

**MONIQUE AMIN GHANEM**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA  
EM JOINVILLE, SC E SEUS RISCOS À SAÚDE**

**JOINVILLE**

**2009**

**MONIQUE AMIN GHANEM**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA  
DE JOINVILLE, SC E SEUS RISCOS À SAÚDE**

Dissertação de Mestrado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Saúde e Meio Ambiente, na Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE. Orientadora: Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira.

**Joinville**

**2009**

## **Dedicatória**

Dedico esse trabalho aos meus pais Omar e Cleide, e aos meus irmãos Francine e Omar pela compreensão, apoio, incentivo, amor e carinho demonstrados nos momentos difíceis e sobrecarregados que passei. Tenho um enorme orgulho de vocês. Amo vocês, obrigada.

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que me deu vida e força para realizar grandes objetivos.

À minha família, que me apoiou, incentivou e compartilhou as alegrias e as angústias desta dissertação.

À minha orientadora Professora Dra. Therezinha Maria Novaes de Oliveira, pelos seus conhecimentos, dedicação e profissionalismo ao desempenhar o papel de orientadora neste trabalho.

As minhas amigas que levo no coração, pelo apoio, incentivo e acompanhamento em muitos momentos.

Aos estabelecimentos onde foram realizadas as amostragens, pelas suas disponibilidades e atenção, fornecendo importantes informações para a pesquisa, e possibilitando o desenvolvimento deste estudo.

Aos professores do curso de Mestrado em Saúde e Meio Ambiente, pela disseminação dos seus conhecimentos.

Aos profissionais da UNIVILLE, Cleiton, Denise, Bruno, Celso, Alessandro, Maria Patrícia e Débora, por sua atenção e ajuda neste trabalho.

Aos meus amigos de trabalho, pela ausência e ajuda nos momentos mais desafiadores.

Aos professores membros da banca examinadora, pelo seu tempo e trabalho disponibilizado.

Aos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

As águas subterrâneas são as mais importantes reservas de água doce disponível no mundo, sendo em muitas regiões única fonte de abastecimento. Esta pesquisa, realizada no município de Joinville, norte do Estado de Santa Catarina, teve por objetivo avaliar a qualidade da água subterrânea e seus principais riscos potenciais à saúde e ao meio ambiente. Joinville é o município mais populoso e industrializado de Santa Catarina, possuindo um solo bastante poroso na maioria de sua área física, fato que levanta muitas questões quanto à qualidade da água subterrânea local. Para tanto, 12 pontos de água foram amostrados considerando diferentes regiões. Posteriormente, essas amostras foram analisadas no Laboratório IP - Instituto de Pesquisas utilizando como bases metodológicas: *Standard Methods*, EPA e NBR's conforme o parâmetro analisado. Os parâmetros analisados foram os nove parâmetros do IQA – índice de qualidade de água (pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, fósforo total, DBO, temperatura, turbidez, resíduos totais, coliformes termotolerantes) mais os compostos orgânicos: benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos, e os inorgânicos: ferro e manganês. Os resultados mostraram que mesmo tendo 91% das amostras um IQA considerado bom, 75% dos pontos apresentam a existência de algum tipo de contaminação, alertando para os devidos cuidados nos sistemas de controle de poluição desses pontos evitando assim os riscos eminentes à saúde e ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** água subterrânea, índice da qualidade da água, saúde.

## ABSTRACT

The underground waters are the most important fresh water reserves available in the world. The objective of this study carried out in the municipality of Joinville, in the northern region of the State of Santa Catarina, was to evaluate the quality of the underground water and its main potential risks to health and the environment. Being the only source of supply in many regions, and further added to the fact that Joinville is the most heavily populated and industrialized municipality in Santa Catarina, consisting mainly of extremely porous soil, that raises many questions regarding the quality of local underground water. Therefore, 12 water points, were sampled from the various regions. These samples were then analyzed in the IP (Research Institute) Laboratory based on the following methodologies: Standard Methods, EPA and NBRs according to the parameter analyzed. The parameters analyzed were the nine IQA parameters – water quality index (pH, dissolved oxygen, ammoniacal nitrogen, total phosphorus, DBO, temperature, turbidity, total residues, thermo tolerant coliforms) plus the organic compounds: benzene, toluene, ethyl benzene, xylems, and the inorganic: iron and manganese. The results showed that even though 91% of the samples had what was considered a good IQA, 75% of the points presented some type of contamination, indicating the need to take due precautions in the pollution control systems of these points to thus avoid eminent risk to health and the environment.

**Key words:** underground water, water quality index, health.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Reservatórios de água subterrânea .....	15
Quadro 1 - Casos de contaminação ambiental por substâncias químicas - 1992 a 2002 .....	21
Gráfico 1 - Evolução do padrão de potabilidade brasileiro, em termos das substâncias que oferecem riscos à saúde e à aceitação humana.....	27
Quadro 2 - Modos de contaminação pela água.....	31
Figura 2 - Fórmulas para o cálculo do IQA.....	56
Figura 3 - Localização geográfica do município de Joinville - SC .....	59
Quadro 3 - Principais produtos das indústrias de Joinville .....	61
Gráfico 2 - Média de precipitação dos dias que antecederam as coletas .....	65
Figura 4 - Relação dos pontos amostrados com a área de cobertura da coleta de esgoto .....	66
Figura 5 - Localização dos pontos de amostragem e suas respectivas numerações.....	68
Figura 6 – Fotografias dos pontos de captação das amostras .....	72
Figura 7 - Realização dos ensaios .....	77
Gráfico 3 - Gráfico do Índice de Qualidade da Água nos doze pontos amostrados	79
Figura 8 - Variação espacial e temporal do parâmetro coliformes termotolerantes	80
Figura 9 - Variação espacial e temporal do parâmetro DBO .....	81
Figura 10 - Variação espacial e temporal do parâmetro Fósforo Total.....	82
Figura 11 - Variação espacial e temporal do parâmetro Nitrogênio Amoniacal.....	83
Figura 12 - Variação espacial e temporal do parâmetro Oxigênio Dissolvido .....	84
Figura 13 - Variação espacial e temporal do parâmetro pH .....	85
Figura 14 - Variação espacial e temporal do parâmetro Resíduo Total .....	86
Figura 15 - Variação espacial e temporal do parâmetro Temperatura .....	87
Figura 16 - Variação espacial e temporal do parâmetro Turbidez.....	88
Figura 17 - Variação espacial e temporal do parâmetro de Ferro .....	89
Figura 18 - Variação espacial e temporal do parâmetro de Manganês .....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sumário das principais atividades potencialmente geradoras de carga poluidora.....	38
Tabela 2 - Gradação para o IQA .....	57
Tabela 3 - Empresas de Joinville, por setor de atividades .....	60
Tabela 4 - Relação do macrozoneamento do município com os pontos amostrados.....	64
Tabela 5 – Dados dos pontos amostrados.....	70
Tabela 6 – Preservação e armazenamento de amostras de acordo com o tipo de análise .....	75
Tabela 7 - Parâmetros analisados na água com seus respectivos Limites de Detecção do Método empregado, Unidade de Medida, Equipamento e Referência.....	76



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1 REVISÃO TEÓRICA</b> .....	14
1.1 Água Subterrânea .....	14
1.2 Problemática Ambiental das Águas Subterrâneas .....	18
1.3 Problemática na Saúde Humana das Águas Subterrâneas .....	30
1.4 Avaliação da Qualidade da Água .....	34
1.4.1 Fatores que interferem na qualidade da água subterrânea .....	36
1.4.2 Indicadores de qualidade de água .....	44
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	58
2.1 Área de Estudo .....	58
2.1.1 Características Socioeconômicas .....	60
2.1.2 Geomorfologia .....	61
2.1.3 Geologia .....	62
2.1.4 Hidrografia .....	62
2.1.5 Vegetação .....	64
2.1.6 Pluviometria .....	64
2.2 Rede de Esgoto Sanitário .....	65
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	67
3.1 Amostragem .....	67
3.1.1 Definição dos pontos de amostragem .....	67
3.1.2 Parâmetros analisados .....	73
3.1.3 Cuidados gerais .....	73
3.1.4 Preservação e armazenamento .....	74
3.1.5 Condições de campo .....	75
3.2 Ensaio .....	76
3.3 Análise dos Resultados .....	77
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	79
4.1 Coliformes Termotolerantes .....	80
4.2 DBO .....	81
4.3 Fósforo Total .....	82
4.4 Nitrogênio Amônia .....	83
4.5 Oxigênio Dissolvido .....	84
4.6 pH .....	85
4.7 Resíduo Total .....	86
4.8 Temperatura .....	87
4.9 Turbidez .....	88
4.10 Ferro .....	89
4.11 Manganês .....	90
4.12 BTEX (Benzeno, Tolueno, Etil Benzeno e Xilenos) .....	91
4.13 Caracterização Espacial .....	91
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	94

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	96
<b>ANEXO</b> .....	101
<b>APÊNDICE A</b> .....	103
<b>APÊNDICE B</b> .....	108

## INTRODUÇÃO

A partir da década de 70 tem-se acentuado o desenvolvimento da exploração de águas subterrâneas no Brasil. Em 1997, segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB estimava-se que no estado de São Paulo existiam aproximadamente 200.000 poços tubulares ativos (além de milhões de poços rasos, escavados), que forneciam água para os diversos fins, sobretudo para o abastecimento urbano. Numerosos pólos agroindustriais e agropecuários tinham a água subterrânea como manancial prioritário para o atendimento da demanda, estimando-se que 60,5% dos núcleos urbanos eram servidos exclusivamente (45,4%) ou parcialmente (15,1%), por fontes subterrâneas.

Para Baird (2002), a exploração dos recursos hídricos subterrâneos aumenta a cada ano, tanto pelas necessidades decorrentes do aumento da concentração demográfica e da expansão econômica, como pelas relativas vantagens sobre as águas superficiais.

Esse autor ainda relata que, historicamente, foi considerado implícita ou explicitamente que os produtos químicos emitidos para o ambiente seriam assimilados pela natureza: ou o sistema natural os transformaria em substâncias de ocorrência natural, não prejudiciais, ou os produtos químicos seriam diluídos em tal extensão que não poderiam ser atribuídos a eles quaisquer riscos para a vida. No entanto, essa estratégia de que “a solução para a poluição é a diluição”<sup>1</sup> é, de fato, bem sucedida com alguns poluentes. Porém, nos anos 60 e 70 ficou bem claro que muitos produtos químicos sintéticos não são assimilados pelo ambiente natural porque são persistentes, isso é, não são alterados pela ação de luz, água, ar ou microorganismos (que atuam com freqüência na degradação de muitos poluentes) durante períodos muito longos de tempo. E, devido a sua persistência e contínua liberação, as concentrações ambientais de tais substâncias aumentaram no passado em níveis inquietantes. Devido à quantidade de problemas que provocam, foi detectado que muitas substâncias persistentes não se tornam uniformemente dispersas no meio ambiente. Em vez disso, concentram-se em organismos vivos, podendo atingir seres humanos e outros animais em níveis que, ocasionalmente

---

<sup>1</sup> Grifo do autor.

afetam a saúde e até levam à morte prematura (BAIRD, 2002).

A caracterização mais aproximada da idéia de risco de poluição das águas subterrâneas consiste na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com a carga poluidora aplicada no solo ou em subsuperfície.

Já em 1997 a CESTESB relatava que problemas ambientais envolvendo os recursos hídricos subterrâneos sempre estiveram muito mais associados às emissões e/ou manuseio de substâncias como hidrocarbonetos, solventes orgânico-sintéticos e metais pesados do que propriamente às excessivas cargas orgânicas degradáveis, responsáveis, em geral, por maiores riscos aos recursos hídricos superficiais. Entretanto, o crescimento populacional aliado à ocupação desordenada e aos baixos índices de saneamento básico em todas as regiões do Brasil já trazia um alerta para a contaminação por esgotos sanitários.

A Agência Nacional de Águas – ANA, em 2007, relatava que informações sobre a qualidade da água subterrânea brasileira eram esparsas ou mesmo inexistentes em várias bacias. Poucas unidades da federação possuem redes de monitoramento e a maioria das existentes teve sua operação iniciada recentemente.

No Estado de São Paulo, em que existe um maior controle ambiental comparativamente a outros estados do País, os postos de combustíveis são considerados a principal fonte de contaminação de água subterrânea. A CETESB (2007) realizou um levantamento das áreas contaminadas no Estado. Em maio de 2002 existiam 255 áreas e, em outubro de 2003, 727 áreas. Em novembro de 2004 foram totalizadas 1.336 áreas contaminadas das quais, 931 registros (69% do total), eram postos de combustíveis.

Inglez, em 1995, já alertava que no município de Joinville, os postos de gasolina eram considerados riscos em potencial tanto de vazamento nos tanques de armazenamento quanto de impacto ambiental.

Além disso, Joinville é a maior cidade do Estado de Santa Catarina, com cerca de 500 mil habitantes, maior pólo industrial e enorme carência de sistema de tratamento de esgoto doméstico, com características hidrogeoambientais que incluem pequena profundidade do nível d'água subterrânea, solos agressivos, áreas influenciadas por marés e grande quantidade de corpos de água superficiais (IPPUJ, 2009).

Em decorrência da importância do assunto, esta pesquisa teve por objetivo geral avaliar a qualidade da água subterrânea em Joinville, Santa Catarina e seus

potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente. Utilizou, para esse fim, o cálculo do IQA e da análise de compostos orgânicos e inorgânicos de 12 pontos distribuídos nas diferentes regiões no município, considerando diferentes regiões relacionando as concentrações das substâncias com o uso e ocupação do solo e a profundidade dos poços, que constitui o objetivo específico deste estudo.

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. No primeiro capítulo é exposta a Revisão Teórica, que dá embasamento ao estudo. A caracterização da área de estudo é apresentada no capítulo 2. No capítulo 3 encontra-se a metodologia adotada para o desenvolvimento das análises. O capítulo 4, por fim, mostra os resultados obtidos e a discussão dos dados.

# 1 REVISÃO TEÓRICA

## 1.1 A Água Subterrânea

A água é tão importante para a vida humana quanto os alimentos. Todas as formas de vida existentes na Terra dependem da água. Cada ser humano necessita consumir diariamente dois litros de água doce para manter-se vivo.

Segundo Baird (2002) as águas cobrem três quartos da superfície da Terra, no entanto mais de 97% da água do planeta é salgada, encontrada nos oceanos, e menos de 3% é água doce. Desta última, 77% estão congeladas nos círculos polares, 22% compõem-se de água subterrânea e a pequena fração restante encontra-se nos lagos, rios, plantas e animais. O autor ainda cita que a maior parte da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo. À medida que se aprofunda no solo, sob a camada inicial do solo úmido, a camada seguinte encontrada é a zona de aeração ou insaturada, onde as partículas de solo estão cobertas com um filme de água, mas existe ar entre as partículas. À maior profundidade está a zona saturada, em que a água deslocou todo o ar.

De acordo com Rebouças (1996), a denominação de água subterrânea passou a compreender toda a água que ocorre abaixo da superfície de uma determinada área – água do solo, água da zona não saturada, água da zona saturada, água de camadas aflorantes muito permeáveis (aqüífero livre), água de camadas encerradas entre outras relativamente menos permeáveis (aqüífero confinado), água de camadas relativamente argilosas (aquitardes), água de camadas muito argilosas (aquicludes) – daí a denominação mais freqüente de água subterrânea.

A parte superior da região (saturada) das águas subterrâneas é denominada lençol freático. Em alguns locais, ele ocorre exatamente na superfície do solo, um fenômeno que dá lugar a pântanos. Quando o lençol freático repousa sobre o solo, encontram-se lagos e água corrente (BAIRD, 2002).

Segundo a ANA (2007) existem essencialmente 2 tipos de aqüíferos, o que pode ser mais bem visualizado na Figura 1.

- Aqüífero livre - Formação geológica permeável e parcialmente saturada de água. É limitado na base por uma camada impermeável. O nível da água no aqüífero está à pressão atmosférica.
- Aqüífero Confinado - Formação geológica permeável e completamente saturada de água. É limitado no topo e na base por camadas impermeáveis. A pressão da água no aqüífero é superior à pressão atmosférica. Devido a essa pressão também são chamados de artesianos. Quando perfurados jorram naturalmente na superfície.

