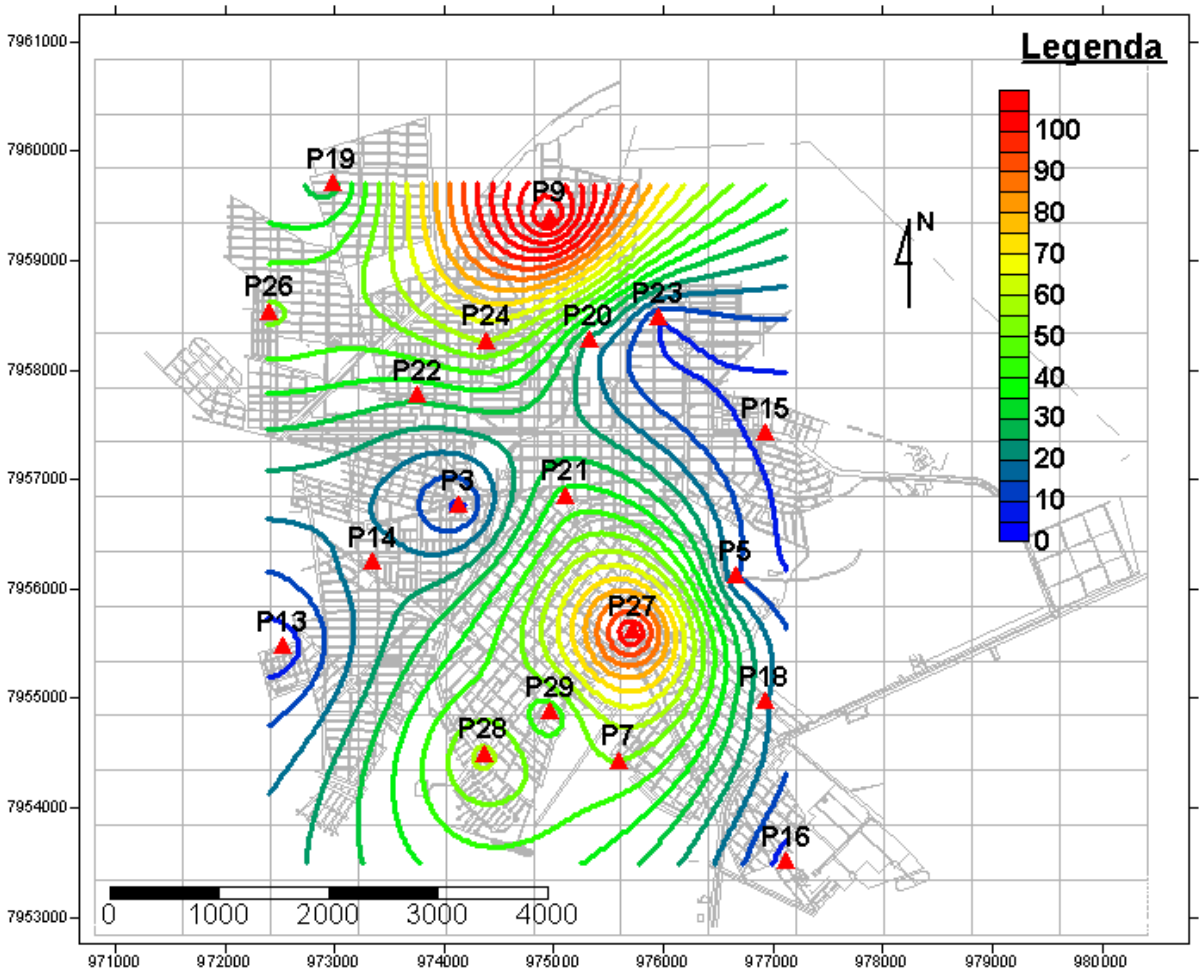


Figura 53 – Iso-linhas de condutividade hidráulica normalizada (valores percentuais).

O ponto P9 (Poço da Walter Santiago), situado ao norte da cidade, encontra-se localizado em uma região carente de conexão de esgoto doméstico à rede coletora, conforme ilustra a Figura 8 (mapa de uso e ocupação do solo). Especial atenção deve ser dada a esta região uma vez que o valor de condutividade hidráulica é elevado, em relação às outras regiões da cidade. Os pontos P19, P26, P15 e P7 (Poço Vieno, Conjunto Mauá, Poço da Theodoretto e Poço da R. Goiás), também encontram-se inseridos em uma região desprovida de esgoto conectado à rede coletora. Apesar disto, essa região apresenta valores menores de condutividade hidráulica, de 10% a 40% da máxima local.

O ponto P27 (Poço da Praça Jardim Regina), apesar de estar localizado em uma região provida de esgoto conectado à rede coletora, apresentou elevada condutividade hidráulica (80,39%) do valor máximo local. Tomando por base apenas o uso do solo, os riscos

poluidores nessa região são menores do que aqueles situados ao norte da cidade, nas proximidades do ponto P29.

As áreas industriais são sempre preocupantes uma vez são freqüentes as práticas de disposição inadequada de resíduos, além disto, as concentrações de poluentes são mais elevadas. Em Araguari, a maior concentração de indústrias (Centro Industrial) ocorre próxima ao ponto P16 (Poço da Lagoa Seca). Apesar disto, a região apresentou baixos valores adimensionais de condutividade hidráulica superficial.

As áreas verdes encontram-se distribuídas em toda a área urbana. Nesse sentido, é importante alertar e incentivar a preservação das áreas verdes localizadas próximas aos pontos P27 e P9 (Praça Jardim Regina e Walter Santiago), pois, nessas regiões, os valores de condutividade hidráulica são mais elevados. Assim, um poluente disposto no solo dessas regiões teria maior tendência de percolar pela formação superficial.

O cemitério da cidade, encontra-se em uma região de baixa condutividade hidráulica superficial, cerca de 25% da máxima. Da mesma forma, as áreas agrícolas, situadas na periferia da zona urbana da cidade, apresentaram valores não muito elevados de condutividade hidráulica, de 10% a 45%. A despeito disto, o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas é uma atividade potencialmente poluidora. Nesse aspecto, chama-se atenção para a necessidade de um monitoramento mais freqüente da qualidade da água dos poços próximos a essas áreas agrícolas.

5.8 CÁLCULO DOS ÍNDICES DE VULNERABILIDADE INTRÍNSECA À POLUIÇÃO DO AQUIFERO

Este item trata da quantificação dos índices referentes aos cinco parâmetros utilizados para a determinação da vulnerabilidade intrínseca à poluição do aquífero Bauru, na zona urbana de Araguari.

5.8.1 TIPO DE AQUÍFERO "G"

O parâmetro "G" foi definido para a área de abrangência do aquífero Bauru de Araguari com índice 1,0 para toda a zona urbana da cidade. Este índice está associado ao tipo do aquífero (livre) como já descrito no Capítulo 2.

5.8.2 LITOLOGIA ACIMA DA ZONA SATURADA "O"

Os índices atribuídos para cada um dos seis perfis litológicos, de acordo com a metodologia GOD, encontram-se detalhados na Tabela 47.

Tabela 47 – Índices de Vulnerabilidade para o parâmetro litologia (O) acima da zona saturada

Poço	Identificação	Tipo de solo	Índice O
Poço novo S. Sebastião	P1	Argila arenosa	0,375
Poço da R. 21	P11	Argila pouco arenosa	0,35
Poço novo da Av. Minas Gerais	P12	Areia siltosa	0,4
Lagoa Seca	P16	Argila siltosa	0,325
Poço da Exposição	P20	Argila pouco arenosa	0,35
R. Tupaciguara	P23	Argila siltosa	0,325

Nota-se que a variação do índice foi pequena, uma vez que cinco dos seis perfis apresentam uma característica predominantemente argilosa.

5.8.3 PROFUNDIDADE DO NÍVEL FREÁTICO "D"

A profundidade do nível do lençol foi aqui discriminada, recebendo um índice 0,9 para região de níveis entre 0 a 5 m; 0,8 para níveis entre 5 a 20 m; índice 0,7 para níveis entre 20 a 50 m; e índice 0,6 para níveis maiores de 50 m. Os índices atribuídos em cada poço encontram-se na Tabela 48.

Tabela 48 – Índices atribuídos em função do parâmetro "profundidade do lençol" para cada poço.

Poço/ localização	Identificação	Profundidade média (m)	Índice
Poço novo S. Sebastião	**P1**	17,3	0,8
Poço da Coronel Belchior	**P2**	19,0	0,8
Bateria Fátima P1	**P3**	28,0	0,7
Bateria Fátima P15	**P3a**	33,8	0,6
Poço Bat. São Benedito P1	**P4**	24,4	0,7
Poço Bat. São Benedito P5	**P4a**	25,1	0,7
Chácara Fernando	**P5**	4,7	1,0
Bateria Estadual P7	**P6**	13,6	0,8
Bateria Estadual P12	**P6a**	39,1	0,6
Poço R. Goiás	**P7**	22,3	0,7
Poço Miranda	**P8**	21,2	0,7
Poço da Walter Santiago	**P9**	30,5	0,6
Poço novo da Passarela	**P10**	19,6	0,8
Poço da R. 21	**P11**	9,6	1,0
Poço novo da Minas Gerais	**P12**	24,1	0,7
Poço Madri	**P13**	27,3	0,7
Poço Chancia P1	**P14**	35,4	0,6
Poço Chancia P4	**P14a**	47,2	0,5
Poço da Theodoreto	**P15**	36,5	0,6
Lagoa Seca	**P16**	33,8	0,6
Praça Getúlio Vargas	**P17**	19,9	0,8
Poço da José de Belém	**P18**	18,3	0,8
Vieno	**P19**	11,7	0,8
Poço da Exposição	**P20**	23,8	0,7
Ginásio	**P21**	2,1	1,0
Araras	**P22**	30,5	0,6
R. Tupaciguara	**P23**	22,6	0,7
Bateria Independência P4	**P24**	37,2	0,6
Bateria Independência P8	**P24a**	39,4	0,6
Poço da Jaca P31	**P26**	42,2	0,5
Praça Jardim Regina	**P27**	35,2	0,6

5.8.4 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SUPERFICIAL "KV"

Os valores da condutividade hidráulica da formação superficial, calculados para cada ponto, e o respectivo índice de vulnerabilidade (com valores adaptados do método EKv), encontram-se descritos na Tabela 49.

Tabela 49 – Valores da condutividade hidráulica superficial.

Localização	Poço	Vazão constante do ensaio (cm^3/s)	Condutividade hidráulica (cm/s)	Condutividade hidráulica (m/d)	Índice de vulnerabilidade
Bateria Fátima	P3	6,02E+00	2,32E-03	2,01	0,8
Contingente	P29	5,34E+01	2,06E-02	17,79	0,8
Walter Santiago	P9	1,75E+02	6,74E-02	58,23	1,0
Poço Madri	P13	3,02E+00	1,16E-03	1,01	0,8
Poço Chancia P1	P14	3,20E+01	1,23E-02	10,66	0,8
Poço da Theodoreto	P15	6,17E+00	2,38E-03	2,06	0,8
Lagoa Seca	P16	4,80E+00	1,85E-03	1,60	0,8
José de Belém	P18	2,69E+01	1,04E-02	8,96	0,8
Vieno	P19	3,91E+01	1,51E-02	13,03	0,8
Poço da Exposição	P20	3,16E+01	1,22E-02	10,52	0,8
Ginásio	P21	5,58E+01	2,15E-02	18,60	0,8
Araras	P22	4,45E+01	1,71E-02	14,81	0,8
R. Tupaciguara	P23	8,68E+00	3,35E-03	2,89	0,8
Conj Mauá (Poço Jaca)	P26	7,15E+01	2,76E-02	23,82	0,8
Praça Jardim Regina	P27	1,41E+02	5,42E-02	46,81	0,9
Av. Batalhão Mauá	P28	8,15E+01	3,14E-02	27,14	0,9
Poço R. Goiás	P7	6,89E+01	2,66E-02	22,95	0,8
Chácara Fernando	P5	1,81E+01	6,97E-03	6,02	0,8
Bat. Independência. P4	P24	7,76E+01	2,99E-02	25,84	0,9

5.8.5 DECLIVIDADE DO TERRENO "I"

Os índices atribuídos para o parâmetro declividade, seguiram os valores recomendados pela metodologia DRASTIC, conforme descrito no item. 4.9.1.2.1.

5.8.6 ÍNDICE FINAL E MAPAS DE VULNERABILIDADE

A partir da multiplicação dos parâmetros tipo de aquífero, litologia da zona vadosa, profundidade do lençol, foi gerado o mapa de vulnerabilidade do aquífero Bauru, de acordo com a metodologia GOD, conforme apresentado no ANEXO B.

Como resultado da aplicação do método GOD, identificaram-se índices de vulnerabilidade *baixos* (0,19 a 0,3) a *moderados* (0,3 a 0,37). As regiões destacadas na Figura 54 representam as áreas com vulnerabilidade moderada. As demais áreas da cidade representam, segundo os resultados obtidos pelo método GOD, as regiões de índices de vulnerabilidade baixos.

Percebe-se que as regiões mais críticas (vulnerabilidade moderada) encontram-se próximas aos poços P21, P5, P2 e P6 (Poço do ginásio, Chácara do Fernando, Poço da Rua Coronel Belchior e Bateria do Estadual). Este fato deve-se principalmente à pequena profundidade da superfície freática nesses poços.



Figura 54 – Contorno da vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método GOD. Identificação de áreas de vulnerabilidade moderada.

Como forma de comparar os métodos, também foram elaborados mapas de vulnerabilidade de acordo com o método híbrido (ver Anexo C). A aplicação do método Híbrido revelou resultados mais severos que o método GOD. Dessa forma, para este método, os índices encontrados na zona urbana revelam vulnerabilidade variável de *alta* a *muito alta*. As regiões não hachuradas na Figura 55 apresentam índices de vulnerabilidade muito altas (0,7 a 0,82). As áreas hachuradas apresentaram índices de vulnerabilidade altos (0,66 a 0,7).

As regiões mais críticas, dentro da zona de vulnerabilidade muito alta, são aquelas próximas aos poços P21 e P5 (Poço do Ginásio e Chácara do Fernando). Nessas regiões, os índices de vulnerabilidade são da ordem de 0,77. Este fato deve-se principalmente à baixa profundidade do lençol (menor que 10 m), potencializando o risco de um poluente atingir o aquífero. Isto revela que, embora os resultados do método híbrido tenham sido mais severos, eles confirmam a importância da profundidade do lençol no valor do índice de vulnerabilidade. Podem ser observadas, de uma maneira geral, vulnerabilidades mais elevadas nas regiões Norte, Sul e Leste da cidade, conforme ilustra o Anexo C.

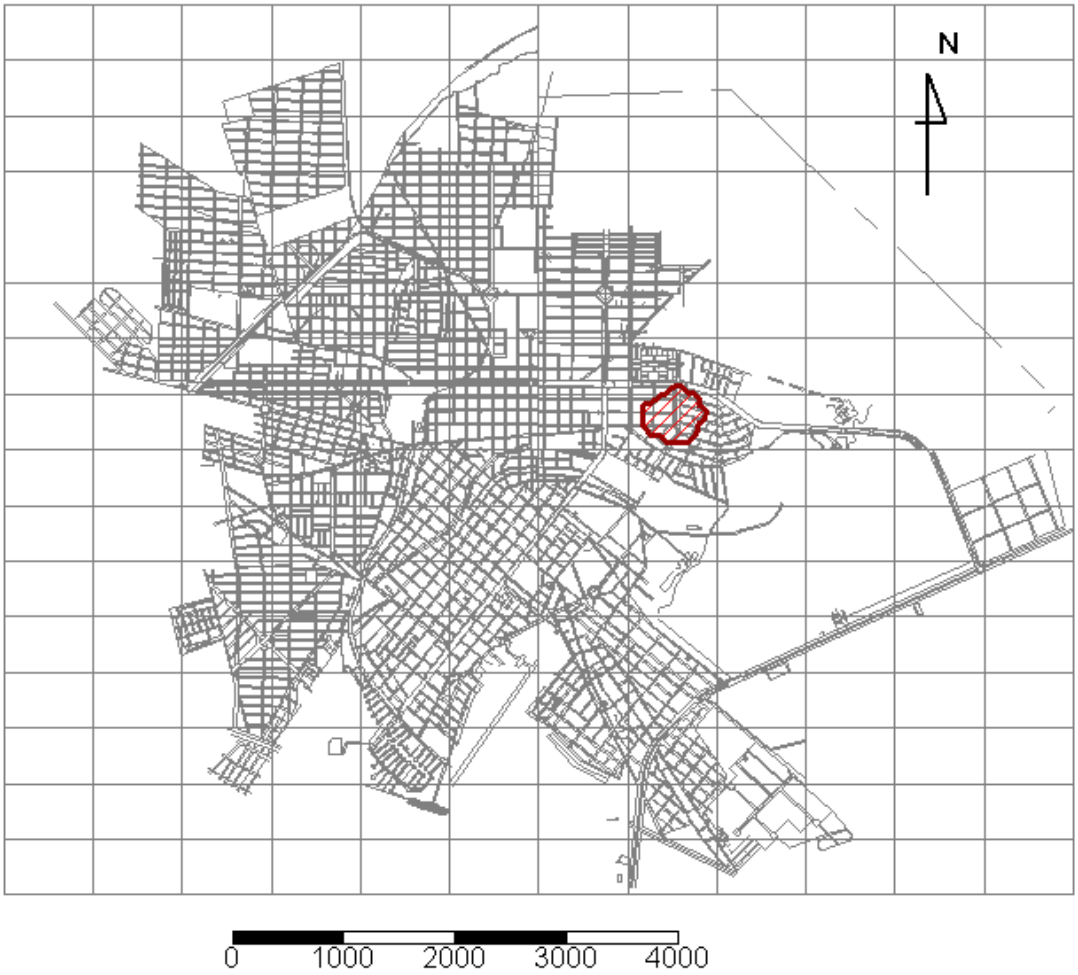


Figura 55 – Contorno da vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método híbrido. Identificação das áreas de vulnerabilidade alta.

O Método EKv revelou índices de vulnerabilidade *médios* (índice 5) a *altos* (índice 8). O mapa do Anexo D detalha essa variação.

De acordo com a figura 56, que identifica as áreas de vulnerabilidade altas, de acordo com o método EKv, as regiões dos poços P21 e P5 (Ginásio e Chácara do Fernando) foram as que apresentaram os maiores índices (8). A área urbana não hachurada apresentou índices de vulnerabilidade médios. Mais uma vez percebe-se que a profundidade do lençol foi determinante para delimitar áreas mais vulneráveis. A despeito disto, vale comentar que, na aplicação dos três métodos, a profundidade possui o mesmo peso de outras variáveis como a litologia da zona vadosa, por exemplo. O que condicionou elevados índices de vulnerabilidade no entorno dos poços P5 e P21 foi o fato da superfície freática estar muito próxima da superfície do terreno.



Figura 56 – Contorno da vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método EKv. Identificação das áreas de vulnerabilidade alta.