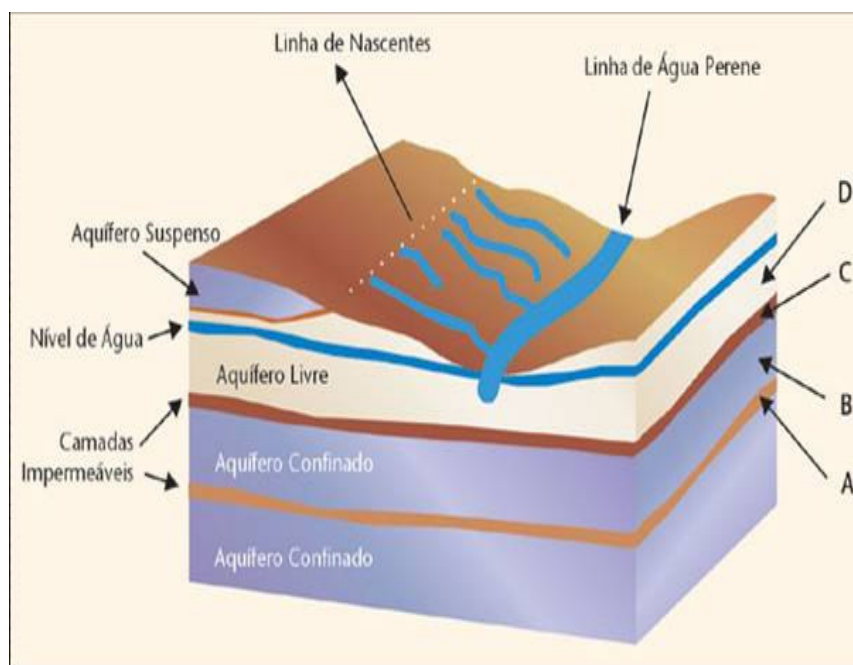


Figura 1 - Reservatórios de água subterrânea  
Fonte: ANA (2007)

Dados da ANA (2007) informam que o nível da água nos aqüíferos não é estático e varia com:

- a precipitação ocorrida;
- a extração de água subterrânea;
- os efeitos de maré nos aqüíferos costeiros;
- a variação súbita da pressão atmosférica, principalmente no inverno;
- as alterações do regime de escoamento de rios influentes (que recarregam os aqüíferos);
- a evaporação etc.

Ainda de acordo com dados da ANA (2007), os aquíferos também podem ser classificados como:

- porosos, onde a água circula através de poros. As formações geológicas são areias limpas, areias consolidadas por um cimento também chamadas “arenitos”, conglomerados etc.;
- fraturados e/ou fissurados, onde a água circula através de fraturas ou pequenas fissuras. As formações são granitos, gabros, filões de quartzo etc.;
- cársticos, onde a água circula em condutos que resultaram do alargamento de diáclases, por dissolução. As formações são os calcários e dolomitos.

O lençol freático raramente é estático e horizontal. A superfície se inclina no sentido do fluxo subterrâneo, no rumo da saída para a água de superfície. Todo lençol freático vem, afinal, para a superfície da terra (BABBITT *et al.*, 1973).

Entre as formas sob as quais ocorre a água subterrânea, estão os vales dos rios enterrados ou leitos de velhos lagos; os amplos depósitos sedimentares, tal como ocorre sob as savanas e nos planos do oeste dos Estados Unidos, onde a água pode ser mantida nas rochas porosas ou sob pressão em camadas permeáveis e estrato poroso, no qual a resistência ao fluxo junto a taxa de percolação é suficiente para manter um reservatório de água subterrânea bem acima do nível da saída natural na superfície. A água subterrânea também ocorre como uma lâmina de água doce mantida acima do nível da água salgada adjacente, e como bolsões de água, isso é, água mantida em material poroso suportado por uma camada impermeável subterrânea, como uma bacia. É necessário distinguir entre porosidade e permeabilidade, porque é da última que depende a disponibilidade da água na camada subterrânea. Porosidade é o volume de poros de uma substância e geralmente é expressa como uma percentagem do volume total. A porosidade representa o volume total do material. Permeabilidade é a capacidade que tem uma substância de permitir que a água passe através dela, a qual é equivalente à água disponível para um suprimento (BABBITT *et al.*, 1973).

Se a água subterrânea está contida em solo composto por rochas porosas, como arenito, ou em rochas altamente fraturadas, como pedregulho ou areia, e se as águas mais profundas estão em contato com uma camada de argila ou rochas impermeáveis, então se constitui um reservatório permanente – uma espécie de lago



subterrâneo – chamado aquífero. Essa água subterrânea pode ser extraída mediante a perfuração de poços e é o principal suprimento de água para consumo humano de quase metade da população da América do Norte. Em 1990, nos Estados Unidos, a água subterrânea forneceu 39% da água empregada para o abastecimento público e 96% daquela foi extraída por meio de sistemas domésticos individuais. Na Europa, a proporção de água potável pública extraída dos aquíferos atinge quase 100 % na Dinamarca, Áustria e Itália, chegando a cerca dos dois terços na Alemanha, na Suíça e nos Países Baixos, e menos de um terço na Grã-Bretanha e Espanha (BAIRD, 2002).

Ao contrário do combustível fóssil e do solo, Corson (1996) relata que as águas doces são fontes renováveis se forem usadas de forma adequada e cuidadosamente conservadas. O ciclo hidrológico global pode satisfazer as necessidades por água, em uma base sustentável. A água subterrânea representa a parcela do ciclo hidrológico que transita “escondida” na subsuperfície da Terra.

Segundo as Organizações das Nações Unidas - ONU (PLANETA TERRA, 2007-2009), o volume médio anual de água renovável é de 43 mil quilômetros cúbicos – cerca da metade da água doce existente em todos os lagos naturais da Terra. A recarga de água subterrânea é de 10 mil km<sup>3</sup> anuais (cerca de 0,1% de todas as reservas) – ou seja, uma pequena proporção do volume total desses estoques é reposta a cada ano.

Struckmeiere *et al.* (2008) relatam que cerca de 30% da área continental (exceto a Antártica) tem aquíferos relativamente homogêneos com reservas importantes. Aproximadamente 19% dessa área envolvem regiões geologicamente complexas bem providas de água subterrânea. Metade da área continental contém, em geral, reservas menos significativas, mas conseguem sustentar cidades pequenas e médias.

A água subterrânea desempenha importante papel no desenvolvimento socioeconômico nacional. Para exemplificar, no Estado de São Paulo, dos 645 municípios, 308 (47,7%) são totalmente abastecidos por esse recurso hídrico (CETESB, 2007).

Segundo dados da ANA (2007), a água subterrânea participa do abastecimento de comunidades rurais do semi-árido nordestino, sendo utilizada na irrigação e pela população urbana de diversas capitais do País. Ainda é responsável

pelo turismo associado às águas termais, em cidades como Caldas Novas, em Goiás, Araxá, São Lourenço e Poços de Caldas, em Minas Gerais.

A água subterrânea é o mais aproveitado recurso natural. A produção mundial registrou em 2004, entre 600 e 700 bilhões de toneladas. No mesmo ano, o consumo mundial de areia e brita foi de aproximadamente 18 bilhões de toneladas. Sua procura cresce à medida que aumentam a população, a atividade econômica e a irrigação. Mas as reservas mundiais acessíveis de água diminuem devido a sua superutilização e poluição. Mais de 30 países sofrem de uma séria e crônica falta d'água e recorrem cada vez mais à água subterrânea. O caráter essencial desse recurso o torna, inclusive, propriedade pública em muitos países (STRUCKMEIRER *et al.* 2008).

## 1.2 Problemática Ambiental das Águas Subterrâneas

A introdução de resíduos, na forma de matéria ou energia resulta na poluição da água, tornando-a prejudicial ao homem e a outras formas de vida, ou imprópria para um determinado uso estabelecido para ela. Esse é um conceito amplo, que associa poluição aos usos da água, e não somente aos danos que ela pode causar aos organismos. É, portanto, um conceito relativo. Uma água pode ser considerada poluída para determinado uso e não ser para outro (MOTA, 1997).

A poluição de águas naturais por contaminantes tanto biológicos como químicos é um problema de âmbito mundial; poucas áreas povoadas, seja em países desenvolvidos ou não desenvolvidos, não sofrem de uma ou de outra forma de poluição (BAIRD, 2002).

Os poluentes podem alcançar as águas superficiais ou subterrâneas por meio do lançamento direto, da precipitação, do escoamento pela superfície do solo ou por infiltração. As fontes de poluição da água podem ser localizadas (pontuais), quando o lançamento da carga poluidora é feito de forma concentrada, em determinado local, ou não localizadas (difusas), quando os poluentes alcançam um manancial de modo disperso, não se determinando um ponto específico de introdução. Como exemplos de fontes localizadas, citam-se as tubulações emissárias de esgotos domésticos ou industriais e as galerias de águas pluviais. Com fontes não

localizadas, podem ser incluídas as argilas do escoamento superficial ou de infiltração (MOTA, 1997).

Esse autor ainda relata que as principais fontes de poluição de águas subterrâneas são: infiltração de esgotos a partir de sumidouros ou valas de infiltração (fossa séptica); infiltração de esgotos depositados em lagoas de estabilização ou em outros sistemas de tratamento usando disposição no solo; infiltração de esgotos aplicados no solo em sistemas de irrigação; percolação do chorume resultante de depósitos de lixo no solo; infiltração de águas contendo pesticidas, fertilizantes, detergentes e poluentes atmosféricos depositados no solo; infiltração de outras impurezas presentes no solo; infiltração de águas superficiais poluídas; vazamentos de tubulações ou depósitos subterrâneos; injeção de esgoto no subsolo; intrusão de água salgada; resíduos de outras fontes: cemitério, minas, depósitos de material radioativo.

Segundo Mota (1997), as águas superficiais e subterrâneas muitas vezes se interligam. Em algumas situações, os mananciais de superfície proporcionam a recarga dos reservatórios subterrâneos, enquanto em outras as águas do subsolo descarregam em recursos hídricos superficiais. Assim, um manancial de superfície, poluído, pode causar a poluição de um aquífero subterrâneo e vice-versa.

Baird (2002) relata que nos Estados Unidos uma grande parte da água subterrânea era usada para irrigação. A extração maciça de água dos aquíferos americanos gerava temores a respeito do suprimento de água doce no futuro (e sobre o desmoronamento da terra situada acima dos aquíferos), já que tais aquíferos são preenchidos muito lentamente. Além disso, a contaminação das águas subterrâneas por produtos químicos já era também um problema sério em muitas áreas.

Apesar de a humanidade vir preocupando-se com a poluição das águas superficiais de rios e lagos há cerca de meio século, a contaminação das águas subterrâneas por produtos químicos não foi reconhecida como um problema sério até os anos 80, muito embora ela já viesse ocorrendo. Em grande parte, a contaminação das águas subterrâneas foi negligenciada por não ser imediatamente visível, apesar de constituírem uma das principais fontes de água potável. As conseqüências, em longo prazo, de práticas de descarte de lixo foram ignoradas. As águas superficiais podem ser purificadas com relativa facilidade e rapidez, enquanto

que a poluição da água subterrânea é um problema de longo prazo, muito mais difícil e muito mais caro de ser resolvido (BAIRD, 2002).

Ainda Baird (2002) descreve que produtos químicos podem ocorrer comumente em águas subterrâneas nos locais onde foram fabricados e/ou acumulados seus descartes, especialmente entre 1940 e 1980. Nesse período, era dada pouca atenção ao destino e local da estocagem final e à introdução desses compostos químicos no subsolo. As fontes dessas substâncias orgânicas abrangem vazamentos de depósitos de lixo químico, vazamentos de tanques subterrâneos de armazenamento de gasolina, vazamentos de aterros de lixo municipais e derramamentos acidentais de produtos químicos. Muitas substâncias decaem rapidamente ou são imobilizados no solo, de maneira que o número de compostos com persistência e mobilidade suficientes para deslocar-se até o lençol freático e contaminar as águas subterrâneas é relativamente pequeno.

Os hidrocarbonetos aromáticos como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e os xilenos (orto, meta e para), chamados de BTEX<sup>2</sup>, são os constituintes da gasolina que têm maior solubilidade em água e, portanto, são os constituintes que primeiro irão atingir o lençol freático caso ocorra um vazamento em um tanque de armazenamento subterrâneo (CORSEUIL e MARINS, 1997).

No Brasil há uma série de acontecimentos relatados nos quais ocorreram casos de contaminação no solo, água e ar por resíduos químicos industriais. Exemplos podem ser encontrados nos vazamentos dos tanques de gasolina dos postos de combustíveis, no uso indiscriminado de agrotóxicos, na lixiviação, que podem causar, além da poluição ambiental, graves problemas de saúde e de segurança pública (LUNA *et al.*, 2003).

Uma breve descrição dos principais casos de contaminação ambiental no Brasil encontra-se apresentada no Quadro 1.

---

<sup>2</sup> BTEX é o acrônimo formado a partir dos nomes das seguintes substâncias químicas: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos. Este é um grupo muito importante de compostos voláteis encontrados no petróleo e seus derivados, como a gasolina. Estes compostos, quando liberados no meio ambiente, são contaminantes perigosos, principalmente das águas superficiais e subterrâneas. Como são, em geral, encontrados juntos, utiliza-se expressão BTEX como uma referência genérica a eles.

Quadro 1 - Casos de contaminação ambiental por substâncias químicas - 1992 a 2002

Local	Atividade	Substância Envolvida	Breve Relato
Bauru /SP	Fábrica de baterias automotivas	Chumbo	Contaminação de solo e ar na unidade de reciclagem de baterias usadas. Contaminação de leite, ovos e hortelã, produzidos em chácaras próximas.
Sto Antonio da Posse/SP	Aterro Industrial	Resíduos perigosos	Aterro de recepção de resíduos industriais fechado desde 1987. Densidade de depósito de resíduos perigosos de 6,8 ton/m <sup>2</sup> . Contaminação de solo e águas subterrâneas.
Belo Jardim/PE	Fábrica de baterias automotivas	Chumbo	Contaminação da Bacia do Rio Ipojuca com registro em trabalhadores no início dos anos 90. Lançamento de resíduos ácidos e sais de chumbo. Em janeiro de 2002 o Ministério Público Federal arquivou processo alegando satisfação com as melhorias realizadas.
Belford Roxo/RJ	Poliuretanos, vernizes, produtos veterinários e formulações de agrotóxicos	PCBs, chumbo e mercúrio	Denúncia em 2001 de contaminação do Rio Sapucaí por incineração de substâncias poluentes.
Cubatão/SP	Química do cloro e da soda.	Resíduos mercuriais	Parte da produção feita com células de mercúrio. Acúmulo de 3 mil ton. de resíduos mercuriais. Em 1990 a indústria foi reconhecida como fonte de mercúrio para o Rio Cubatão, com altos teores de mercúrio no sedimento a jusante. Transferência de parte dos resíduos para São José dos Campos (SP).
Mauá/SP	Fábrica de equipamentos automotivos	Compostos orgânicos voláteis	Depósito clandestino de resíduos tóxicos (clorobenzeno, tolueno, benzeno) em área de 160 mil m <sup>2</sup> . Em 1993 o terreno foi vendido e foi construído um condomínio residencial no local.
Guarujá/SP	Petroquímica	Tetra cloreto de carbono	Produção de poliestireno, látex, polióis, espuma de poliuretano e resinas epóxi. Terrenos contaminados com tetracloreto de carbono.
Betim e Formiga/MG	Produção de cal	Dioxinas e furanos	Cerca de 80 mil ton. de sucatas industriais utilizadas para alimentar fornos em Formiga (MG) contendo plásticos clorados (PVC). Resíduos provenientes de indústrias de Betim (MG). Em 1996 havia cerca de 70 ton. de cinzas de fornos de cal, despejados a céu aberto diretamente no solo.
Sapucaia do Sul/RS	Siderúrgica	PCBs e metais pesados	Processamento diário de cerca de 450 ton. de sucata para a produção de aço. Contaminantes (cádmio, zinco, chumbo e mercúrio) presentes em amostras de poeiras coletadas no entorno da fábrica.
Guaíba/RS	Celulose e papel	Cloro, dioxinas e furano	Contaminação com substâncias formadas no branqueamento da polpa de celulose. A empresa alega monitorar o lançamento no Rio Guaíba desde 1992. Em julho de 2001 foi firmado compromisso entre o governo do Estado, o órgão estadual de meio ambiente, a empresa e o Ministério Público Estadual, de eliminação do cloro no processo.
Paulínia/SP	Fabricação de agrotóxicos	Aldrin, Endrin e Dieldrin	Contaminação do lençol freático por corrente de vazamento devido a rachadura em piscina de contenção de resíduos.
Vila Carioca/SP	Armazenamento de combustíveis e agrotóxicos	Diversos	Contaminação de águas subterrâneas da região por benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno, chumbo e outros. Contaminação do solo com chumbo.
Santo André/SP	Fabricação de plástico PVC	Diversos.	Depósito a céu aberto com mais de 1 milhão de ton. de cal com dioxinas, além de 11 ton de percloroetileno e cerca de 50 ton de mercúrio nos diques de resíduos. Contaminação de águas subterrâneas e sedimentos do Rio Grande, que abastece a Represa Billings.
Jacarei /SP	Reciclagem de baterias	Chumbo	Armazenamento de 120 mil ton de escória com chumbo, a céu aberto. Contaminação de água, solo e hortaliças produzidas num raio de 400 m. Em março de 2002 foi autorizada a remoção para o aterro Ecosistema, em São José dos Campos. Cerca de 20 milhões para remoção da escória.
Caçapava/SP	Ligas de alumínio	Resíduos	Armazenamento irregular de resíduos da produção de alumínio.