Todos os três métodos utilizados não fornecem valores numéricos iguais para os índices de vulnerabilidade. Isto ocorre em função das diferentes maneiras de se obter esses índices – produtório (no GOD), média ponderada (no Híbrido) e somatório (no EKv) – além dos diferentes parâmetros utilizados em cada método. Assim, a classificação entre vulnerabilidades desprezíveis a muito elevadas pode variar de um método para outro. Especificamente no caso do método Híbrido, proposto neste trabalho, as classes de vulnerabilidade, fixadas de acordo com os limites do método GOD, podem não ser muito representativas. Não obstante, todas as três metodologias revelam padrões semelhantes, quando os resultados são normalizados, utilizando os valores máximos e mínimos de cada método (ver Figura 57).

Para o cálculo dos índices normalizados – ou da vulnerabilidade adimensional – foi utilizada a fórmula descrita pela Equação 6:

$$IV\% = 100 \times \frac{IV - mín}{máx - mín} \tag{6}$$

Na Equação 6, *IV%* é o índice de vulnerabilidade percentual ou adimensional, obtido a partir de *IV* (índice de vulnerabilidade), *mín* (menor índice de vulnerabilidade do método considerado) e *máx* (maior índice de vulnerabilidade do método considerado). Os resultados normalizados são ilustrados pela Figura 57, na qual é possível notar que todas as metodologias indicam tendências semelhantes. Na Figura 57, foi retirada a planta da cidade apenas com o intuito de fornecer mais clareza na visualização das curvas adimensionais.

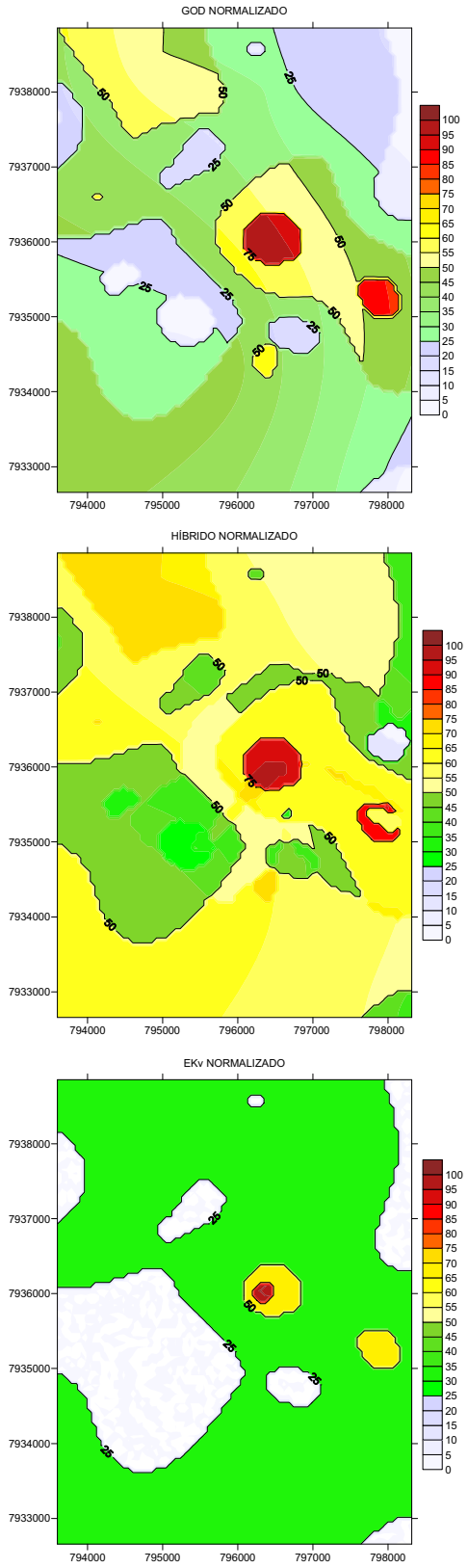


Figura 57 – Comparação entre os índices de vulnerabilidade normalizados para os três métodos (GOD, Híbrido e EKv). Valores percentuais.

Finalmente, os índices adimensionais poder ser agrupados em um único mapa, destacando setores em que os três métodos acusam as maiores vulnerabilidades. O mapa, ilustrado pela Figura 58, faz a união de regiões de vulnerabilidades normalizadas acima de 75% e de regiões de vulnerabilidades normalizadas entre 60% e 75%.



Figura 58 – Zonas de vulnerabilidade normalizada. União de índices adimensionais dos métodos GOD, Híbrido e EKv. Valore percentuais.

A Figura 58 (também ilustrada no ANEXO E) é, enfim, mais conclusiva, uma vez que reúne dados de todas as metodologias analisadas. Este mapa pode funcionar como um instrumento útil para proteção do aquífero Bauru, sotoposto à zona urbana da cidade, uma vez que indica as regiões de maior vulnerabilidade intrínseca do meio.

CAPÍTULO 6
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

É evidente que o Aquífero Bauru apresenta-se como uma alternativa viável ao suprimento das necessidades de abastecimento da população de Araguari. Contudo, para continuar mantendo o atendimento a essa demanda, de forma segura, é necessário uma investigação detalhada que coloque em prática uma gestão mais adequada.

Portanto, com a finalidade de determinar áreas mais susceptíveis à poluição das águas subterrâneas, na zona urbana de Araguari, foram coletados e analisados dados sobre as características físico-naturais da área para a aplicação de três métodos de avaliação de vulnerabilidade: os métodos GOD, EKv e o método Híbrido, proposto neste trabalho.

Constatou-se que em termos de vulnerabilidade intrínseca do aquífero, a zona urbana de Araguari apresenta uma estrutura digna de cuidados, com regiões de vulnerabilidade alta, acusadas por todos os métodos analisados. Consequentemente procedeu-se a representação cartográfica dessa vulnerabilidade à poluição, a qual indicou que a região central da cidade é a mais preocupante. Com a diferença entre os índices fornecidos pelos métodos, os intervalos de classe (vulnerabilidade desprezível a muito alta) podem não ser representativos de um resultado mais geral. Por isto, os índices de vulnerabilidade foram adimensionalizados, de forma que os mapas, obtidos pela aplicação das três metodologias, pudessem ser agrupados. O mapa resultante desse agrupamento ilustra regiões da cidade com vulnerabilidade de 60% a 100% dos valores máximos de cada método. Esses resultados indicam que não só a área central, mas também os setores periféricos Leste, Norte, Noroeste, Sudoeste e Sul da cidade apresentam os maiores índices de susceptibilidade à poluição.

Como complemento à estimativa da vulnerabilidade intrínseca, avaliou-se a atual situação da qualidade da água do Aquífero Bauru, na zona urbana de Araguari, relacionando-a com os aspectos de uso e ocupação do solo da cidade. Essas análises de qualidade de água indicaram a existência e o grau de poluição que as atividades humanas geram na área.

Em função do quadro apresentado, recomenda-se:

- Em toda a zona urbana, principalmente nos setores classificados com o índice de vulnerabilidade alta, devem ser tomadas precauções para evitar que haja infiltração algum poluente proveniente do uso urbano;
- Estudos da evolução da poluição pelo uso errôneo de tanques sépticos, esgotos sanitários e agentes químicos;
- Que se faça cumprir, pelo órgão gestor, a legislação existente em Araguari sobre o uso e a preservação das águas subterrâneas.

Como sugestão de trabalhos futuros para a área, propõe-se a realização do estudo e a avaliação do risco à poluição das águas subterrâneas, através do desenvolvimento de pesquisas mais detalhadas sobre as fontes potenciais de poluição, destacando as atividades agrícolas, industriais, postos de gasolina, disposição inadequada de resíduos sólidos e os cemitérios.

Reforça-se que o presente trabalho consiste em uma avaliação prévia, baseada em dados coletados e na abordagem regional que visa dar suporte à implementação de estratégias e ações que contemplem o uso adequado e sustentado dos recursos hídricos subterrâneos.

A partir deste trabalho, ações de manejo poderão ser aplicadas às atividades humanas, em escala municipal, resguardando as zonas de maior vulnerabilidade ou indicando novas tecnologias para proteção das águas subterrâneas.

CAPÍTULO 7
REFERENCIAL TEÓRICO

ABGE. Ensaios de Permeabilidade em Solos – Orientação para sua execução no campo. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1996.

ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J.H. e PETTY, R.J. (1987) DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, Okahama. 1987.

ANA – Agencia Nacional de Águas. Panorama da qualidade das águas subterrâneas. Brasília: ANA. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12614/ 1992 - Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (20º C - Cinco dias).

AUGE, M. Vulnerabilidad de Acuíferos, Conceptos y Métodos. Universidade de Buenos Aires.2004.

BARBOZA A. E. C; ROCHA S. F. GUIMARÃES W. D. Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero livre localizado na região de Ponta da Fruta, Vila Velha – ES. Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 2007.

BARROS, J. G.C. As águas subterrâneas ou águas que brotam da Terra. 2008.

Disponível em: <http://revistadasaguas.pgr.mpf.gov.br/artigos/as-aguas-subterraneas-ou-as-aguas-que-brotam-das-pedras>

Acesso em 18/08/2008.

BATALHA, B. H. L. Glossário de Engenharia Ambiental. República Federativa do Brasil, Ministério de Minas e Energia, DNPM, 1986.

BERTOL, G. A. Avaliação da Recarga Anual no Aquífero Bauru no município de Araguari, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

BORGES, K. L. A. Verdade sobre a água em Araguari. 2007.

BOVOLATO, L.E. Estudo de vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas utilizando a metodologia "GOD" para a área urbana de Araguaína/TO.2005.

BROLLO, J.M.; VEDOVELLO, R. e ODA, G.H. Avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação através de um sistema gerenciador de informações geoambientais – Um instrumento de gestão ambiental. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo. 2000.

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas. DRMRJ- Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2001.

CIVITA M. CHIAPPONE A. FALCO M. e P. JARRE. Preparazione della carta di vulnerabilitá per la rilocalizzazione di um impianto pozzi dell`acque Sotterranee: Metodogie, Tecnologie e Objettivi. Marano sul Parnaro, 1990.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 15 de março de 2005. Brasília, DF. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 396, de 7 de abril de 2008. Brasília, DF. 2008.

CORREIA, E. R. C. Caracterização da Vulnerabilidade natural do Aquífero boa viagem no município de recife – Método GOD. Dissertação de Mestrado. Universidade Feredal de Pernambuco. Pernambuco, Recife. 2006.

FEITOSA, A. C. F. e MANUEL FILHO, J. Hidrologia – Conceitos e Aplicações; CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Editora Gráfica LCR; Fortaleza, 1997.

FJP – Fundação João Pinheiro – Governo de Minas Gerais, 2007.
Disponível em: <www.fjp.gov.br> .
Acesso em: Dezembro de 2007

FOSTER, S.S.D.A; HIRATA, R.C.A. Riscos de poluição de águas subterrâneas; uma proposta de avaliação regional, São Paulo: ABAS, 1988.

FRANCA, R. M.; FRISCHKORN, H. SANTOS, M. R. P.; MENDONÇA, L. A, R.; BESERRA, M. C. Contamination of a well field in juazeiro do norte – CEARÁ. Engenharia Sanitária ambiental.Vol.11 - Nº 1, 92-102. 2006.

Fundação IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2007.
Disponível em: <http://www.ibge.gov.br >
Acesso em: Abril de 2008.

FUNDO DAS UNIVERSIDADES. Avaliação dos Recursos Hídricos do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Município de Araguari, Minas Gerais, Brasil. Projeto para a proteção ambiental e desenvolvimento sustentável do aquífero Guarani, 2006.

IRITANI, M, A; EZAKI, S. As águas subterrâneas do estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo. 2008.

LOBO FERREIRA. J. P : Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e proteção dos aquíferos de Portugal. Portugal, 1995.

LOBO FERREIRA. J. P.; OLIVEIRA. M. M. Análise de sensibilidade da aplicação de métodos indexados de avaliação da vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas. Jornadas Luso-Espanholas sobre Águas Subterrâneas no Sul da Península Ibérica. Faro 2003.

MINISTÉRIO DA SAÚDE / Portaria MS n.º 518: 2004, Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2004.

MMA – SRHU. Ministério do meio Ambiente – Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Águas Subterrâneas, um recurso conhecido a ser protegido. Brasília, 2007.

OLIVEIRA, L. A.; CAMPOS, J. E. G. Parâmetros hidrogeológicos do sistema aqüífero Bauru na região de Araguari/MG: fundamentos para a gestão do sistema de abastecimento de água. Revista Brasileira de Geociências, 2004.

OSÓRIO, Q. S. Vulnerabilidade Natural de Aquíferos à Poluição das Águas Subterrâneas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, RS. Brasil. 2004.

PLANET EARTH, Água subterrânea - reservatório para um planeta com sede. 2007.

PORTAL SÃO FRANCISCO. Poluição das Águas Subterrâneas. 2007.
Disponível em: < http://www.portalsaofrancisco.com.br>
Acesso em : Setembro de 2008.

SAE Araguari – Superintendência de Água e Esgoto de Araguari.
Disponível em: < http://www.saearaguari.com.br/desenv.php>
Acesso em: 21 de Maio 2008.

_____. Plano de saneamento do município de Araguari, MG, 2007.

SANTOS, M. R. P. Transporte advectivo de poluentes do riacho dos Macacos ao aquífero rio da Batateira na cidade de Juazeiro do Norte-Ceará. 120 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2003.

SILVA, R. B. G. Água subterrânea: um valioso recurso que requer proteção. São Paulo; DAAE, 2003.

UNESCO – Organização das Nações Unidas para educação, ciências e cultura. GroundWater. Environment and Development Briefs. 1992.

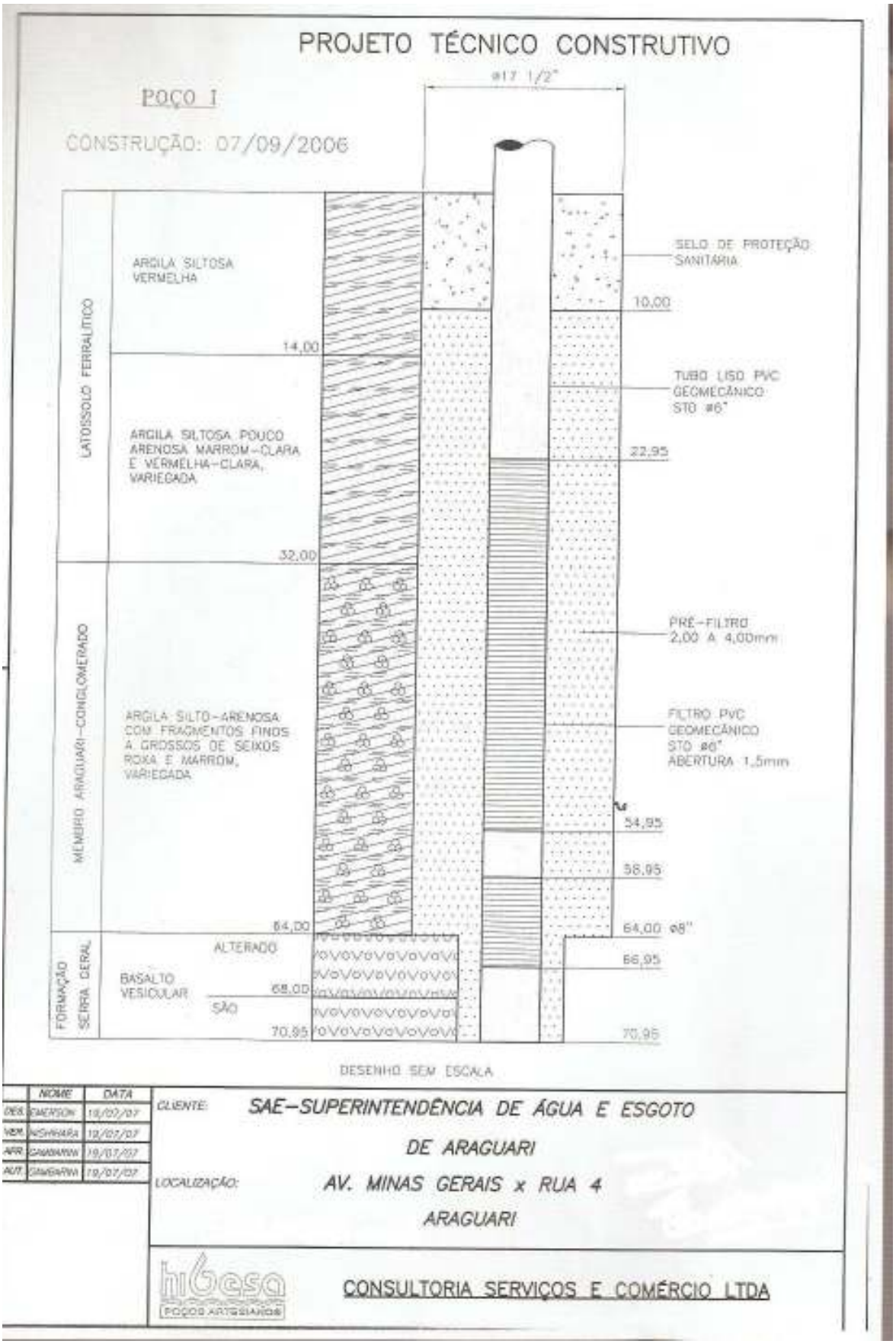
VASCONCELOS, S.M.S. Avaliação da recarga subterrânea através da variação do nível potenciométrico no Aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza, Ceará. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 2005.