Fonte: Greenpeace (2002)

A disponibilidade hídrica subterrânea e a produtividade de poços são, geralmente, os principais fatores determinantes na exploração dos aquíferos. Em função do crescimento descontrolado da perfuração de poços tubulares e das atividades antrópicas, que acabam contaminando os aquíferos, a questão da qualidade da água subterrânea vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento desse recurso hídrico no País.

Quando uma obra de captação das águas subterrâneas, poço escavado (cacimbão) ou tubular profundo (galeria, túnel), é construída sem atender as características técnicas mínimas necessárias de uso e proteção, poderá se transformar num foco de contaminação de solo-subsolo e água subterrânea. Considerando o crescente aumento nessas obras é cada vez mais visível a necessidade de uma abordagem das condições de uso e proteção quanto à quantidade e qualidade, por meio de monitoramento de análises e avaliações cada vez mais abrangentes e complexas.

Em 2007, a ANA já questionava que a vulnerabilidade e proteção dos aquíferos era um tema pouco explorado e que necessitava ser incorporado à gestão das águas subterrâneas e ao planejamento do uso e ocupação territoriais.

A contaminação das águas subterrâneas está relacionada ao comportamento posterior dos compostos orgânicos que migram para o lençol freático, o qual depende de sua densidade relativa à da água. Líquidos menos densos (“mais leves”) que a água formam uma massa que flutua sobre a parte superior do lençol freático. Esse é o caso, por exemplo, dos hidrocarbonetos que têm uma massa molar pequena ou média e que pertencem a esse grupo, o BTEX e outros derivados do petróleo. Em contrastes, todos os solventes policlorados são mais densos (“mais pesados”) que a água, e por isso tendem a descer até a parte mais profunda dos aquíferos (Baird 2002).

O autor também relata que as “bolhas” de líquido oleoginoso que os compostos orgânicos formam são geralmente encontradas em um aquífero tanto em uma posição diretamente abaixo de seu ponto de entrada inicial no solo ou em suas proximidades. Muito lentamente – em um processo que leva com frequência décadas ou séculos – esses compostos de baixa solubilidade dissolvem-se gradualmente na água que passa sobre a bolha, proporcionando, assim, um suprimento contínuo de contaminantes para as águas subterrâneas. Dessa maneira,

vão se desenvolvendo plumas de água poluída na direção do fluxo de água, contaminando, portanto, todo o volume do aquífero.

Paulatinamente a sociedade vem se tornando mais consciente das conseqüências do descarte descontrolado de resíduos orgânicos, inclusive os altos custos para remediar os problemas. Grandes empresas têm se tornado muito mais responsáveis com relação a essa prática. Infelizmente, as descargas coletivas de fontes menores, entre as quais se incluem as de municípios e pequenas empresas e granjas, não têm sido ainda controladas da mesma maneira. Além disso, o grande número de fossas sépticas é, em seu conjunto, uma das fontes principais de contaminação das águas subterrâneas (BAIRD, 2002).

Rebouças (1996) cita que quando uma contaminação química é detectada na água subterrânea, as ações corretivas são geralmente muito difíceis, em termos técnico-científicos e, sobretudo, econômicos.

Metais pesados são absolutamente não-degradáveis, de maneira que podem acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxicidade. Os locais de fixação final dos metais pesados são os solos e sedimentos. Os metais pesados, poluentes da água e contaminantes de nossos alimentos, são em sua maioria transportados de um lugar para outro por via aérea, seja como gases ou como espécies adsorvidas sobre ou absorvidas em material particulado em suspensão (BAIRD, 2002).

Para o estabelecimento de políticas e programas de prevenção e controle de poluição das águas subterrâneas, há diretrizes distintas: a primeira, aparentemente mais simples, consiste em impor diferentes níveis de restrição por meio dos chamados perímetros de proteção em torno de poços ou bateria de poços, caracterizando cada zona por um tempo de trânsito específico do poluente em relação a estas fontes de captação. Outra diretriz, mais ampla, flexível e universalmente aplicável para a proteção das águas subterrâneas, diz respeito à promoção do controle das atividades agrícolas, industriais e urbanas em face da vulnerabilidade do aquífero à poluição, considerando a importância local do recurso hídrico subterrâneo no fornecimento de água potável. Apesar das propostas para o controle das águas subterrâneas e a prevenção da poluição (proteção do recurso e proteção da fonte) serem complementares, a ênfase de um ou outro dependerá da situação de exploração do recurso e das condições hidrogeológicas imperantes (CETESB, 1997).

As áreas contaminadas têm implicações ambientais, econômicas, sociais, jurídicas e de saúde pública. Qualquer política ambiental deve, necessariamente, incluir a gestão das áreas contaminadas, sua identificação e remediação, de maneira a prevenir ou minimizar os riscos decorrentes (ROCCA, 2006).

A partir da segunda metade da década de 80 – como parte do tortuoso caminho de democratização da sociedade – os problemas e conflitos ligados à má administração e à poluição das águas passam a ser mais discutidos por entidades e organizações não governamentais. Os aspectos políticos, legais e institucionais ganham nova dimensão tanto na Constituição Federal (1988) quanto nas Constituições Estaduais (1989). Em vários estados são criados, por lei, sistemas de gerenciamento de recursos hídricos a partir de comitês de bacias hidrográficas. Esses comitês são foros democráticos constituídos por representantes dos órgãos do governo estadual, dos municípios e da sociedade civil (compreendendo segmentos de usuários e entidades não governamentais) para a gestão dos recursos hídricos.

Seguem abaixo as políticas ambientais que dizem respeito aos recursos hídricos, incluindo água subterrânea:

Proteção dos Recursos Hídricos no âmbito Federal: Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos; no âmbito Estadual: Lei 9.648, de 30 de novembro de 1994 e no âmbito municipal a lei complementar 029, de 14 de junho de 1996, que instituiu o Código Municipal do Meio Ambiente. A partir da aprovação dessa lei municipal, a Fundação Municipal do Meio Ambiente - FUNDEMA recebeu a delegação de cadastrar as informações pertinentes ao município, bem como analisar projetos de novos poços, controlar os serviços referentes à água subterrânea, fiscalizar, monitorar, disciplinar e outorgar o uso das águas subterrâneas, dentro dos preceitos das três legislações (BAGGIO, 1997).

Segundo Rocha (1997), no Brasil, o esqueleto institucional de administração dos recursos hídricos é marcado por disfunções e distorções históricas, como a:

- relativa atenção às águas superficiais e desatenção às águas subterrâneas, ignorando a unidade do ciclo hidrológico;
- segmentação utilitarista dos usos das águas, de acordo com interesses setoriais, dificultando a compatibilização dos usos múltiplos;
- profusão de órgãos públicos federais, estaduais e municipais, atuando de forma descoordenada.



Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2008), as ações relacionadas às águas subterrâneas em nível nacional foram impulsionadas a partir do fim de 1999, com o início do Projeto Aquífero Guarani (PAG). Desde então, foi criada em 2000 a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas no âmbito do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, e lançado o Programa Nacional de Águas Subterrâneas (PAS); bem como foram publicadas as Resoluções CNRH nº 15, de 11 de janeiro de 2001, a qual estabelece as diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas, e a Resolução CNRH nº 22, de 12 de julho de 2000, que dispõe sobre as diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Plano de Recursos Hídricos. A Resolução nº 396, do Ministério da Saúde, publicada em 03 de abril de 2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

A Secretaria de Recursos Hídricos é responsável pela Coordenação Nacional do Projeto Aquífero Guarani. O Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani tem sua importância no fato de ser um projeto com enfoque na gestão de águas subterrâneas transfronteiriças, compartilhado por 4 países (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai), com a participação dos 8 estados que apresentam o aquífero (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás), um relevante papel geopolítico na região do Mercosul.

Segundo a ANA (2007), a fim de facilitar o estudo das águas subterrâneas dividiu-se o Brasil em regiões homogêneas, formando 10 províncias hidrogeológicas. Os limites dessas províncias não coincidem necessariamente com os das bacias hidrográficas. As províncias são: 1) Escudo Setentrional; 2) Amazonas; 3) Escudo Central; 4) Parnaíba; 5) São Francisco; 6) Escudo Oriental; 7) Paraná; 8) Escudo Meridional; 9) Centro-Oeste e 10) Costeiral. O município de Joinville enquadra-se no Escudo Oriental.

Quando se pensa em qualidade da água para consumo humano, surge a necessidade de conhecer, estabelecer, estudar ou controlar o conjunto de características que fazem (ou não) com que ela seja considerada adequada ao consumo humano; conhecer essas características com o objetivo de saber quais são e porque representam a condição pretendida; estabelecê-las para evidenciar a opção por determinada qualidade; estudá-las, a fim de aperfeiçoar seu

conhecimento e, controlá-las, visando garantir sua adequação ao consumo humano (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

A água no seu estado de pureza total não existe; deve-se imaginá-la como uma substância que se manifesta sob a forma de numerosas dispersões aquosas, de composição muito variável, que lhe conferem, em conseqüência, características que nem sempre são aquelas que representam a condição desejada (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

Os requisitos de qualidade de uma água para monitoramento são estabelecidos em função de seus usos previstos. Assim, por exemplo, as águas destinadas ao abastecimento para consumo humano devem ser límpidas, incolores, insípidas e inodoras. A água não deve conter organismos patogênicos nem formas biológicas que possam causar danos à saúde humana ou que sejam objetáveis esteticamente; concentrações de elementos e substâncias químicas que possam ser fisiologicamente prejudiciais, esteticamente objetáveis ou economicamente danosas. A água não deve ser corrosiva, incrustante ou deixar depósitos nas estruturas pelas quais passa ou é detida: tubulações, tanques, aquecedores e encanamentos. Deve ser protegida adequadamente por meio natural ou por meio de processos de tratamento que assegurem consistência na qualidade. As características de qualidade, representativas dessas condições são inúmeras, tais como turbidez, cor, odor, sabor, concentração de ferro, manganês, cromo, chumbo etc. Portanto, a característica de qualidade representa numericamente ou atributivamente a condição de adequação ao uso (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

Os valores limites dos padrões de qualidade das águas de consumo em geral, bem como os valores de referência das águas subterrâneas variam de país para país (REBOUÇAS, 1996).

F. Neto e Ferreira (2007) fazem uma relação das passagens das portarias referentes às águas da Portaria nº 56/1977 à Portaria nº 36/1990, e mesmo à Portaria nº 518/2004, passando pela Portaria nº 1.469/2000, e ressaltam que foram relativamente poucas as alterações, em termos de número de substâncias inorgânicas que afetam a saúde e a aceitação para consumo. Entretanto, em relação às substâncias orgânicas e aos agrotóxicos, várias substâncias foram incorporadas à Portaria nº 36/1990 e à Portaria nº 518/2004, conforme mostra o gráfico a seguir.

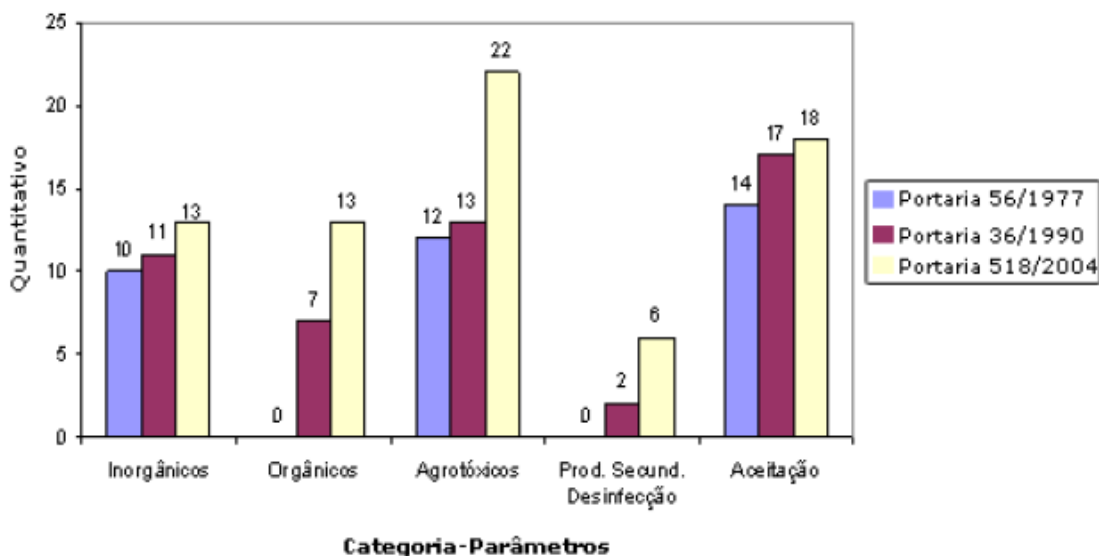


Gráfico 1 - Evolução do padrão de potabilidade brasileiro, em termos das substâncias que oferecem riscos à saúde e à aceitação humana  
 Fonte: F. Neto e Ferreira (2007)

Ainda tomando por base o Gráfico 1, verifica-se a inserção de um bom número de substâncias orgânicas, em função do lapso de tempo decorrido entre as versões da legislação nacional e a velocidade da indústria de orgânicos e agrotóxicos no lançamento de novos produtos. Assim é que de 1977 a 2000, várias substâncias e princípios ativos ganharam mercado no país embora ainda não fossem objeto de legislação. Por sua vez, o avanço do conhecimento científico permite melhor avaliar as evidências toxicológicas e epidemiológicas dos riscos à saúde associados às substâncias químicas, orientando, conseqüentemente, a atualização dos valores máximos permitidos - VMPs. Um exemplo claro é a inclusão na Portaria nº 36/1990 dos trihalometanos, um subproduto da cloração e a inserção, na Portaria nº 518/2004 de subprodutos de outros desinfetantes.

Por meio dos resultados de alguns estudos realizados no Brasil, pode-se perceber como está a realidade das águas do país.

Em Feira de Santana (BA) um estudo realizado por Silva e Araújo (2003), a partir de análises bacteriológicas e físico-químicas de amostras de água captada em poços nas duas áreas da zona urbana do município, apontaram contaminação importante da água do manancial subterrâneo. A água não atende aos padrões de potabilidade recomendado na legislação vigente. Foram encontrados coliformes totais em 90,8% das amostras, coliformes fecais em 65,8% e mais de 500 unidades formadoras de colônias de organismos heterotróficos/ml (UFC/ml) em 74,1% das

amostras analisadas. Os seguintes parâmetros físico-químicos analisados não atenderam ao recomendado legalmente: pH (correspondendo a 82,8% das amostras), turbidez (23,4%), cloreto (12,5%) e cor (7,5%). A concentração de nitrato estava acima do recomendado em 88,2% das amostras analisadas e a de amônia, em 32,7% das amostras. O elevado percentual de amostras fora dos padrões de potabilidade representa risco à saúde dos consumidores de água deste manancial subterrâneo.

Uma pesquisa realizada por Freitas *et al.* (2001) mostrou que a qualidade da água de poço e de rede, consumidas em duas micro-regiões dos municípios de Duque de Caxias e São Gonçalo (RJ) apresentaram várias não conformidades quando comparados à Portaria nº 36/1990: mais de 50% das amostras de água de poço nas duas áreas apresentaram contaminação por coliformes fecais; cerca de 31% das amostras de água de poço de Duque de Caxias apresentaram níveis de nitrato acima do valor máximo permitido; 100% das amostras de água de rede das duas regiões apresentaram concentrações de alumínio acima da norma; mesmo resultado em 100% das amostras de água de poço em São Gonçalo e 75% em Duque de Caxias. Essas não conformidades podem representar possíveis riscos à saúde dessas populações.

Amaral *et al.* (1994) avaliaram 104 amostras de água subterrânea de 8 poços rasos localizados na área urbana do Município de Jaboticabal (SP), com a finalidade de avaliar as condições higiênico-sanitárias e de verificar as correlações existentes entre o número de colifagos e o de bactérias indicadoras de poluição fecal. Os resultados obtidos evidenciaram a ocorrência de 96 (92,3%) amostras fora dos padrões bacteriológicos de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, mostrando serem precárias as condições higiênico-sanitárias das águas analisadas. Os achados evidenciaram a inexistência de correlação entre o número de colifagos e os números de bactérias indicadoras de poluição fecal.

Já no cerrado brasileiro, a pesquisa feita por Soares e Porto (2007) discutiu as externalidades negativas associadas ao uso intensivo de agrotóxicos nos municípios do cerrado brasileiro, área em franca expansão da atividade agrícola. Tais externalidades estão relacionadas principalmente aos danos ambientais e à saúde humana (de trabalhadores, famílias rurais e consumidores) cujos custos acabam sendo socializados. Foi possível encontrar fatores de risco da contaminação no solo e na água por agrotóxicos e fertilizantes, tais como área de lavoura

temporária, poluição no ar por queimadas e proliferação de pragas.

Costa e Castro (2005) levantaram que na região do Porto de Mucuripe em Fortaleza (CE) há contaminação por BTEX em nível elevado, que chega a comprometer a qualidade da água subterrânea.

No município de Joinville existem algumas pesquisas referentes às águas subterrâneas, entre elas podem ser citados os estudos realizados por Giesel e por Vaz, ambos de 2007 e ainda o estudo de Gonçalves (1993).

Giesel (2007) por meio de análises de água subterrânea de poços de monitoramento demonstrou a existência de passivos ambientais encontrando principalmente contaminações de ferro, manganês, fenol, óleos e graxas e sulfetos.

Já Vaz (2007) avaliou escolas municipais do bairro Vila Nova de Joinville, com fontes de abastecimento que iam desde poços, nascentes e até mesmo água captada diretamente de rios. Ele demonstrou que 100% das escolas possuíam algum parâmetro fora do estabelecido pela legislação vigente em no mínimo uma das coletas, 33% das escolas possuíam contaminação por *E. coli*, 50% apresentaram contaminação por coliformes totais, 17% das escolas estavam com pH abaixo do valor referencial e 86% apresentavam cloro residual livre abaixo do especificado.

Gonçalves relatou em 1993 que, de um modo geral, a qualidade da água subterrânea em Joinville era excelente, o pH variava entre 7,0 e 8,2; a turbidez entre 1,5 UNT e 1,6 UNT e a dureza entre 39 mg/L e 81 mg/L. Localmente já ocorriam níveis elevados de ferro. Nas regiões baixas, próximas a cursos de água que sofrem influência da maré, os poços no geral apresentavam água salobra.

Por meio de uma pesquisa, realizada no ano de 1995 por uma empresa particular contratada pela FUNDEMA, constatou-se que o município de Joinville continha uma rede de 68 postos de gasolina, os quais apresentavam 380 tanques de armazenamento. Destes, somente 4,6% apresentavam alguma proteção contra corrosão, por meio de revestimento por fibra de vidro. Ainda, 28% dos tanques apresentaram vazamentos de gasolina. Dos tanques que vazaram e foram substituídos nas ocasiões, 68% tinham menos de 10 anos de uso. Essa informação reforçou a premissa adotada para a pontuação do elemento condicionante de risco potencial de vazamentos em relação à idade dos tanques (FUNDEMA, 2007).

Em 2009, por meio de pesquisa realizada no *site* da Agência Nacional de Petróleo - ANP, no município de Joinville foi evidenciado o registro de 153 postos de

gasolina com possíveis fontes de contaminação.

### 1.3 Problemática na Saúde Humana das Águas Subterrâneas

Antigamente, o estudo das relações entre a saúde e o ambiente limitava-se a fatores essencialmente naturais como o clima, os ventos e a geologia local. A recente civilização transformou imensamente a composição química do ar, das águas e dos solos.

Em contraste com a relativa simplicidade de proteção da saúde humana contra aquelas doenças bem definidas, cujo único fator etiológico foi identificado, os problemas de saúde ambiental são de uma grande complexidade por dois motivos: as características dos fatores ambientais que agem em simultâneo e o comportamento do ser humano (DÉOUX e DÉOUX, 1996).

Esses autores relatam que muitos dos problemas ambientais são, desse modo, multifatoriais, o que torna a sua avaliação difícil. Já não acontece o mesmo quando se trata de efeitos difusos, diluídos no meio de outros. Por isso, para avaliar a importância dos parâmetros do ambiente diário sobre a saúde humana, é indispensável levar-se em conta o tempo.

Depois de uma perturbação devida a um estímulo ambiental, nem sempre o organismo recupera o estado inicial e, pouco a pouco, pela repetição das microagressões, instala-se um imperceptível desregramento, que só se manifestará após um período relativamente longo. Portanto, um tempo de estado latente aparente existe entre a exposição a um agente exterior e o diagnóstico da doença (DÉOUX e DÉOUX, 1996).

Os processos que afetam o solo e a água subterrânea ocorrem de forma invisível ou “escondida”. É difícil obter-se informação precisa sobre a fonte da contaminação em questão, não se conhece quando ocorreu o acidente, quanto tempo levou para atravessar o solo e atingir a água subterrânea ou que reações podem ter ocorrido antes do contaminante atingir a água que é extraída pelos poços. Por sua vez, não se detecta facilmente os efeitos da contaminação em termos de saúde pública, na medida em que a população afetada pode apresentar uma grande gama de seqüelas relacionadas à alimentação, aos hábitos de higiene e aos aspectos hereditários. A contaminação do binômio solo/água subterrânea torna-se

um problema crônico, uma vez que só se evidencia quando já afeta seriamente a saúde da população que foi exposta (REBOUÇAS, 1996).

Quando a poluição da água resulta em prejuízos à saúde do homem, diz-se que está contaminada. Assim, contaminação é um caso particular de poluição. Uma água está contaminada quando contém microrganismos patogênicos ou substâncias químicas ou radioativas, causadores de doenças e/ou morte ao homem (MOTA, 1997).

Além da sua utilização cotidiana, a água tem múltiplas funções, algumas essenciais, outras acessórias. A exposição do homem a uma água contaminada pode ocorrer por ingestão, mas também por outras vias de penetração, conforme mostra o Quadro 2.

Quadro 2 - Modos de contaminação pela água

<b>Exposição</b>	<b>Contaminação</b>
Ingestão	- Cadeia Alimentar <ul style="list-style-type: none"> <li>• Água</li> <li>• Alimentos (vegetais e animais)</li> <li>• Moluscos e peixes – depuradores de água e concentradores de resíduos.</li> </ul>
Contato cutâneo-mucoso	- Higiene - Lazer <ul style="list-style-type: none"> <li>• Piscinas</li> <li>• Banheiras</li> <li>• Banhos livres de água doce e de mar</li> </ul> - Termalismo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Águas</li> <li>• Lamas</li> </ul> - Lentes córneas
Inalação por criação de um aerossol	- Termalismo - Humidificação - Duchas - Torre de resfriamento

Fonte: Adaptado de Déoux e Déoux (1996)

Um foco relevante de contaminação das águas subterrâneas são os esgotos domésticos. O esgoto não coletado de forma adequada contamina os corpos d'água e o solo, criando um ambiente propício à propagação de doenças. Em decorrência da falta de saneamento básico, principalmente de esgoto doméstico, Passeto (2006) relata que 15 crianças entre 0 e 4 anos morrem por dia no Brasil, isso é, uma criança morre a cada 96 minutos em nosso país por falta de saneamento básico.

O perigo mais conhecido e mais freqüente é a poluição por bactérias, vírus e

parasitas. A presença desses organismos na água de consumo, manifestando-se por problemas sanitários agudos, é de identificação bastante rápida e fácil (DÉOUX e DÉOUX, 1996). As principais doenças relacionadas a essa contaminação são: diarreias, febre tifóide e paratifóide, poliomielite, hepatite do tipo A, giardíase, disenterias amebianas e bacterianas como a cólera, ascaridíase, ancilostomíase, teníase, cisticercose, esquistossomose, filariose, malária, dengue, infecções na pele e nos olhos, como o traucoma e o tifo relacionado com piolhos, escabiose entre outras (PASSETO, 2006).

Ainda Passeto (2006) descreve outras conseqüências oriundas da ausência de tratamento dos esgotos domésticos, industriais e agrícolas. Quando há presença de sólidos suspensos totais as conseqüências serão de problemas estéticos, depósitos de lodo, absorção de poluentes e proteção de patógenos; matéria orgânica biodegradável, caracterizada pela demanda bioquímica de oxigênio, há um consumo de oxigênio, mortalidade de peixes e condições sépticas; presença de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio, há um crescimento excessivo de algas, toxicidade aos peixes e pode causar doenças em recém-nascidos; há também a contaminação por compostos não-biodegradáveis como pesticidas, detergentes e outros, que podem levar à água toxicidade, espumas, redução da transferência de oxigênio, não biodegradabilidade e maus odores.

A coleta, o tratamento e a disposição ambientalmente adequada do esgoto sanitário são fundamentais para a melhoria do quadro de saúde da população de um município. Segundo Passeto (2006) para cada R\$ 1,00 investido no setor de saneamento economiza-se R\$ 4,00 na área de medicina curativa.

Os potenciais riscos em longo prazo de muitos micropoluentes não devem permitir esquecer os riscos reais em curto prazo, dominados pela contaminação microbiológica que pode acontecer em todas as fases do percurso da água (DÉOUX e DÉOUX, 1996). Todavia, existem diagnósticos e terapias eficazes contra os perigos infecciosos, enquanto para os riscos químicos e sobrecargas minerais naturais da água não são o caso, o que esses autores relatam ser preocupantes pela dificuldade de diagnóstico e de prognóstico.

Continuam os autores, assinalando que em relação ao aspecto bacteriano, os organismos indicadores da poluição são os coliformes termotolerantes. São organismos presentes nas fezes humanas e de animais e que geralmente não tem potencial patogênico, mas que permitem verificar se a água tem ou não poluição



fecal. Um grama de fezes contém cem milhões de coliformes termotolerantes. A revelação dessa poluição, por meio da presença dessas bactérias, torna provável a existência de muitos outros elementos, mais perigosos no que diz respeito ao seu potencial patogênico, e que estariam na origem de variadas doenças desde a gastroenterite, até as salmoneloses, febre tifóide e cólera.

Já os produtos químicos sintéticos, utilizados como material de limpeza doméstica, podem conter solventes organo-halogenados de alto risco e alta persistência nas águas subterrâneas. Entre esses produtos estão os desengraxantes, os removedores e detergentes, que podem causar câncer, mesmo diluídos na água em baixas concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) (DÉOUX e DÉOUX, 1996).

Segundo Baird (2002) uma vez que a informação toxicológica e/ou epidemiológica concernente a um determinado produto químico esteja disponível, pode ser efetuada uma análise de avaliação de risco. Essa análise tenta responder quantitativamente às seguintes questões: **Quais são os tipos prováveis de toxicidade esperados para a população exposta ao produto?** e **Qual é a probabilidade de ocorrência de cada efeito na população?** Quando necessário, a avaliação do risco também tenta estabelecer as exposições permissíveis à substância em questão. A avaliação do risco compreende três componentes principais: identificação da fonte, avaliação do nível de exposição e avaliação da dose que afeta a saúde das pessoas.

A toxicologia é o estudo dos efeitos nocivos de substâncias estranhas sobre os seres vivos. As substâncias de interesse incluem tanto os produtos químico-sintéticos quanto aqueles que existem naturalmente no ambiente. Na toxicologia, os efeitos são determinados em geral pela injeção ou pela administração oral da substância de interesse em animais, e observando-se como a saúde desses animais é afetada. Em contraste, na epidemiologia, os cientistas determinam passivamente na história clínica de um grupo selecionado de seres humanos e tentam relacionar as diferenças nos índices de doenças e outros efeitos com diferenças nas substâncias presentes no ambiente às quais o grupo foi exposto (BAIRD, 2002).

Esse autor ainda cita que os dados toxicológicos relacionados à nocividade de uma substância para um organismo, como um pesticida organoclorado ou um metal pesado, são coletados mais facilmente determinando sua toxicidade aguda, que é o início rápido de sintomas – incluindo a morte no limite extremo – que seguem à absorção de uma dose da substância. Embora a toxicidade aguda de uma

substância seja de interesse quando o homem é exposto acidentalmente a produtos químicos puros, a toxicologia ambiental está, normalmente, mais preocupada com as exposições crônicas (em longo prazo) a doses individuais relativamente baixas de um produto químico tóxico presente no ar, na água que bebemos e nos alimentos que comemos. De modo geral, qualquer efeito – por exemplo, câncer ou defeitos congênitos – decorrente dessas exposições contínuas são, também, de longa duração, e conseqüentemente, classificados como crônicos.

Segundo Baird (2002) a toxicidade dos metais pesados, do ponto de vista bioquímico, o mecanismo de sua ação tóxica deriva da forte afinidade dos cátions pelo enxofre. Assim, os grupos sulfidrílica – SH, que ocorrem comumente nas enzimas que controlam a velocidade de reações metabólicas de importância crítica no corpo humano, ligam-se rapidamente aos cátions de metais pesados ingeridos ou a moléculas contendo tais metais. Pelo fato de a ligação resultante metal-enxofre afetar a enzima como um todo, ela não pode atuar com normalidade, e, em conseqüência, a saúde humana vê-se afetada de maneira desfavorável, às vezes fatal. A toxicidade de uma dada concentração de um metal pesado presente em um curso de água natural depende do pH<sup>3</sup> e da quantidade de carbono dissolvido e em suspensão, já que interações como complexação e adsorção podem remover de forma satisfatória alguns íons metálicos e eliminar sua atividade biológica potencial.

#### 1.4 Avaliação da Qualidade da Água

A água é o produto de consumo mais vigiado. As disposições regulamentares procuram evitar que a água seja o veículo de substâncias ou de organismos indesejáveis. Uma água de boa qualidade não deve ter matérias que modifiquem a cor, o cheiro ou o sabor, não deve conter germes e substâncias tóxicas, não deve ser corrosiva ou agressiva. A água que apresente essas qualidades é considerada potável, apesar de não ser excelente, pode ser ingerida.

Avaliar a qualidade da água consumida não é fácil para o consumidor que só pode, graças aos seus sentidos, apreciar a sua cor, o seu cheiro e o seu sabor. Por

---

<sup>3</sup> **pH** refere-se a uma medida que indica se uma solução líquida é ácida (pH < 7), neutra (pH = 7), ou básica/alcalina (pH > 7). Uma solução neutra só tem o valor de pH = 7 a 25° C, o que implica variações do valor medido conforme a temperatura.

isso, a maioria das queixas dos consumidores é relativa a essas características.

A coloração da água é devida, quer à presença de substâncias coloridas, quer à difusão de luz por partículas em suspensão. A sua origem pode ser mineral, vegetal ou orgânica. Argila, ferro, manganês podem corar a água. O ferro avermelha a água e o manganês escurece-a. Embora uma cor desagradável da água possa ser um indicador de poluição, uma água incolor não está acima de qualquer suspeita. O cheiro e o sabor são os outros dois parâmetros organolépticos, os quais sua acuidade é aumentada com a temperatura do líquido (DÉOUX e DÉOUX, 1996).

Esses autores salientam que as papilas gustativas da língua só permitem identificar quatro sabores fundamentais: salgado, doce, amargo, ácido. Detectam a presença de minerais da água se as extremidades olfativas das fossas nasais e das cavidades sinuais identificarem os constituintes orgânicos. Para que a água não tenha um sabor salgado, a concentração de sal deve ser próxima da saliva, ou seja, cerca de 300 mg/L. O manganês dá um sabor muito amargo. Cheiros de terra podem ser naturais, enquanto que cheiros de peixe, de mofo, de erva, de pepino podem ser sinal de proliferação de microorganismos.