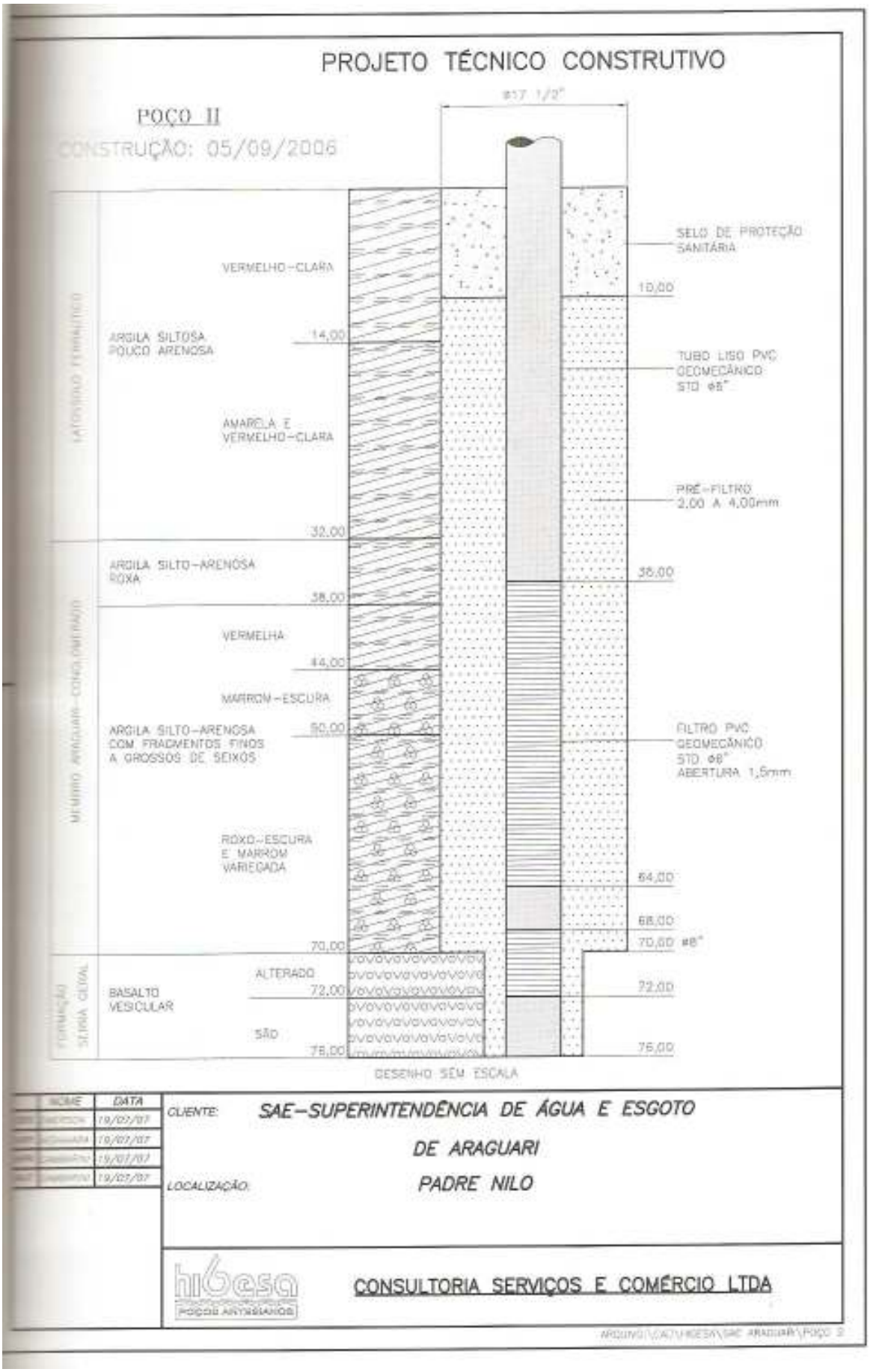
VELÁSQUEZ, L. N. M.; ROMANO, A. W. Relatório Final - Caracterização Hidrogeológica do município de Araguari, MG. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

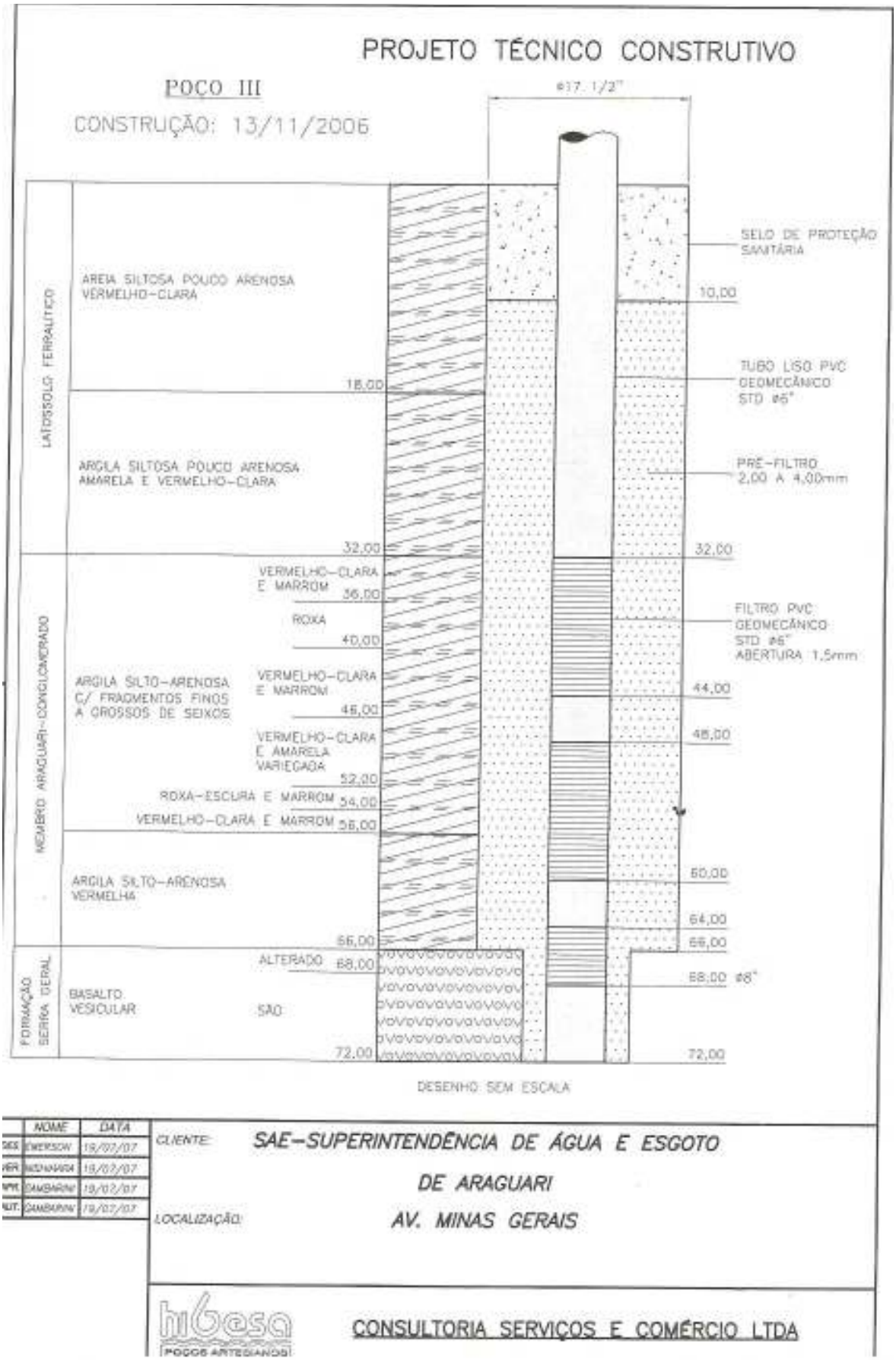
STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. Autor: Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg & Andrew D. Eaton Editora: Apha - 21ª – 2005.