São, portanto, indispensáveis métodos de laboratório muitos elaborados para garantir a potabilidade da água. As substâncias potencialmente perigosas são cada vez mais numerosas e a vigilância de muitas moléculas químicas constantemente postas em circulação é materialmente impossível (DÉOUX e DÉOUX, 1996).

A partir de um estudo realizado em 1970 pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos, a CETESB adaptou e desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas - IQA, que incorpora nove parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal sua utilização para abastecimento público.

A criação do IQA baseou-se numa pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade de águas, que indicaram os parâmetros a serem avaliados, o peso relativo e a condição com que se apresentam cada parâmetro, segundo uma escala de valores *rating*. Dos 35 parâmetros indicadores de qualidade de água inicialmente propostos, somente nove foram selecionados, são eles: Coliformes Termotolerantes, pH, DBO, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio Dissolvido, os quais serão analisados nesta pesquisa.

Os parâmetros de qualidade, que fazem parte do cálculo do IQA refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de

esgotos domésticos.

#### 1.4.1 Fatores que interferem na qualidade da água subterrânea

As águas subterrâneas apresentam características de qualidade muito variadas, que lhes são conferidas pelos ambientes de origem, por onde circulam, percolam ou onde são armazenadas. Considerando a importância crescente da influência dos fatores antrópicos na qualidade das águas – formas de uso e ocupação do meio físico e das atividades sócio-econômicas -, torna-se necessário, com frequência crescente, distinguir as suas características naturais daquelas engendradas pela ação do homem (REBOUÇAS, 1996).

A caracterização mais aproximada da idéia de risco de poluição das águas subterrâneas consiste na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com a carga poluidora aplicada no solo ou em superfície. A carga poluidora pode ser controlada ou modificada, mas o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural, que é uma propriedade intrínseca do aquífero, segundo Reboúças (1996).

De acordo com a CETESB (1997) a vulnerabilidade<sup>4</sup> de um aquífero significa sua maior ou menor carga poluidora. É um conceito inverso ao de capacidade de assimilação de um corpo receptor de água, com a diferença de o aquífero possuir uma cobertura não saturada que proporciona uma proteção adicional.

Quatro características semi-independentes da carga poluidora precisam ser estabelecidas para cada atividade, de acordo com Foster *et al.* (2002):

- A classe dos poluentes envolvida, definida quanto a sua tendência à degradação (como resultado de atividade bacteriológica ou reação química) e à tendência ao retardamento devido a processos de troca de cátions, sorção ou outros;
- A intensidade do evento de poluição, em termos da concentração relativa de cada poluente em relação aos valores recomendados pela Organização

---

<sup>4</sup> A vulnerabilidade de um aquífero é um conjunto de características que determina o quanto ele poderá ser afetado pela carga do contaminante. São considerados aspectos fundamentais da vulnerabilidade: o tipo de aquífero (livre a confinado), a profundidade do nível d'água e as características dos estratos acima da camada de interesse, em termos de grau de consolidação e litologia (BRAGA, 2008).

Mundial da Saúde - OMS<sup>5</sup> para a potabilidade da água e da extensão da área afetada;

- O modo de disposição no solo ou subsolo, analisado quanto à carga hidráulica associada e à profundidade de descarga do efluente, a lixiviação de resíduos sólidos ou produtos aplicados no solo;
- A duração de aplicação da carga poluidora, incluindo o período em que a carga é aplicada e a probabilidade de que atinja o subsolo.

Mas na prática, dado o estágio atual de conhecimento técnico, é difícil encontrar todas essas características. Face a essa situação, uma alternativa viável é focar a questão por grupos de atividades geradoras de poluição e, a partir daí, listar as atividades predominantes na área, de acordo com a Tabela 1:

---

<sup>5</sup> O órgão responsável por estabelecer os padrões mínimos de potabilidade da água é a Organização Mundial de Saúde (OMS). Baseados nesses padrões, os países determinam as suas normas de tratamento. Normalmente, essas normas são mais rígidas que os padrões internacionais da OMS e buscam adequar as formas de tratamento à qualidade das águas dos mananciais. No Brasil, o responsável pelo controle e pela vigilância da qualidade da água para consumo humano e o seu Padrão de Potabilidade é o Ministério da Saúde, através da Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Segundo ela, o Padrão de Potabilidade é o conjunto de valores máximos permissíveis das características de qualidade da água destinada ao consumo humano (FERNANDES *et al.*, s/d).

Tabela 1 - Sumário das principais atividades potencialmente geradoras de carga poluidora

Atividade	Distribuição	Principal Poluente	Ausência de Camada de solo
<b>Urbana</b>			
Saneamento <i>in situ</i>	u/r P-D	n f o	*
Vazamentos de esgotos (a)	u P-L	o f n	*
Lagoas de oxidação (a)	u/r P	o f n	*
Aplicação de águas residuais em superfície (a)	u/r P-D	n s o f	-
Rios e canais de recreação (a)	u/L P-L	n o f	*
Lixiviado de lixões/aterros sanitários	u/r P	o s m	*
Tanques de combustível	u/r P-D	o	*
Drenos de rodovias	u/r P-D	s o	*
<b>Industrial</b>			
Vazamentos de tanques/ tubos (b)	u P-D	o m	*
Derramamento acidental	u P-D	o m	-
Lagoas de efluentes	u P	o m s	*
Lançamentos de efluentes em superfície	u P-D	o m s	-
Canais e rios receptores	u P-L	o m s	*
Lixiviado de resíduos sólidos	u/r P	o m s	*
Drenos de pátios	u/r P	o m s	*
Material em suspensão de gases	u/r D	s o	-
<b>Agrícola (c)</b>			
A) Área de cultivo			
- com agroquímicos	r D	n o	-
- com irrigação	r D	n o s	-
- com lodos/resíduos	r D	n o s	-
- com irrigação de águas residuais	r D	n o s f	-
B) Beneficiamento/criação de gado e animais			
- lagoas de efluentes sem revestimentos	r P	f o n	*
- lançamento em superfície	r P-D	n s o f	-
- canais e rios receptores de efluentes	r P-L	o n f	*
<b>Extração Mineral</b>			
Desmonte hidráulico	r/u P-D	s m	*
Descarga de água de drenagem	r/u P-D	m s	*
Lagoa de decantação	r/u P	m s	*
Lixiviado de resíduos sólidos	r/u P	s m	*

Legenda: (a) pode incluir componentes industriais; (b) pode também ocorrer em áreas não industriais; (c) intensificação apresenta aumento no risco de contaminação.

u/L = Urbano/Rural; P/L/D = Pontual/Linear/Difuso.

n = nutrientes; f = patógenos fecais; o = compostos orgânicos sintéticos e/ou carga poluidora; s = salinidade; m = metais pesados.

\* = ausente.

Fonte: Foster e Hirata (1988 *apud* CETESB, 1997)

É fundamental a divisão entre poluição por fontes pontuais e difusas. Da mesma forma, é importante uma divisão entre as atividades em que a geração de carga poluidora é intrínseca ao processo e, daquelas em que o componente é incidental ou acidental, especialmente considerando sua implicação para prevenir e controlar a poluição (CETESB, 1997).

Ainda de acordo com a CETESB (1997), a caracterização inadequada da carga poluidora dificulta a identificação de áreas que deverão requerer uma

investigação detalhada ou uma predição da evolução da qualidade das águas subterrâneas contaminadas.

Três variáveis regionais caracterizam a gênese local das águas: as precipitações que formam um recurso para a vegetação natural e culturas pluviais, os fluxos de água subterrânea e a recarga dos teores de umidade do solo. Os fluxos subterrâneos nos aquíferos, livres ou confinados, percorrem trajetórias mais ou menos longas, dirigindo-se dos setores de potenciais hidráulicos mais elevados para aqueles, comparativamente, mais baixos. Nas condições específicas de aquífero livre, e isso significa que os fluxos se realizam dos setores de colinas para os vales (REBOUÇAS, 1996).

Um programa de avaliação e administração global do recurso hídrico subterrâneo, de acordo com a CETESB (1997) deve iniciar pelo reconhecimento dos aquíferos mediante cadastro de poços em operação e abandonados, por mapas hidrogeológicos regionais e locais, pela definição do regime de fluxo regional e avaliação preliminar do recurso hídrico subterrâneo. De posse desses dados, poderão ser estabelecidas etapas que contemplem aspectos de qualidade natural do recurso (hidroquímica) e mudanças causadas pela atividade antrópica (poluição).

Já para o estabelecimento de políticas e programas de prevenção e controle da poluição, deve-se considerar duas estratégias distintas: a primeira consiste em impor diferentes níveis de restrição por meio dos chamados perímetros de proteção em torno de poços ou bateria de poços, caracterizando cada zona por um tempo de trânsito específico do poluente em relação a estas fontes de captação. Essa política é mais conveniente para aquíferos mais homogêneos, explorados por um número relativamente pequeno e fixo de poços de alto rendimento para o abastecimento municipal. A segunda estratégia mais ampla, flexível e universalmente aplicável trata-se de promover o controle das atividades agrícolas, industriais e urbanas em face da vulnerabilidade do aquífero à poluição, considerando a importância local do recurso hídrico subterrâneo no fornecimento de água potável. A questão crucial é saber se devem ser permitidas a utilização de produtos químicos industriais altamente tóxicos e persistentes e atividades agrícolas que dependem da aplicação de grandes quantidades de fertilizantes e praguicidas em áreas de alta vulnerabilidade de poluição dos aquíferos (CETESB, 1997).

A deterioração da qualidade da água subterrânea pode ser provocada de maneira direta ou indireta, por atividades humanas ou por processos naturais, sendo mais freqüente a ação combinada de ambos os fatores (ANA, 2007).

Ainda segundo dados da ANA (2007) as causas fundamentais da poluição das águas subterrâneas ocasionada pela atividade humana são:

- Poluição urbana e doméstica: provocada pela descarga de efluentes domésticos não tratados na rede hidrográfica, fossas sépticas e lixeiras. Tal carga inclui nutriente (nitrogênio e enxofre) e sais (cloreto), bactérias, vírus e compostos orgânicos sintéticos. Esse tipo de poluição, ao atingir o aquífero, origina um aumento da mineralização, elevação da temperatura, aparecimento de cor, sabor e odor desagradáveis.
- Poluição agrícola: os contaminantes potencialmente mais significativos nesse campo são os fertilizantes, pesticidas e, indiretamente, as práticas de irrigação. A reciclagem e reutilização da água subterrânea para irrigação provocam um aumento progressivo da concentração de sais que, em longo prazo, inutilizará para esse fim. Algumas práticas de manejo de terra podem causar uma séria poluição difusa das águas subterrâneas, com altas taxas de lixiviação de nitratos e de outros íons móveis e persistentes. A taxa de lixiviação é normalmente estimada em termos de proporção de perda do peso aplicado.
- Poluição industrial: dadas as altas concentrações de produtos químicos que manuseiam e algumas práticas de disposição de efluentes e produtos que empregam, são, seguramente, as que apresentam mais riscos ambientais para as águas subterrâneas. É possível estimar o volume do efluente a partir da quantidade de água utilizada, mas é difícil estabelecer a fração infiltrada no subsolo. Resíduos sólidos, depositados em lixões ou dispostos em aterros sanitários, podem ter seus volumes de lixiviados estimados com certa segurança, em muitos casos, porém, não há informação confiável sobre a sua composição. Em todos eles, torna-se necessário identificar cada fonte e analisá-las individualmente. Dentre as indústrias poluentes destacam-se: as alimentares, as metalúrgicas, as petroquímicas, as nucleares, as farmacêuticas, as eletroquímicas e as de fabricação de pesticidas e inseticidas.



Deve ser enfatizado que não são necessariamente as indústrias maiores e mais sofisticadas que apresentam os mais altos riscos de contaminação das águas subterrâneas. As indústrias menores possuem uma maior distribuição geográfica e são mais numerosas. Normalmente manejam consideráveis quantidades de produtos tóxicos e adotam práticas não muito recomendadas de disposição de resíduos e efluentes e de tratamento e depósito de matérias-primas (ANA, 2007).

Dados da ANA (2007) ainda evidenciam que indústrias com sistemas de tratamento de efluentes e de resíduos sólidos não estão isentas de problemas de poluição das águas subterrâneas, já que o armazenamento ou o transporte de substâncias perigosas, em casos de acidentes, podem gerar cargas poluidoras importantes.

A CETESB (1997) realizou um estudo no Estado de São Paulo, o qual constatou que as atividades que proporcionalmente apresentaram índices mais elevados de risco de contaminação estavam associadas à indústria de couro (49 atividades analisadas com 34 de índice elevado), seguida da química (71/14) e metalurgia (95/35). Da mesma forma, as menos preocupantes foram as indústrias de açúcar e álcool (192/39) e de alimentos (77/14).

Outro fator que também interfere na qualidade da água subterrânea é a intrusão salina, um fenômeno que ocorre em regiões costeiras onde os aquíferos estão em contacto com a água do mar. Enquanto a água doce se escoar para o mar, a água salgada, mais densa, tende a penetrar no aquífero, formando uma cunha sob a água doce. Esse fenômeno pode acentuar-se e ser acelerado, com conseqüências graves, quando, nas proximidades da linha de costa, a extração de grandes volumes de água doce subterrânea provoca o avanço da água salgada no interior do aquífero e a conseqüente salinização da água dos poços ou dos furos que nele captem (CETESB,1997).

Na atividade agrícola, fontes dispersas de poluição de aquíferos apresentam dificuldades para a caracterização, pois associam grandes áreas, exigindo numerosos poços de monitoramento, e poluentes com baixas concentrações, que necessitam de métodos de amostragem sofisticados e caras técnicas analíticas. O estudo da CETESB (1997), com relação à análise das atividades agrícolas, mostrou que dos 563 municípios estudados para pesticidas totais, 69 (12,3%) apresentaram elevado risco de geração de carga poluidora, contra 154 (27,3%) moderado e 340 (60,4%) reduzido, associado a culturas anuais de algodão e hortaliças. Herbicidas e

fungicidas, também estudados, mostraram perfis muito próximos de perigo potencial. Para os nitratos, dos 563 municípios analisados, 34 (6,3%) apresentaram índices elevados, 158 (28,1%) moderados e 371 (65,9%) reduzidos, associados a culturas de cana-de-açúcar, citrus e anuais.

O risco de contaminação das águas subterrâneas, associada à poluição urbano-residencial é avaliado por meio do saneamento sem rede de esgoto, como as fossas negras e sépticas. Nessas áreas considera-se a existência de pequenas indústrias ou postos de serviço (oficinas mecânicas, postos de gasolina etc.) que potencialmente podem gerar cargas poluentes consideráveis. O estudo realizado pela CETESB (1997) no Estado de São Paulo constatou em termos de classificação de carga poluidora, 74% dos municípios do Estado possuíam, em 1997, classificação reduzida potencial de geração de carga poluidora, 10% elevada e 9% moderada. A Baixada Santista mostrou uma situação preocupante, devido à elevada geração de carga poluidora causada por uma população de cerca de 1,2 milhões de habitantes, dos quais 72% não têm um sistema de saneamento básico com rede de esgoto.

Passeto (2006) ressalta que a questão de saneamento básico do Brasil é preocupante, relatando que, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, cerca de 8,6 milhões (17,5%) dos 49,1 milhões de domicílios existentes no Brasil no ano de 2003 não eram atendidos por rede geral de abastecimento de água; 25,6 milhões (52% do total) de domicílios não tinham acesso a sistemas de coleta de esgoto sanitário; na zona urbana, 8% dos domicílios não dispunham de água tratada e 44,7% não eram atendidos por redes coletoras de esgoto sanitário, concluindo-se que cerca de 90,5 milhões de brasileiros vivem em domicílios desprovidos de sistemas de coleta do esgoto sanitário.

As normas de Uso e Ocupação do Solo no município de Joinville, segundo o Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville - IPPUJ (2008) foram instituídas pela Lei Complementar n.º 27 de 27 de março de 1996, Lei de Uso e Ocupação do Solo Consolidada em outubro/2007. Ela dispõe que o uso e a ocupação do solo urbano, far-se-ão com base no zoneamento territorial, estabelecido segundo os usos predominantes a que se destinam e considerando a capacidade de infra-estrutura instalada e os condicionantes ambientais e urbanísticos existentes.

Para os efeitos dessa Lei Complementar, fica o território do Município de Joinville dividido em:

I - Área Rural - Área não ocupada ou não prevista para ocupação por funções urbanas, sendo destinadas às atividades agrosilvopastoris que dependem de localização específica e está subdividida em:

a) Área Rural de Conservação e Preservação (ARCP), que se subdivide em: I - Área de Proteção Ambiental da Serra do Mar (APSM); II - Área de Preservação Permanente dos Mangues (APPM).

b) Área Rural de Utilização Controlada (ARUC).

II - Área Urbana - Área prevista para ocupação por funções urbanas, sendo destinadas às atividades residenciais, industriais e comerciais e está subdividida em:

a) Área Urbana de Ocupação Não Prioritária (AUNP) e b) Área Urbana de Ocupação Prioritária (AUP).

A Área Urbana de Ocupação Prioritária (AUP) caracteriza-se pela oferta de infra-estrutura básica, maior densidade de ocupação e existência de condições físico-naturais que favoreçam a urbanização, tendo como objetivo o desenvolvimento da malha urbana. Subdivide-se em Zonas Urbanas e Setores Especiais conforme a seguinte classificação: I - Zona Residencial (ZR), II - Zona Central (ZC), III - Zona Industrial (ZI), IV - Zona Corredores Diversificados (ZCD), V - Zona de Proteção de Faixas Rodoviárias (ZPR), VI - Zona Aeroportuária (ZA) e VII - Setores Especiais (SE).

Zona Residencial (ZR) é a destinada à função residencial, unifamiliar e/ou multifamiliar, facultados outros usos complementares; Zona Central (ZC) é a que se destina, preferencialmente, às funções da administração pública, do comércio e serviços de âmbito geral; Zona Industrial (ZI) é a que se destina à localização de atividades industriais e complementares; As Zonas Corredor Diversificado (ZCD), são as áreas onde se concentram os usos residenciais, comerciais e de serviços, caracterizando-se como expansão da Zona Central, como centros comerciais à escala de bairro e como eixos comerciais ao longo de vias públicas; Zona de Proteção das Faixas Rodoviárias (ZPR) é a que se destina à proteção da paisagem, contenção da intensiva ocupação de caráter residencial e à localização preferencial de usos compatíveis com as atividades rodoviárias, de forma a atenuar seu impacto

sobre a malha urbana; Zona Aeroportuária (ZA) é a que se destina a implantação de atividades de apoio ao sistema aeroportuário de Joinville.

#### 1.4.2 Indicadores de qualidade de água

A água contém, geralmente, diversos componentes, os quais provêm do próprio ambiente natural ou foram introduzidos a partir de atividades humanas.

Para caracterizar uma água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso (MOTA, 1997).

Podem ser citados alguns parâmetros considerados como indicadores de qualidade de água:

- **Agentes tensoativos (surfactantes) ou Espumantes:** o tensoativo é um composto químico sintético orgânico com alta afinidade residual numa extremidade da sua molécula e baixa afinidade residual na outra. Sua vigorosa superfície de atividade justifica o seu uso como o principal ingrediente nos modernos detergentes domiciliares. Os tensoativos podem ser classificados em iônicos e não iônicos. Por sua vez, os iônicos podem ser aniônicos (-) ou catiônicos (+). A maior objeção às propriedades dos tensoativos é a sua capacidade de formar espumas e, no caso do de cadeia ramificada, de não ser biodegradável, podendo produzir enorme massa de espumas disformes, nos cursos de água e na saída das torneiras dos consumidores; também dispersam substâncias normalmente insolúveis ou absorvidas interferindo, desta maneira, com sua remoção pela coagulação, sedimentação ou filtração. A composição do meio ambiente com tensoativos é devido a lançamentos dos detergentes oriundos da lavagem dos utensílios domésticos e de despejos industriais (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

- **Alcalinidade:** a alcalinidade é causada por sais alcalinos, principalmente de sódio e cálcio e mede a capacidade da água em neutralizar os ácidos. As diversas espécies de alcalinidade dependem do valor do pH, composição mineral, temperatura e força iônica. Em concentrações moderadas na água de consumo humano, a alcalinidade não tem nenhum significado sanitário. Contudo, em níveis

elevados, pode trazer sabor desagradável (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

- **Algas:** as algas desempenham um importante papel no ambiente aquático, sendo responsáveis pela produção de grande parte do oxigênio dissolvido do meio; em grandes quantidades, como resultado do excesso de nutrientes (eutrofização), trazem alguns inconvenientes: sabor e odor, toxidez, turbidez e cor, formação de massas de matéria orgânica que, ao serem decompostas, provocam a redução do oxigênio dissolvido, corrosão, interferência nos processos de tratamento de água e aspecto estético desagradável (MOTA, 1997).

- **Arsênio:** a forma química de arsênio consiste de compostos orgânicos e inorgânicos trivalentes e pentavalentes. Sua presença natural se dá principalmente nas águas subterrâneas e em algumas águas superficiais. São as águas moles ricas em bicarbonato de sódio (muito alcalinas) que representam maior concentração de arsênio. Contudo, a toxidez e difusão do seu uso como inseticida, rodenticida, fungicida, herbicida, na preservação da madeira e em resíduos industriais de mineração, tornam necessário fixar o limite da sua concentração na água de consumo humano. O arsênio tem estado associado à ocorrência de câncer, mas evidências substanciais a partir de estudos e experiências em homens e animais apóiam a posição que níveis de arsênio normalmente encontrado no ambiente não causam tumores (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

- **Bário:** os sais de bário são utilizados industrialmente na elaboração de cores, fogos de artifício, fabricação de vidro, inseticidas e para combater animais e insetos daninhos. A entrada do bário no corpo humano é feita principalmente através do ar e da água, pois nenhum alimento contém bário em quantidades apreciáveis. A ingestão de bário pode causar sérios efeitos tóxicos sobre o coração, vasos sanguíneos e nervos. O bário, em doses pequenas ou moderadas, produz o aumento transitório da pressão sanguínea por vasoconstrição (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

- **Cádmio:** o cádmio é obtido da refinação de complexos de zinco e outros metais, pois não existe nenhum mineral específico de cádmio explorável economicamente. Talvez devido à sua instabilidade nos compostos orgânicos, somente é encontrado na natureza na sua forma inorgânica. Industrialmente é utilizado em pinturas, galvanoplastia, baterias alcalinas, plásticos, cerâmica, fotografia, reatores nucleares e nos fertilizantes. O cádmio apresenta alto poder tóxico e nenhuma qualidade conhecida que o torne benéfico ou essencial aos

processos vitais da natureza. Exerce efeito cumulativo e é tóxico à concentração relativamente baixa para numerosas espécies da vida e talvez para todas. Todavia, sua toxidez pode ser inibida pela presença de outros elementos, tais como ferro, cálcio, zinco e selênio, por meio de mecanismo ainda não totalmente esclarecido (BATALHA e PARLATORRE, 1998). Segundo Déoux e Déoux (1996) o cádmio é facilmente absorvido por via digestiva e pulmonar. Depois de sua passagem para o sangue, é armazenado no fígado e nos rins. Sua semivida biológica é longa, ultrapassando os 10 anos. A acumulação no rim perturba as funções renais e determina o aparecimento de hipertensão. Os diabéticos podem ser mais sensíveis ao efeito nefrotóxico do cádmio. Nenhum tratamento de quelação é eficaz para reduzir, no homem, a concentração desse elemento.

- **Chumbo:** a presença do chumbo no corpo humano pode ser prejudicial para a saúde, ou mesmo letal, mesmo quando as exposições são breves. Nos países tecnologicamente mais desenvolvidos, o amplo uso do chumbo multiplica os riscos a que está submetida à população. O envenenamento pode resultar na acumulação do chumbo no corpo em quantidades suficientes e por qualquer uma das fontes mais comuns: alimentos, ar e água. Outra ingestão de chumbo é devida ao hábito de fumar. A toxidez aguda do chumbo é caracterizada por queimadura na boca, sede intensa, inflamação do trato gastrointestinal ocasionando diarréias e vômitos. A toxidez crônica produz anorexia (inapetência), náusea, vômito, dor abdominal diversa, paralisia, confusão mental, distúrbios visuais, anemia e convulsões (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

- **Coliformes termotolerantes:** As bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal. O grupo coliforme é formado por um número de bactérias que inclui os gêneros *Klebsiella*, *Escherichia*, *Serratia*, *Erwenia* e *Enterobactéria*. O uso das bactérias coliformes termotolerantes para indicar poluição sanitária mostra-se mais significativo que o uso da bactéria coliforme total, porque as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente. Também podem ser encontradas em solo, plantas, efluentes contendo matéria orgânica. A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera (MACEDO, 2002).

Déoux e Déoux (1996) relatam que a revelação dessas bactérias, torna provável a existência de muitos outros elementos, mais perigosos no que diz respeito ao seu potencial patógeno, e que estariam na origem de doenças desde a gastroenterite benigna, até as salmoneloses, lamblíases, febre tifóide e cólera.

- **Cor:** na água, a cor pode ser de origem mineral ou vegetal, causada por substâncias metálicas como o ferro ou manganês, matérias húmicas, taninos, algas, plantas aquáticas e protozoários, ou por resíduos orgânicos ou inorgânicos de indústrias, tais como: mineração, refinarias, explosivos, polpa e papel, químicas e outras. A cor, em sistemas públicos de abastecimento de água, é estatisticamente indesejável para o consumidor e economicamente prejudicial para algumas indústrias (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>):** A DBO<sub>5,20</sub> de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO<sub>5,20</sub> é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias em uma temperatura de incubação de 20°C é freqüentemente usado e referido como DBO<sub>5,20</sub> (MACEDO, 2002).

Esse autor ainda relata que os maiores aumentos em termos de DBO<sub>5,20</sub>, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO<sub>5,20</sub> pode indicar um incremento da microflora presente e produzir sabores e odores desagradáveis. No campo do tratamento de esgotos, a DBO<sub>5,20</sub> é um parâmetro importante no controle das eficiências das estações, tanto de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios, bem como físico-químicos (embora de fato ocorra demanda de oxigênio apenas nos processos aeróbios, a demanda "potencial" pode ser medida à entrada e à saída de qualquer tipo de tratamento).

Na legislação do Estado de Santa Catarina, o Decreto Estadual n.º 14.250, de 05 de junho de 1981, a DBO<sub>5,20</sub> de cinco dias é padrão de emissão de esgotos diretamente nos corpos d'água, sendo exigidos ou uma DBO<sub>5,20</sub> máxima de 60 mg/L ou uma eficiência global mínima do processo de tratamento na remoção de DBO<sub>5,20</sub>

igual a 80%. Este critério favorece os efluentes industriais concentrados que podem ser lançados com valores de  $DBO_{5,20}$  ainda altos, mesmo removidos acima de 80%.

- **Demanda Química de Oxigênio (DQO):** é a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. A DQO também é determinada em laboratório, em prazo muito menor do que o teste da DBO. Para o mesmo líquido, a DQO é sempre maior que a DBO (MOTA, 1997).

- **Dureza:** é definida como a soma dos cátions polivalentes expressados numa quantidade equivalente de Carbonato de Cálcio ( $CaCO_3$ ). A maioria comum de tais cátions é de cálcio e magnésio. Em geral, esses íons metálicos nos mananciais de abastecimento de água não causam prejuízo à saúde, embora existam algumas evidências que possam influenciar no efeito de outros íons metálicos. Uma importância particular da dureza elevada é a sua tendência para o desenvolvimento de incrustação de  $CaCO_3$ , principalmente quando a água está aquecida. Águas com pequena ou nenhuma dureza podem ser corrosivas para equipamentos que a utilizam, dependendo da sua alcalinidade, pH e oxigênio dissolvido. O consumo de água para os processos industriais, utilizando os sistemas públicos de abastecimento pode ser muito sensível à variação da dureza (BATALHA e PARLATORRE, 1998). Os efeitos nocivos para a saúde de uma água dura foram abordados em alguns trabalhos e consistiram num aumento da frequência de cálculos urinários. Devido à associação do magnésio com o íon sulfato, uma água dura pode ter propriedades laxantes nas pessoas com fragilidade intestinal crônica (DÉOUX e DÉOUX, 1996).

- **Ferro:** é o metal que apresenta maior uso do que qualquer outro metal. Sendo muito abundante (cerca de 5% da crosta terrestre é constituída por ferro) e de fácil obtenção a partir de seus minerais, tornou-se indispensável para a manufatura variando de peças de automóveis a cordas de guitarra (MACEDO, 2002). O autor ainda ressalta que o ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água. O carbonato ferroso é solúvel e frequentemente é encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de ferro. Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e à ocorrência de processos de erosão das margens. As águas que contêm ferro caracterizam-se por apresentar cor elevada e turbidez baixa. Os flocos formados geralmente são pequenos, ditos "pontuais", com velocidades de sedimentação muito baixa.



O valor máximo permitido do ferro é estabelecido em função de problemas estéticos, aparecimento de uma cor acastanhada esteticamente pouco agradável relacionados à presença do ferro na água, do gosto metálico que o ferro confere e o risco de corrosão das canalizações devido ao desenvolvimento de microrganismos (ferrobactérias) (MACEDO, 2002). Relata o autor que o ferro, assim como o manganês, ao se oxidarem se precipitam sobre as louças sanitárias, azulejos, roupas, manchando-as. Em virtude de afinidades geoquímicas o ferro quase sempre é acompanhado pelo manganês.

- **Fluoreto:** os compostos de flúor são encontrados geralmente em quantidades maiores nas águas subterrâneas do que nas superficiais. A solubilidade do fluoreto e a quantidade em que se encontra na água dependem da natureza da formação rochosa, da velocidade com que passa a água sobre as rochas, da porosidade dessas rochas e da temperatura local. O conteúdo dos fluoretos tende a ser elevado em águas temperadas e alcalinas. São amplamente conhecidos os efeitos benéficos dos fluoretos na prevenção da cárie dentária. Todavia, quando presentes em concentrações muito elevadas, podem eventualmente causar fluorose dentária e danos no esqueleto das crianças e adultos. Os fluoretos podem ocorrer naturalmente em muitos abastecimentos de água e encontra-se em alimentos tais como chá, mariscos, peixes, arroz e outros. O limite ótimo para uma dada comunidade depende das condições climáticas, devido à quantidade de água ingerida pelas crianças, a qual, por sua vez, está associada à temperatura do ar (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

- **Fosfatos:** nas águas superficiais e subterrâneas os fosfatos são encontrados como resultados da lixiviação dos minerais, dos processos naturais de degradação ou da drenagem da agricultura, como um dos produtos da decomposição da matéria orgânica, como resultado dos resíduos industriais ou como um dos constituintes das águas de refrigeração que os recebem em seu tratamento. Os polifosfatos são usados nos processos de tratamento de água, especialmente na alimentação de caldeiras, para prevenir a formação de incrustação e inibir a corrosão (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

- **Fósforo:** o fósforo, diferentemente do nitrogênio, não ocorre isolado na natureza e a maior parte é encontrada em depósitos de rochas de fosfato, apatita e compostos semelhantes contendo fosfato de cálcio. O fósforo forma-se inicialmente como moléculas  $P_2$  que se dimerizam e são condensadas debaixo da água,

formando moléculas de fósforo branco – P<sub>4</sub>. Este último é uma substância muito reativa, venenosa, volátil, resinosa, branco-amarelada. Muito solúvel em solventes não-polares como o benzeno e o dissulfeto de carbono (MACEDO, 2002). O fósforo é essencial para o crescimento de algas, mas em excesso, causa eutrofização; suas principais fontes são: dissolução de compostos do solo, decomposição da matéria orgânica, esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes e excrementos de animais. Quanto maior o valor de fósforo, mais “alterado” pode estar o local: um valor de fósforo alto é preocupante devido a sua dificuldade de remoção desse elemento (MOTA, 1997).

• **Hidrocarbonetos aromáticos (BTEX):** são compostos de baixa polaridade e são tóxicos de intensidade variável:

- Benzeno: líquido volátil, tóxico e cancerígeno;
- Tolueno e Xileno: não são cancerígenos, embora ainda bastante tóxicos.

Os efeitos dos hidrocarbonetos aromáticos manifestam-se acentuadamente no sistema nervoso central, onde alguns apresentam particularidades:

- Benzeno: exposições excessivas podem resultar em anemia, podendo ainda afetar outros órgãos, como fígado e rins; é suspeito causador de leucemia;

- Tolueno: exposição excessiva causa irritação na membrana mucosa, havendo ainda fadiga, fraqueza e confusão mental;

- Xileno: é irritante dos olhos, nariz e garganta. O aumento de exposição pode causar narcose, repetidas exposições causam dor de cabeça, vertigens, fadiga e sonolência (VENDRAME, 1998).