ANEXO A

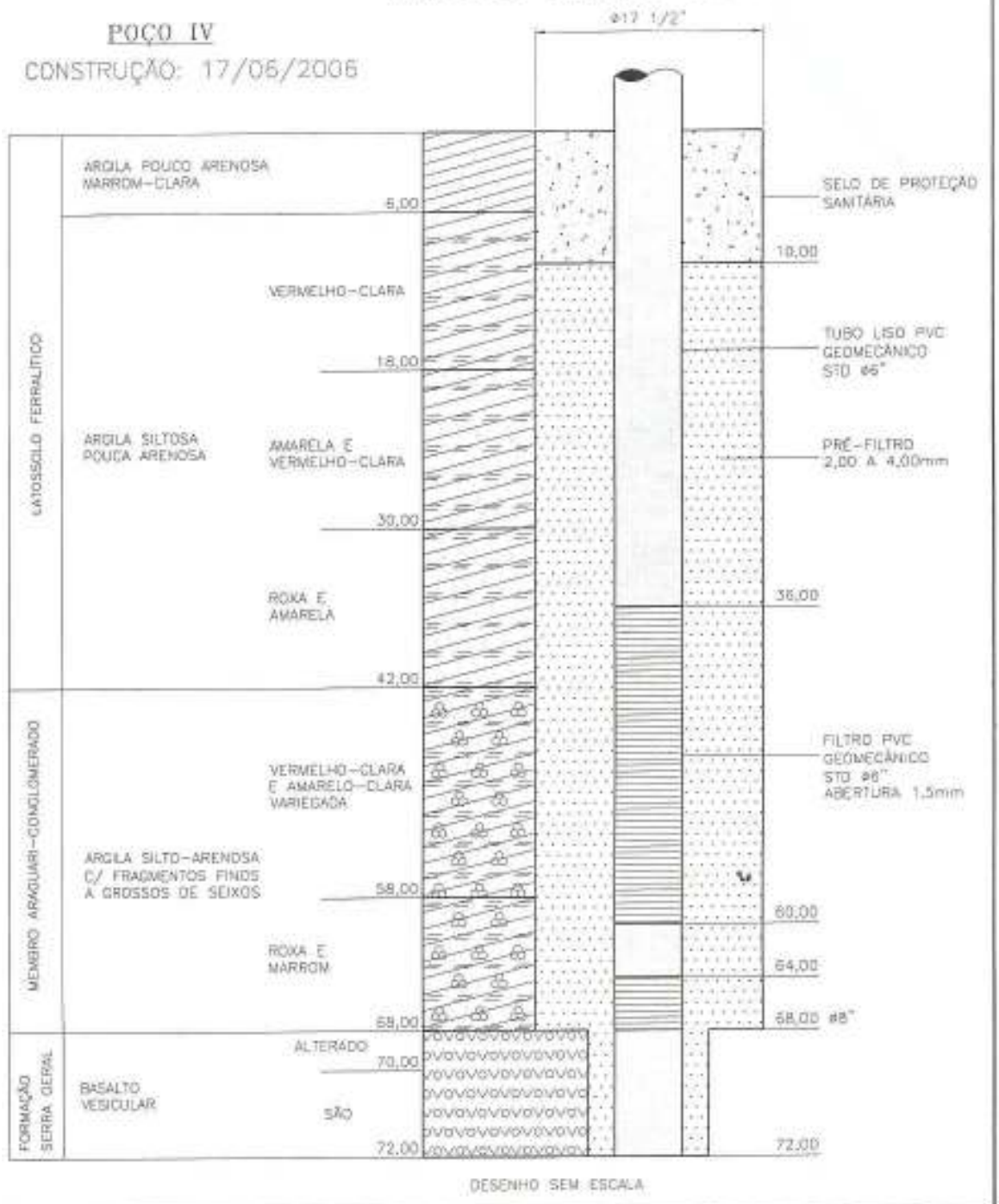
Perfis do Solo


PROJETO TÉCNICO CONSTRUTIVO
POÇO 1
CONSTRUÇÃO: 07/09/2006
ø17 1/2"
LATOSSOLO FERRALÍTICO
MEMBRO ARAGUARI-CONGLOMERADO
FORMAÇÃO SERRA GERAL
ARGILA SILTOSA VERMELHA
14,00
ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA MARROM-CLARA E VERMELHA-CLARA, VARIEGADA
32,00
ARGILA SILTO-ARENOSA COM FRAGMENTOS FINOS A GROSSOS DE SEIXOS ROXA E MARROM, VARIEGADA
64,00
ALTERADO
BASALTO VESICULAR
68,00
SÃO
70,95
SELO DE PROTEÇÃO SANITÁRIA
10,00
TUBO LISO PVC GEOMECÂNICO STO ø6"
22,95
PRÉ-FILTRO 2,00 A 4,00mm
FILTRO PVC GEOMECÂNICO STO ø6" ABERTURA 1,5mm
54,95
58,95
64,00 ø8"
66,95
70,95
DESENHO SEM ESCALA
NOME
DATA
DES. EMERSON 19/07/07
VER. NOHARA 19/07/07
APR. GIANNINI 19/07/07
AUT. GIANNINI 19/07/07
CLIENTE: SAE-SUPERINTENDÊNCIA DE ÁGUA E ESGOTO DE ARAGUARI
LOCALIZAÇÃO: AV. MINAS GERAIS x RUA 4
ARAGUARI
higesa
POÇOS ARTESIANOS
CONSULTORIA SERVIÇOS E COMÉRCIO LTDA


PROJETO TÉCNICO CONSTRUTIVO
POÇO II
CONSTRUÇÃO: 05/09/2006
ø17 1/2"
SELO DE PROTEÇÃO SANITÁRIA
10,00
TUBO LISO PVC GEOMECÂNICO STD ø8"
PRÉ-FILTRO 2,00 A 4,00mm
30,00
FILTRO PVC GEOMECÂNICO STD ø8" ABERTURA 1,5mm
64,00
68,00
70,00 ø8"
72,00
76,00
LATOSSOLO VERMELHO
VERMELHO-CLARA
ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA
14,00
AMARELA E VERMELHO-CLARA
32,00
MEMBRO ARAGUARI - CONGLOMERADO
ARGILA SILTO-ARENOSA ROXA
38,00
VERMELHA
44,00
MARRON-ESCURA
50,00
ARGILA SILTO-ARENOSA COM FRAGMENTOS FINOS A GROSSOS DE SEIXOS
ROXO-ESCURA E MARROM VARIEGADA
70,00
FORMAÇÃO SERRA GERAL
BASALTO VESICULAR
ALTERADO
72,00
SÃO
76,00
DESENHO SEM ESCALA
NOME
DATA
19/07/07
CLIENTE: SAE-SUPERINTENDÊNCIA DE ÁGUA E ESGOTO DE ARAGUARI
LOCALIZAÇÃO: PADRE NILO
hidesa
POÇOS ARTESIANOS
CONSULTORIA SERVIÇOS E COMÉRCIO LTDA


PROJETO TÉCNICO CONSTRUTIVO
POÇO III
CONSTRUÇÃO: 13/11/2006
ø17 1/2"
SELO DE PROTEÇÃO SANITÁRIA
10,00
TUBO LISO PVC GEOMECÂNICO STD ø6"
PRÉ-FILTRO 2,00 A 4,00mm
32,00
FILTRO PVC GEOMECÂNICO STD ø6" ABERTURA 1,5mm
44,00
48,00
50,00
64,00
66,00
68,00 ø8"
72,00
LATOSSOLO FERRALÍTICO
AREIA SILTOSA POUCO ARENOSA VERMELHO-CLARA
18,00
ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA AMARELA E VERMELHO-CLARA
32,00
MEMBRO ARAGUARI-CONGLOMERADO
VERMELHO-CLARA E MARROM 36,00
ROXA 40,00
ARGILA SILTO-ARENOSA C/ FRAGMENTOS FINOS A GROSSOS DE SEIXOS
VERMELHO-CLARA E MARROM 46,00
VERMELHO-CLARA E AMARELA VARIEGADA 52,00
ROXA-ESCURA E MARROM 54,00
VERMELHO-CLARA E MARROM 56,00
ARGILA SILTO-ARENOSA VERMELHA
66,00
FORMAÇÃO SERRA GERAL
ALTERADO 68,00
BASALTO VESICULAR
SÃO
72,00
DESENHO SEM ESCALA
NOME
DATA
EMERSON 19/07/07
19/07/07
19/07/07
19/07/07
CLIENTE: SAE-SUPERINTENDÊNCIA DE ÁGUA E ESGOTO DE ARAGUARI
LOCALIZAÇÃO: AV. MINAS GERAIS
hidrasa
POÇOS ARTESIANOS
CONSULTORIA SERVIÇOS E COMÉRCIO LTDA

PROJETO TÉCNICO CONSTRUTIVO



DESENHO SEM ESCALA

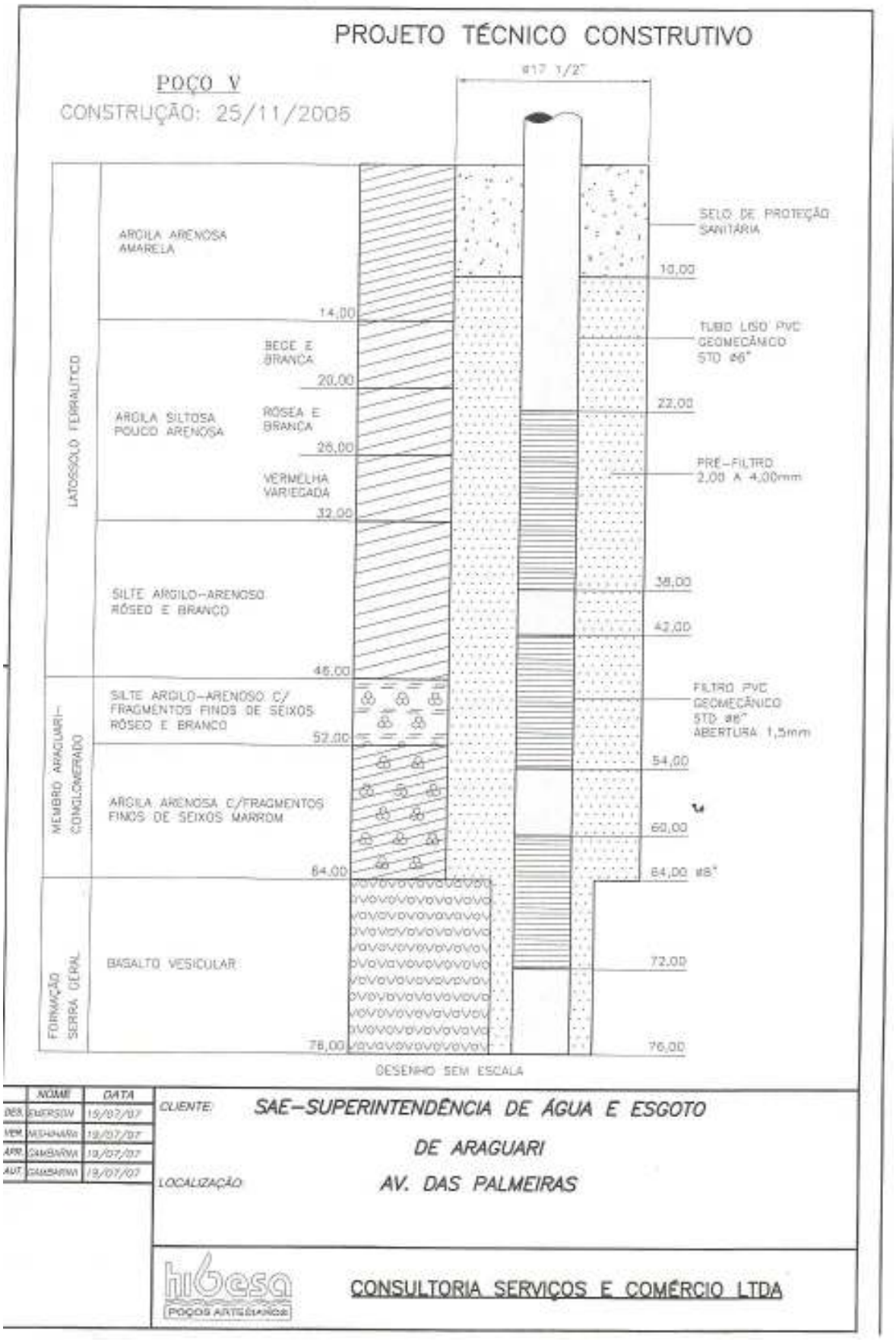
	NOME	DATA
DES.	EMERSON	19/07/07
VER.	ISHIHARA	19/07/07
APR.	GAMBARINI	19/07/07
RVT.	GAMBARINI	19/07/07