O benzeno é encontrado em concentrações variáveis na maioria das gasolinas (2 a 5%, em volume), é um ingrediente comum dos removedores de tintas e vernizes e é também utilizado como veículo de algumas formulações comerciais de inseticidas. O Tolueno, além de estar presente na gasolina, é usado também como solvente, tiner e como matéria básica na indústria química na produção de tintas, lacas, adesivos etc. É também largamente empregado na indústria gráfica. O xileno é um solvente bastante comum na formulação de inseticidas do tipo emulsões e concentrados emulsionáveis e também largamente empregado na indústria química (LARINE, 1997). O autor relata que a degradação de compostos aromáticos é um tema que tem se desenvolvido muito nos últimos dez a quinze anos. Muitos estudos realizados revelaram a completa mineralização dos compostos de BTEX sob várias condições anaeróbicas. Tipicamente, na ausência de oxigênio, os

seguintes aceptores de elétrons podem contribuir para degradação dos hidrocarbonetos aromáticos: nitrato, manganês, ferro e sulfato.

- **Manganês:** é um metal branco, brilhante, altamente reativo. Seu principal uso encontra-se como constituinte de ligas de aço. Macedo (2002) relata que o comportamento do manganês nas águas é muito semelhante ao do ferro em seus aspectos mais diversos, mas sua ocorrência é mais rara. O manganês desenvolve coloração negra na água, podendo-se apresentar nos estados de oxidação  $Mn^{+2}$  (forma mais solúvel) e  $Mn^{+4}$  (forma menos solúvel). É muito usado na indústria do aço, na fabricação de ligas metálicas e baterias e na indústria química em tintas, vernizes, fogos de artifícios e fertilizantes, entre outros. Exposições prolongadas de manganês, de forma inalada ou oral, podem provocar efeitos adversos no sistema nervoso, respiratório e outros. O manganês pode estar presente nas águas subterrâneas devido a contaminações, mas também é um elemento muito encontrado em diversos minerais (MACEDO, 2002).

- **Matéria Orgânica:** a matéria orgânica da água é necessária aos seres heterótrofos, na sua nutrição, como fonte de sais nutrientes e gás carbônico; em grandes quantidades, no entanto, podem causar alguns problemas, como: cor, odor, turbidez, consumo de oxigênio dissolvido pelos organismos decompositores. O consumo de oxigênio é um dos problemas mais sérios do aumento do teor de matéria orgânica, pois provoca desequilíbrios ecológicos, podendo causar extinção dos organismos aeróbios. Geralmente são utilizados dois indicadores de matéria orgânica na água: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) (MOTA, 1997).

- **Mercúrio:** a presença do mercúrio no meio ambiente é devida a sua utilização na agricultura. Verifica-se a aplicação do mercúrio na produção eletrolítica da soda e do cloro, na fabricação de instrumentos industriais, farmacêuticos, pinturas, catalisadores, na produção de pesticidas (fungicidas e herbicidas), explosivos e outras finalidades, constituindo assim, um componente freqüente de diversos resíduos industriais. Ainda que o mercúrio inorgânico possa ter efeitos prejudiciais sobre o homem e outros animais, tornou-se claro que os compostos orgânicos de mercúrio na forma alquil são os mais tóxicos, principalmente o metil mercúrio. São suficientes pequenas concentrações para se manifestarem sintomas clínicos após algumas semanas ou mesmo alguns anos. A intoxicação crônica com os derivados orgânicos de mercúrio está sempre associada a acidentes ou

contaminações localizadas no ambiente. A intoxicação crônica com o mercúrio inorgânico é devida frequentemente à exposição industrial. A toxidez aguda pode provocar náuseas, vômitos, cólicas abdominais, diarreia sangüínea, danos aos rins e usualmente morte dentro de período de 10 dias. A toxidez crônica caracteriza-se por inflamação da boca e gengivas, dilatação das glândulas salivares, perda dos dentes, problemas renais alterações psicológicas e psicomotoras (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

• **Nitrogênio Amoniacal (amônia):** na água, apresenta-se na forma predominante de íon amônia (exceto em altos valores de pH), mas na literatura especializada, aparece como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), amônia ou nitrogênio amoniacal. A amônia ou nitrogênio amoniacal pode ser um constituinte natural de águas superficiais ou subterrâneas, resultado da decomposição da matéria orgânica. Todavia, altos níveis são usualmente indicadores de poluição de origem doméstica ou industrial (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

É uma substância tóxica não persistente e não cumulativa e, sua concentração, que normalmente é baixa, não causa nenhum dano fisiológico aos seres humanos e animais. Grandes quantidades de amônia podem causar sufocamento de peixes. Ela é formada no processo de decomposição de matéria orgânica (uréia - amônia). Em locais poluídos seu teor costuma ser alto. O caminho de decomposição das substâncias orgânicas nitrogenadas é chegar ao nitrato, passando primeiro pelo estágio de amônia, por isso, a presença dessa substância indica uma poluição recente (MACEDO, 2002).

• **Odor e Sabor:** são os meios primários pelos quais se determina o uso ou a aceitabilidade da água. Embora não possam ser diretamente correlacionados à segurança da água, sua presença pode levar o consumidor a procurar outras fontes de abastecimento, pois ele espera que a água seja agradável para beber. Prova disso é que o maior número de reclamações sobre a água não se deve às características químicas ou bacteriológicas, mas sim ao odor e sabor. O sentido do sabor é variado e vago e, portanto, difícil de quantificar. As fontes naturais de odor e sabor podem ser classificadas em duas categorias: a) naturais: são todas aquelas substâncias produtoras de odor e sabor que se produzem ou chegam à água por causas naturais, tais como algas, vegetação em decomposição, bactérias, fungos e compostos inorgânicos (gás sulfídrico, sulfatos e cloretos); b) artificiais: são aquelas provenientes de águas residuais domésticas ou industriais, produtos da atividade do

homem: fenóis, cresóis, mercaptans e certas aminas. Em geral, são substâncias orgânicas, com exceção do gás sulfídrico e alguns poucos compostos (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

- **Oxigênio dissolvido (OD):** O oxigênio dissolvido é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais ou os reatores para tratamento biológico de esgotos. Nas águas naturais, o oxigênio é indispensável também para outros seres vivos, especialmente os peixes porque a maioria das espécies não resiste a concentrações de oxigênio dissolvido na água inferiores a 4,0 mg/L. É, portanto, um parâmetro de extrema relevância na legislação de classificação das águas naturais, bem como na composição de índices de qualidade de águas (MACEDO, 2002).

A água, em condições normais, contém oxigênio dissolvido, cujo teor de saturação depende da altitude e da temperatura; águas com baixos teores de oxigênio dissolvido indicam que receberam matéria orgânica. A decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbicas é, geralmente, acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio da água, e dependendo da capacidade de alta depuração do manancial, o teor de oxigênio dissolvido pode alcançar valores muito baixos, ou zero, extinguindo-se os organismos aquáticos aeróbios (MOTA, 1997).

- **pH (Potencial Hidrogeniônico):** Medida da concentração relativa dos íons de hidrogênio numa solução, indica a acidez ou alcalinidade da solução. A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo determinadas condições de pH contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes (MACEDO, 2002).

O pH, em abastecimento de água, é significativo, porque afeta o processo de tratamento de água e pode contribuir para a corrosão das estruturas das instalações hidráulicas e do sistema de distribuição. A corrosão pode adicionar constituintes para a água, tais como: ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

Nas estações de tratamento de águas são várias as unidades cujo controle envolve as determinações de pH. A coagulação e a floculação que a água sofre inicialmente é um processo unitário dependente do pH; existe uma condição denominada "pH ótimo" de floculação que corresponde à situação em que as

partículas coloidais apresentam menor quantidade de carga eletrostática superficial. A desinfecção pelo cloro é outro processo dependente do pH. Em meio ácido, a dissociação do ácido hipocloroso formando hipoclorito é menor, sendo o processo mais eficiente. A própria distribuição da água final é afetada pelo pH. Macedo (2002) relata que as águas ácidas são corrosivas, ao passo que as alcalinas são incrustantes e que nessas condições de pH contribuem para o equilíbrio dos carbonatos presentes e para que não ocorra nenhum dos dois efeitos indesejados mencionados.

Esse autor salienta que no tratamento físico-químico de efluentes industriais muitos são os exemplos de reações dependentes do pH: a precipitação química de metais pesados ocorre em pH elevado, a oxidação química de cianeto ocorre em pH elevado, a redução do cromo hexavalente à forma trivalente ocorre em pH baixo; a oxidação química de fenóis em pH baixo; a quebra de emulsões oleosas mediante acidificação; o arraste de amônia convertida à forma gasosa se dá mediante elevação de pH etc. Dessa forma, o pH constitui um parâmetro importante no controle dos processos físico-químicos de tratamento de efluentes industriais.

- **Resíduos Totais:** todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos corpos d'água. Sólidos podem ser classificados de acordo com o seu tamanho e características químicas. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos nos recursos hídricos, promovendo decomposição anaeróbia (MACEDO, 2002).

Mota (1997) cita que as principais fontes de resíduos totais da água são a erosão do solo, os esgotos domésticos, esgotos industriais, lixo e a mineração. Suas principais conseqüências são o assoreamento de recursos hídricos, a diminuição de vazões de escoamento e de volumes de armazenamento, inundações, soterramento de animais e ovos de peixes, aumento da turbidez da água, redução da transparência da água, diminuição da atividade fotossintética, redução de oxigênio dissolvido, prejuízos e impactos sobre a vida aquática.

- **Temperatura:** a temperatura influencia processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e também outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos. A solubilidade dos gases decresce e a dos sais minerais cresce com o aumento da temperatura da água, e a maior parte dos organismos possui faixas de temperatura ótimas para sua reprodução. As águas subterrâneas têm uma amplitude térmica pequena, isso é, sua temperatura não é

influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica. Exceções são os aquíferos freáticos pouco profundos. Em profundidades maiores a temperatura da água é influenciada pelo grau geotérmico local (em média 1°C a cada 30 m) (MACEDO, 2002). A elevação da temperatura pode acontecer, segundo Mota (1997), por meio de águas de resfriamento e de despejos industriais, tendo como consequência o aumento das reações químicas e biológicas, podendo ocorrer a elevação da ação tóxica de alguns elementos e compostos químicos.

- **Turbidez:** é a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar certa quantidade de água. A turbidez é causada por matérias sólidas em suspensão como partículas constituídas por plânctons, bactérias, argilas, silte em suspensão, fontes de poluição que lança material fino e outros. O aumento da turbidez reduz a zona eufótica, que é a zona de luz onde a fotossíntese ainda é possível ocorrer. O aumento da turbidez é provocado por erosões, turbulências, lançamentos de estações de tratamento de efluentes, descargas de galerias de águas pluviais ou transformações de matérias na água. Os resultados são expressos em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT). As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez. Em alguns casos, águas ricas em íons ferro, podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar (MACEDO, 2002).

A turbidez pode reduzir a eficiência da cloração, pela proteção física dos microrganismos do contato direto com os desinfetantes. Além disso, as partículas de turbidez transportam matéria orgânica absorvida que podem provocar sabor e odor (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

- **Zinco:** a presença de zinco é comum nas águas naturais. O zinco é empregado em materiais galvanizados, fins elétricos, pigmentos para pinturas, cosméticos, produtos farmacêuticos, inseticidas, podendo encontrar-se em muitos resíduos industriais. O zinco é um elemento essencial e benéfico para o metabolismo humano, sendo que a atividade da insulina e diversos compostos enzimáticos dependem da sua presença. A deficiência de zinco nos animais conduz ao atraso do crescimento, que pode ser corrigido pela adição de zinco na dieta. (BATALHA e PARLATORRE, 1998).

Com o objetivo de facilitar a interpretação das informações de qualidade da água de forma abrangente e útil, a CETESB, a partir de um estudo realizado em 1970 pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos, já citado neste

estudo, adaptou e desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas (IQA). Esse índice vem sendo utilizado para avaliar a qualidade das águas do Estado de São Paulo (BASSOI E GUAZELLI, 2004). O IQA incorpora nove parâmetros, que são considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo com o determinante principal sua utilização para abastecimento público. Esses parâmetros foram sugeridos por especialistas em qualidade da água, que, além de indicá-los, acrescentaram o peso relativo e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores. Dos 35 parâmetros indicadores de qualidade de água inicialmente propostos, somente nove foram selecionados. Para eles, a critério de cada profissional, foram estabelecidas curvas de variação de qualidade da água de acordo com o estado ou com a condição de cada parâmetro. Essas curvas de variação, sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seu peso relativo correspondente, são apresentados no ANEXO.

De acordo com Bassoi e Guazelli (2004), o IQA é calculado pelo produto ponderado das qualidades da água correspondente aos parâmetros: a) Qualidade físico-química: turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Kjeldahl, Fosfato total, Sólidos totais; b) Qualidade bacteriológica: Coliformes fecais. No caso de não se dispor do valor de algum dos nove parâmetros, o cálculo do IQA é inviabilizado.

Segundo relata o Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA, no cálculo original do IQA pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos, considerava-se o nitrogênio nitrato. No entanto, a CETESB realizou uma adaptação desse índice para o nitrogênio no Estado de São Paulo, uma vez que nesse caso os rios se mostram comprometidos por esgotos domésticos, que são ricos em outras formas de nitrogênio, tais como o nitrogênio orgânico e o amoniacal. Sendo assim, a CETESB utiliza a curva do nitrogênio, considerando o nitrogênio total. Segundo a CETESB (2009) o IQA é calculado por meio das fórmulas apresentadas na Figura 2:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Legenda: **IQA**: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100; **qi**: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida; **wi**: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade; e **n**: número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Figura 2 - Fórmulas para o cálculo do IQA

Fonte: CETESB (2009)



A partir do cálculo realizado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas que, indicada pelo IQA numa escala de 0 a 100, é classificada para abastecimento público, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Gradação para o IQA

<b>Qualidade</b>	<b>Valor</b>
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Péssima	$\text{IQA} \leq 19$

Fonte: Bassoi e Guazelli (2004)

Tendo-se concluída a exposição teórica que deu sustentação a este estudo, no capítulo seguinte será caracterizada a área de estudo.

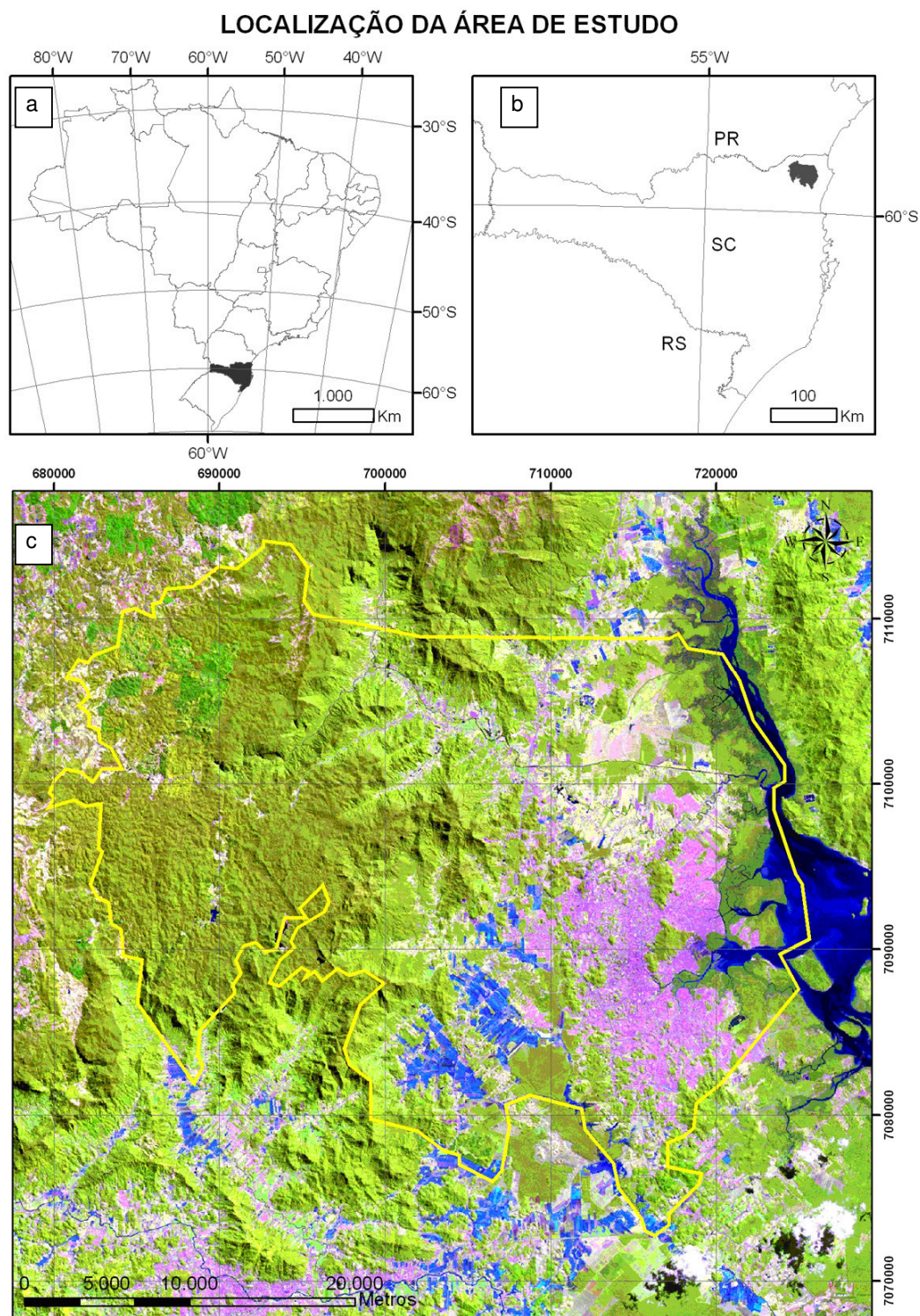
## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Área de Estudo

Joinville está localizada na latitude 26° 18' 05" Sul e na longitude 48° 50' 38", na microrregião nordeste de Santa Catarina. Com uma área de 1.135,05 km<sup>2</sup>, sendo 212,6 km<sup>2</sup> na área urbana e 922,45 km<sup>2</sup> na área rural, faz divisa com Campo Alegre e Garuva ao norte, Schroeder, Guaramirim e Araquari ao sul, São Francisco do Sul ao leste e Jaraguá do Sul a oeste (JOINVILLE, 2008).