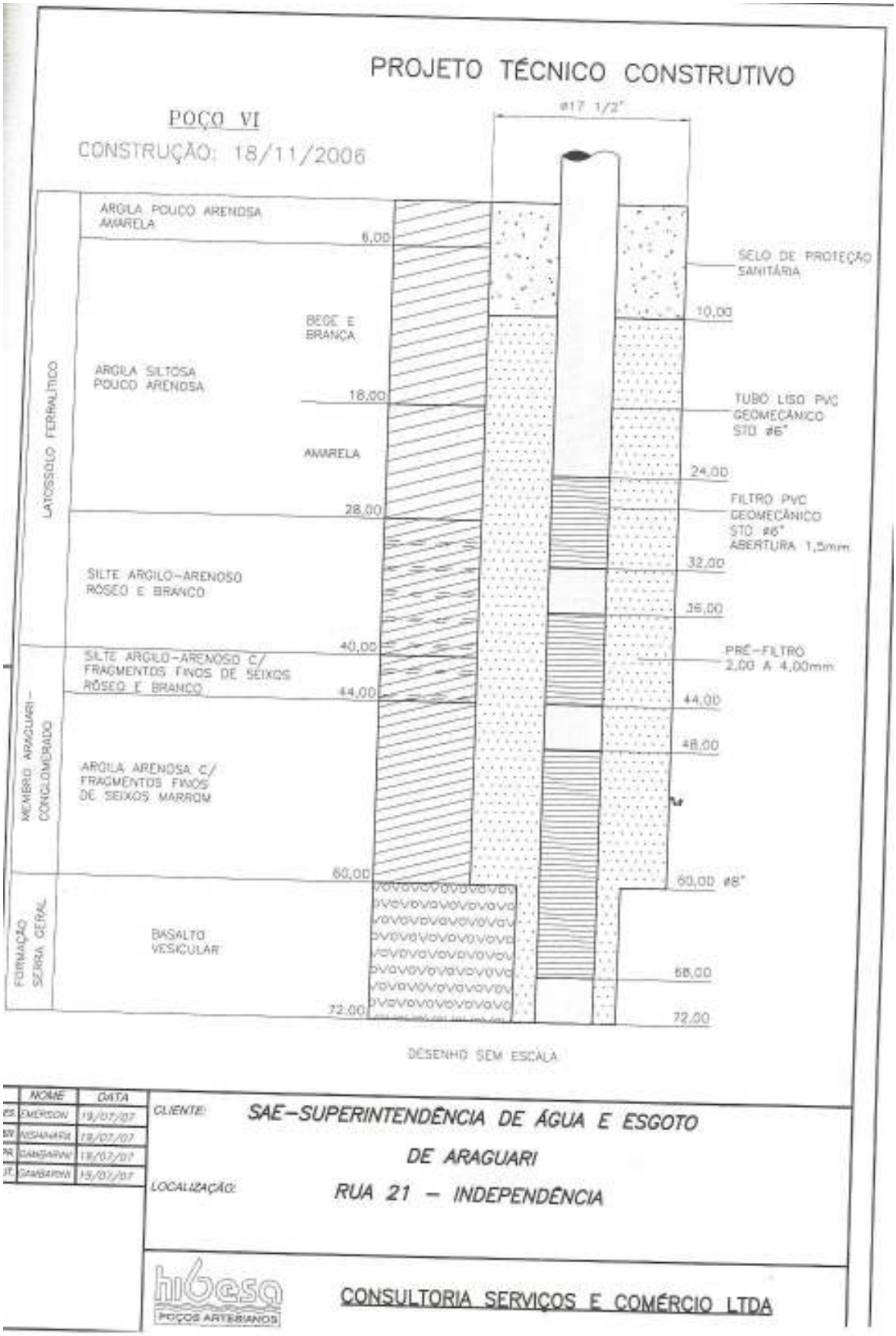
CLIENTE: SAE–SUPERINTENDÊNCIA DE ÁGUA E ESGOTO DE ARAGUARI

LOCALIZAÇÃO: AV. MIGUEL ASSAD DEBS

hidesa POÇOS ARTESIANOS

CONSULTORIA SERVIÇOS E COMÉRCIO LTDA


PROJETO TÉCNICO CONSTRUTIVO
POÇO V
CONSTRUÇÃO: 25/11/2005
ø17 1/2"
SELO DE PROTEÇÃO SANITÁRIA
10,00
TUBO LISO PVC GEOMECÂNICO STD ø6"
22,00
PRÉ-FILTRO 2,00 A 4,00mm
38,00
42,00
FILTRO PVC GEOMECÂNICO STD ø6" ABERTURA 1,5mm
54,00
60,00
64,00 ø8"
72,00
76,00
LATOSSOLO FERRALÍTICO
ARGILA ARENOSA AMARELA
14,00
ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA
BEGE E BRANCA
20,00
RÓSEA E BRANCA
26,00
VERMELHA VARIEGADA
32,00
SILTE ARGILO-ARENOSO RÓSEO E BRANCO
46,00
MEMBRO ARAGUARI-CONGLOMERADO
SILTE ARGILO-ARENOSO C/ FRAGMENTOS FINOS DE SEIXOS RÓSEO E BRANCO
52,00
ARGILA ARENOSA C/FRAGMENTOS FINOS DE SEIXOS MARROM
64,00
FORMAÇÃO SERRA GERAL
BASALTO VESICULAR
78,00
DESENHO SEM ESCALA
NOME
DATA
DES. EVERSON 19/07/07
VER. MENHARA 19/07/07
APR. CAMBARA 19/07/07
AUT. CAMBARA 19/07/07
CLIENTE: SAE-SUPERINTENDÊNCIA DE ÁGUA E ESGOTO DE ARAGUARI
LOCALIZAÇÃO: AV. DAS PALMEIRAS
hibesa
POÇOS ARTESIANOS
CONSULTORIA SERVIÇOS E COMÉRCIO LTDA


PROJETO TÉCNICO CONSTRUTIVO
POÇO VI
CONSTRUÇÃO: 18/11/2006
ø17 1/2"
ARGILA POUCO ARENOSA AMARELA
6,00
BEGE E BRANCA
ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA
18,00
AMARELA
28,00
SILTE ARGILO-ARENOSO RÓSEO E BRANCO
40,00
SILTE ARGILO-ARENOSO C/ FRAGMENTOS FINOS DE SEIXOS RÓSEO E BRANCO
44,00
ARGILA ARENOSA C/ FRAGMENTOS FINOS DE SEIXOS MARROM
60,00
BASALTO VESICULAR
72,00
LATOSSOLO FERRALÍTICO
MEMBRO ARAGUARI - CONGLOMERADO
FORMAÇÃO SERRA GERAL
SELO DE PROTEÇÃO SANITÁRIA
10,00
TUBO LISO PVC GEOMECÂNICO STO ø6"
24,00
FILTRO PVC GEOMECÂNICO STO ø6" ABERTURA 1,5mm
32,00
36,00
PRÉ-FILTRO 2,00 A 4,00mm
44,00
48,00
60,00 ø8"
68,00
72,00
DESENHO SEM ESCALA
NOME
DATA
EMERSON 19/07/07
ROSIMARA 19/07/07
GIANFARNI 19/07/07
GIANBARNI 19/07/07
CLIENTE:
SAE-SUPERINTENDÊNCIA DE ÁGUA E ESGOTO
DE ARAGUARI
LOCALIZAÇÃO:
RUA 21 - INDEPENDÊNCIA
hidesa
POÇOS ARTESIANOS
CONSULTORIA SERVIÇOS E COMÉRCIO LTDA

ANEXO B

Mapa de vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método GOD.

ANEXO C

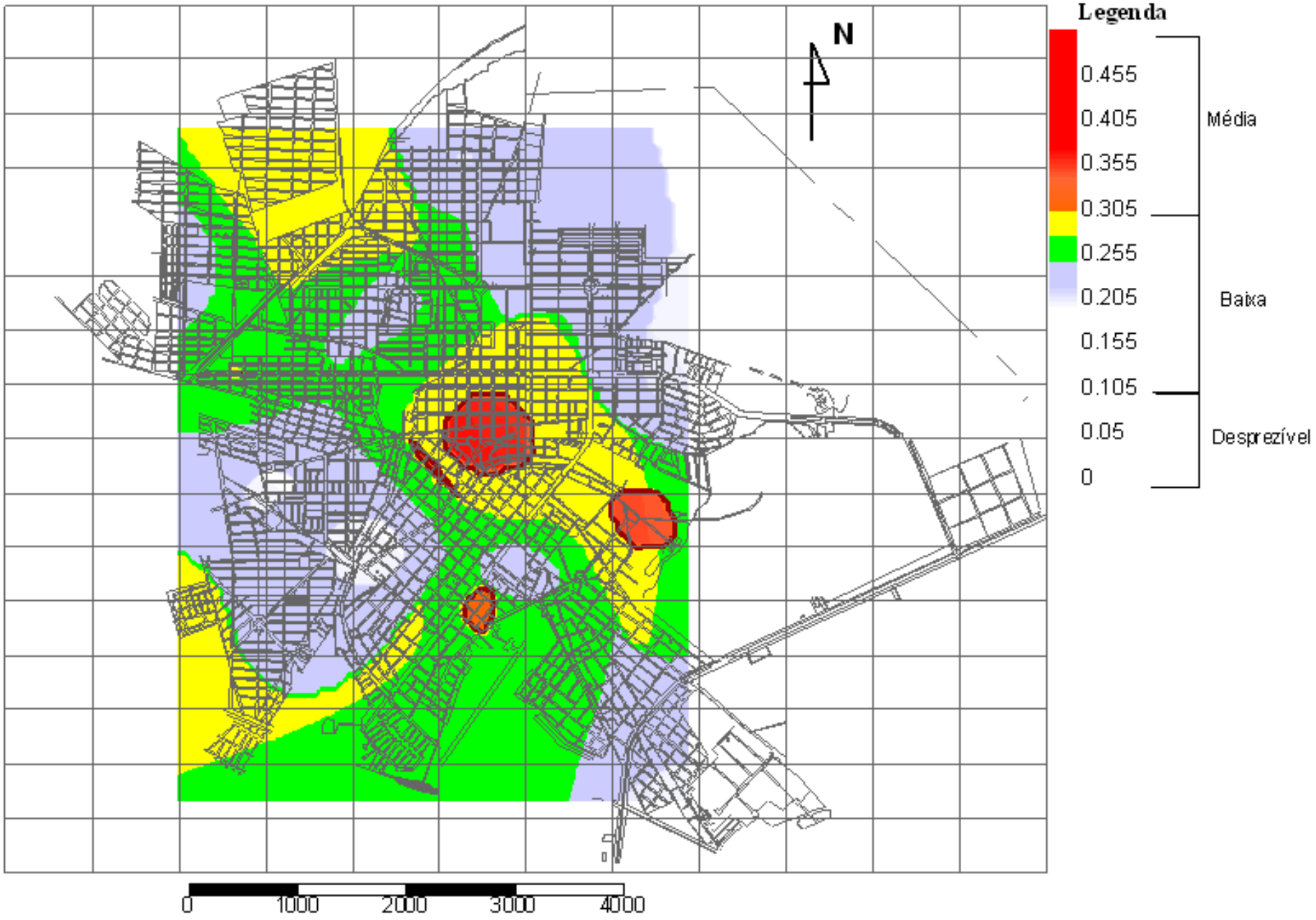
Mapa de vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método Híbrido.

ANEXO D

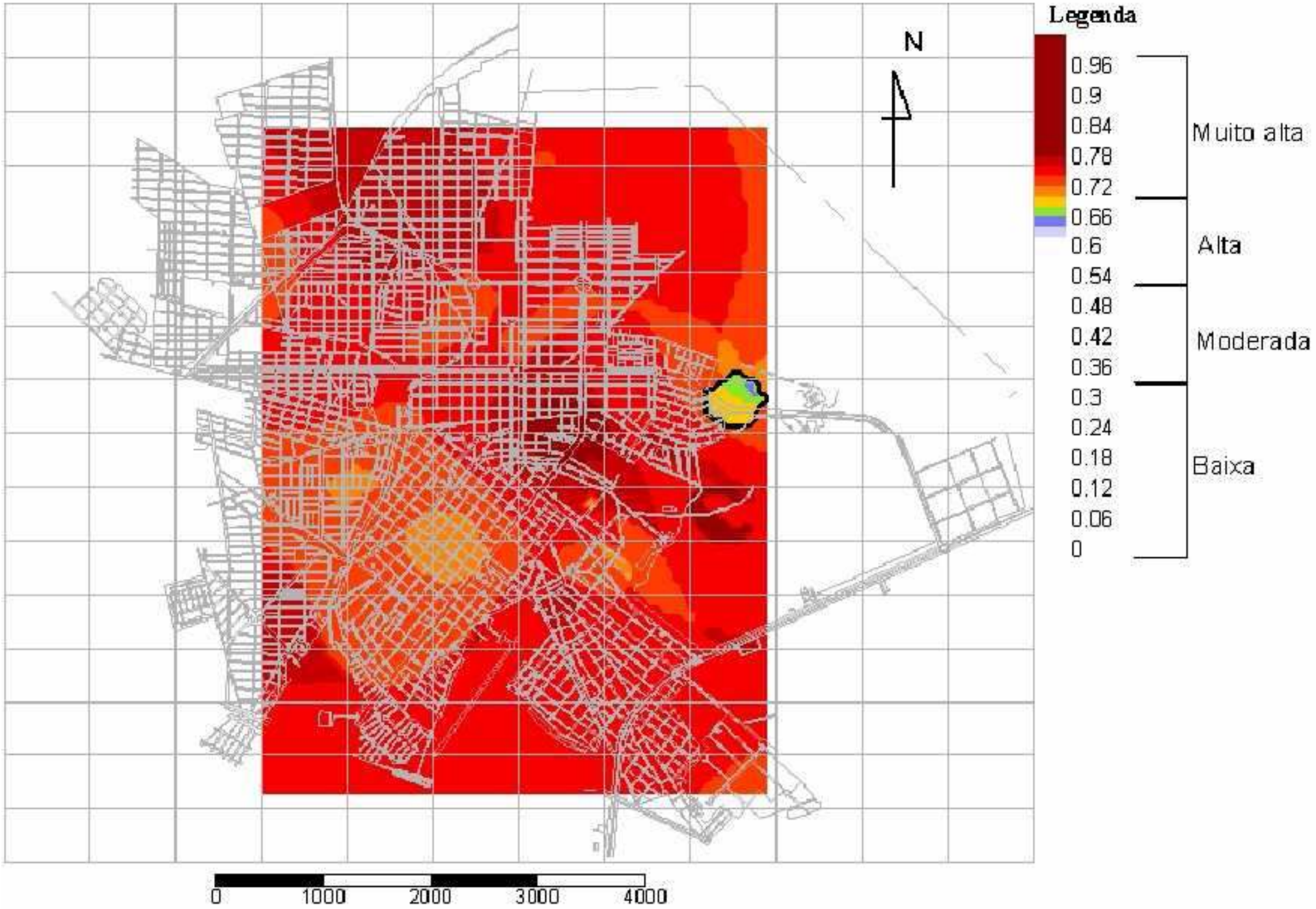
Mapa de vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método EKv.

ANEXO E

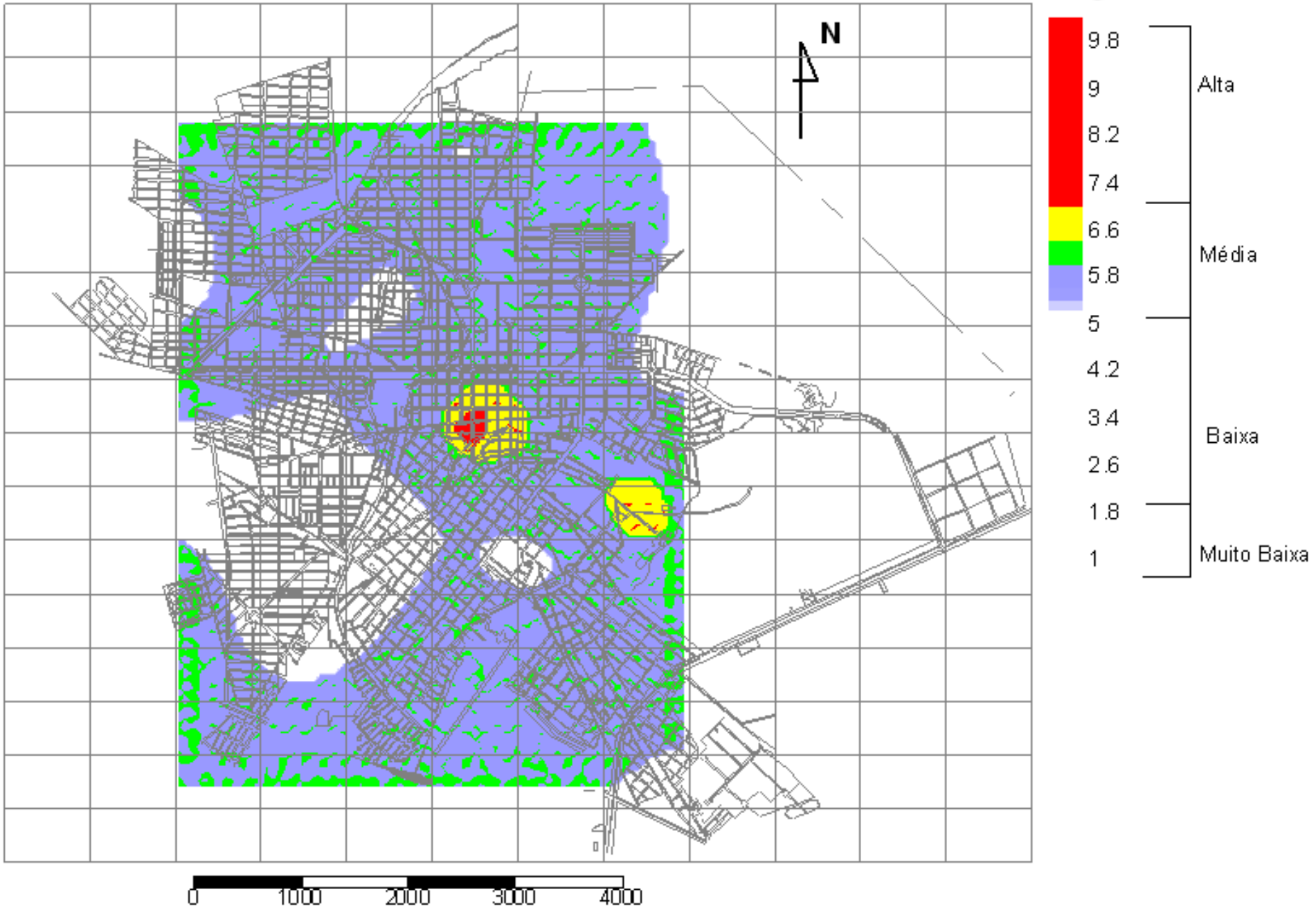
Mapa de vulnerabilidade adimensional, obtido a partir do agrupamento entre mapas dos métodos GOD, Híbrido e EKv



Mapa de vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método GOD.



Mapa de vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método Híbrido.



Mapa de vulnerabilidade obtido a partir da aplicação do método EKv.



Mapa de vulnerabilidade normalizada (%), obtido pelos métodos GOD, Híbrido e EKv.