A leste encontra-se a baía da Babitonga, importante formação de água marinha interior, com área de aproximadamente 100km<sup>2</sup>. Nesse setor existe o maior maciço de manguezais do Estado, importante ecossistema costeiro que atua também como barreira física à expansão da cidade, neste sentido. Na faixa central, caracterizada como uma planície costeira está instalada a cidade, às margens da baía da Babitonga. A oeste encontram-se áreas tradicionalmente agrícolas. Nesse sentido, encontra-se a segunda barreira física para expansão da ocupação humana: a Serra do Mar, onde se destaca uma grande faixa de Mata Atlântica, formando um dos maiores maciços desse importante ecossistema (BAGGIO, 1997).

A Figura 3 apresenta a localização do município de Joinville – Santa Catarina.



Legenda: a) localização do estado de Santa Catarina no Brasil; b) localização do município estudado no estado de Santa Catarina; c) divisas do município de Joinville.

Figura 3 - Localização geográfica do município de Joinville - SC

Fonte: Centro de Cartografia Digital e Sistemas de Informações Geográficas (UNIVILLE, 2009)

### 2.1.1 Características Socioeconômicas

Joinville tem uma população, segundo dados do IBGE (2005), de aproximadamente 481.045 habitantes, sendo o município mais populoso e também o mais industrializado de Santa Catarina, Estado que detém o segundo PIB industrial per capita do país e ocupa o quinto lugar no ranking das exportações nacionais, com uma fatia de 5,52% do total brasileiro, em 1996. O parque fabril do município, com mais de 1.500 indústrias (Tabela 3), emprega 58 mil profissionais e cresce em média 5,67% ano, é responsável por cerca de 20% das exportações catarinenses. Terceiro pólo industrial da região Sul, com volume de receitas geradas aos cofres públicos inferior apenas às capitais Porto Alegre (RS) e Curitiba (PR), Joinville figura entre os quinze maiores arrecadadores de tributos e taxas municipais, estaduais e federais.

A tabela a seguir evidencia as atividades econômicas joinvilenses, por setor de atividades, no período de 2004 a 2006.

Tabela 3 - Empresas de Joinville, por setor de atividades

<b>Atividade Econômica</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Comércio	10.314	10.566	9.351
Indústria de Transformação	1.705	1.698	1.498
Prestação de Serviços	12.045	12.393	11.806
Prestação de Serviços Autônomos	6.941	6.467	5.596

Fonte: Secretaria Municipal da Fazenda – 2007 (JOINVILLE, 2007)

A cidade concentra grande parte da atividade econômica na indústria - que gera um faturamento industrial de US\$ 14,8 bilhões por ano - com destaque para os setores metalmeccânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico, conforme demonstra o Quadro 3.

A base do setor primário do município de Joinville é a agricultura familiar, na qual cerca de 97% das propriedades tem menos que 50 hectares. Destaca-se o cultivo de arroz irrigado, de banana e de hortaliças. A bovinocultura leiteira presente em 68% das propriedades proporciona liquidez a alguns estabelecimentos (IPPUJ, 2007).

Quadro 3 - Principais produtos das indústrias de Joinville

<b>Categoria</b>	<b>Tipo</b>
Metalmeccânica	Aparelhos de ar condicionado, motores para embarcações, bombas centrífugas, chapas de aço, motores e motobombas, ferro fundido e maleável, fundidos em alumínio, hélices para embarcações, parafusos, porcas e arruelas, laminados de ferro e aço, torneiras de cobre, metais sanitários, motocompressores.
Plástico	Conexões de PVC, conexões plásticas, embalagens plásticas, peças plásticas para refrigeradores, mangueiras, utensílios domésticos.
Têxtil	Agasalhos e uniformes, artigos têxteis esportivos, camisas e meias em geral, guarnições de cama, malhas e artigos confeccionados, fios de algodão a cru e tinto.
Madeireiro	Acessórios para banheiros, brinquedos, carrocerias de madeira, esquadrias, moldes para fundição, móveis, peças para decoração interna revestimentos de pisos e paredes.
Tecnologia da Informação	Soluções em: Sistemas Integrados ERP; de TIC -Tecnologia de Informação e Comunicação; Sistema Via Internet e as novas Plataformas de Comunicação; Sistemas de Automação Industrial e Comercial.
Outros	Alimentos em conserva, aparelhos eletrodomésticos, bebidas e refrigerantes, carrocerias para ônibus, doces e compotas, editorial e gráfico, folhagem e sementes, massas e alimentos em geral, perfumes, sabões e velas, químicos e farmacêuticos, sais de iodo

Fonte: Perfil Sócio Econômico de Joinville – 2004 (JOINVILLE, 2007)

### 2.1.2 Geomorfologia

A região caracteriza-se pelo relevo acidentado, mesclado com áreas planas próximas ao litoral. Basicamente, existem três unidades morfológicas distintas na região: a Planície Costeira, as Escarpas da Serra do Mar e o Planalto Ocidental (BAGGIO, 1997).

Ainda Baggio (1997) relata que a Planície Costeira forma uma faixa relativamente estreita entre as encostas da Serra do Mar e a Baía da Babitonga. Nessa área, as altitudes médias não ultrapassam 20 metros. Essas planícies foram formadas pelos sedimentos oriundos dos processos erosivos da Serra e por depósito de material resultante da dinâmica flúvio-marinha. São encontrados ainda nessa unidade geomorfológica, morros isolados que podem atingir até 100 metros de altitude e apenas um ponto maior que 200 metros. Nas escarpas da Serra do Mar, o relevo apresenta-se como uma serra propriamente dita, com vertentes íngremes voltadas para o leste. Há ocorrência de cristas e picos, separados por vales profundos, onde a diferença de altitude atinge os 400 metros. Os pontos mais altos têm altitude média em torno de 900 metros, podendo ultrapassar 1.200 metros nos

pontos mais elevados.

### **2.1.3 Geologia**

Segundo Gonçalves e Kaul (2002), no município de Joinville afloram as rochas metamórficas arqueadas, do tipo gnaiss granulítico. No meio delas, ocorrem ainda outras, sempre associadas no campo e denominadas de quartzito e formação ferrífera bandada. O quartzito, por ser mais resistente aos processos de alteração intempérica (ação de clima sobre as rochas) e erosão, forma morros, tais como o Timbé, o Iriú, o Boa Vista, o Guanabara e o Itinga, enquanto o gnaiss granulítico, por ser mais vulnerável a tais processos, forma relevo plano. Por outro lado, o manto de intemperismo desse gnaiss já foi muito extraído na região, nos locais denominados barreiros, sendo destinado à construção de aterros ou utilizado como matéria-prima em olarias.

A formação ferrífera ocorre sempre associada ao quartzito, exibindo íntima relação genética com o mesmo. A ocorrência em campo se dá na forma de lentes descontínuas, mas, localmente, aparecem bolsões centimétricos em meio às bandas. A alteração química é comum nessa rocha (GONÇALVES, 1993).

### **2.1.4 Hidrografia**

A hidrografia de Joinville apresenta-se predominantemente na vertente Atlântica da Serra do Mar, cujos rios se caracterizam por pequena extensão e grande vazão. A formação geomorfológica da região, associada às condições climáticas e cobertura vegetal, interfere positivamente no regime hídrico das bacias hidrográficas, proporcionando ao município um bom potencial no que se refere aos recursos hídricos (JOINVILLE, 2008).

Gonçalves (1993) relata que Joinville possui a particularidade de ter quase toda a rede hidrográfica com as nascentes contidas dentro dos limites municipais, fato que em muito facilita o gerenciamento desses recursos hídricos.

Ainda de acordo com a Prefeitura Municipal de Joinville (2008) o município é banhado pelas seguintes bacias:

- Bacia do Rio Itapocu - grande bacia hidrográfica que abrange também os municípios de Jaraguá do Sul, Schroeder, Guaramirim e Corupá. Essa bacia deságua na porção central a oeste do município, composta pelas sub-bacias dos rios Piraí, do Júlio, Águas Vermelhas, Motucas, Piraizinho e Jacu;
- Bacia do Rio Cubatão - na zona norte, cuja nascente se localiza na Serra Queimada e escoar na direção do canal das Três Barras e daí para a Baía da Babitonga. É formada pelos rios Quiriri, Izaack, da Prata, Seco, Lindo, do Braço e Mississipe;
- Bacia do Rio Cachoeira - corta a área urbana da sede do município (no sentido noroeste – sudeste) e deságua na Baía da Babitonga, passando antes pela Lagoa do Saguauçu. Compõe essa bacia os rios Morro Alto, Matias, Jaguarão, Bucarein, Itaum-mirim e Santinho;
- Bacias Independentes da Região Leste - ocupam a estreita faixa entre os morros do Boa Vista e Iririú e as zonas de ocorrência de mangues da Baía da Babitonga. É formada pelos rios do Ferro, Guaxanduva, Comprido e Iririú-mirim.

Segundo um estudo realizado por Gonçalves (1993), o nível de aquífero freático em todas as bacias hidrográficas da região de Joinville é raso na parte menos acidentada, indo de 3 metros de profundidade a aflorante em alguns pontos de quebra de relevo. Sua profundidade aumenta com a declividade do terreno, mas dificilmente ultrapassa 6 metros. Isto se dá devido à recarga intensiva, proveniente das encostas ainda florestadas. Já os poços profundos apresentam profundidade média de 100 metros, atingindo um máximo de 218 metros. Em geral, as bombas estão dispostas entre 50 e 80 metros de profundidade e o bombeamento é feito em média oito horas por dia.

A água subterrânea é utilizada principalmente pelas indústrias situadas no Distrito Industrial e região centro-norte do município. O fato de a zona sul da cidade ser final de linha das adutoras, com falta frequente de água, faz com que a população recorra à utilização de poços rasos. Daí a importância de preservar as encostas florestadas do Morro do Itinga, não permitindo loteamentos, a fim de garantir a recarga e, por extensão, a potencialidade dos aquíferos que são explorados (GONÇALVES, 1993).

### 2.1.5 Vegetação

De acordo com a Prefeitura Municipal de Joinville (2008) a vegetação de Joinville pode ser classificada, de uma forma geral, como Floresta Ombrófila Densa, parte integrante do domínio da Floresta Atlântica. Esse tipo de vegetação, que assume tipologias diferenciadas, de acordo com as características específicas da região, cobria originalmente quase a totalidade da extensão do município.

A Floresta Atlântica caracteriza-se pela grande variedade de espécies, formando uma vegetação densa e exuberante, que atinge altura superior a 30 metros. As copas das árvores maiores tocam-se, formando uma camada relativamente uniforme e fechada. No seu interior formam-se, ainda, outros estratos de plantas menores, adaptadas à iluminação difusa. No estrado médio aparece o palmito (*Euterpe edulis*), espécie muito comum, sendo uma das características mais marcantes desse ecossistema, juntamente a um grande número de plantas epífitas, como as bromélias e orquídeas (JOINVILLE, PMJ, 2008).

### 2.1.6 Pluviometria

A precipitação pluviométrica de Município de Joinville, segundo Gonçalves (1993) é controlada pelo resfriamento da massa de ar tropical marítima saturada que não ultrapassa a barreira da Serra do Mar. Este fato faz com que Joinville detenha um dos maiores índices pluviométricos do País.

A média de precipitação em m<sup>3</sup> de 30 dias anteriores de cada coleta realizada para a presente pesquisa apresenta-se no Gráfico 2 a seguir.

A coleta 1 refere-se aos 30 dias anteriores à coleta do mês de setembro/2008; a coleta 2 aos 30 dias anteriores à coleta do mês de novembro/2008 e, a coleta 3, aos 30 dias anteriores à coleta do mês de janeiro/2009.



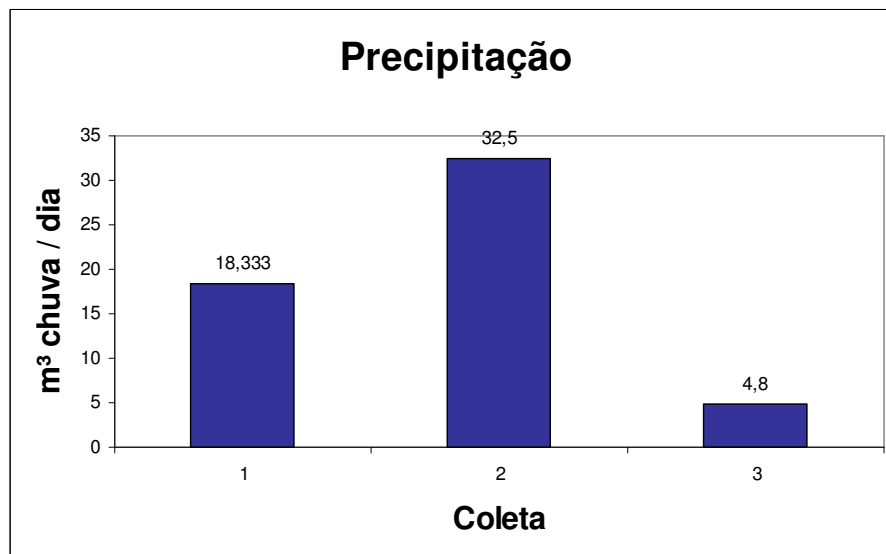


Gráfico 2 - Média de precipitação dos dias que antecederam as coletas  
Fonte: UNIVILLE (2009)

Observando-se o gráfico, é possível perceber que houve três valores distintos de precipitação pluviométrica. A coleta 01 apresentou uma concentração média, situando-se entre os extremos das variações dos índices pluviométricos apresentados na coleta 02 e 03, as quais obtiveram valores de 32,5 e 4,8 m<sup>3</sup> de chuva/dia, respectivamente.

## 2.2 Rede de Esgoto Sanitário

No município de Joinville, Santa Catarina, a Companhia Águas de Joinville (2008) está desenvolvendo o Plano de Expansão da cobertura de rede de esgotamento sanitário, que tem previsto um incremento no número atual da população atendida com rede e tratamento de esgotos sanitários de 37,27%, elevando o índice atendimento atual de 14,82% para 52,09% até o ano de 2010. Constate-se que aproximadamente 86% do município de Joinville não têm um sistema de saneamento básico com rede de esgoto.

Observa-se na Figura 4 que dos 12 pontos amostrados apenas 04 são cobertos pela coleta da rede pública de esgoto, sendo eles os pontos 01, 02, 03 e 09.

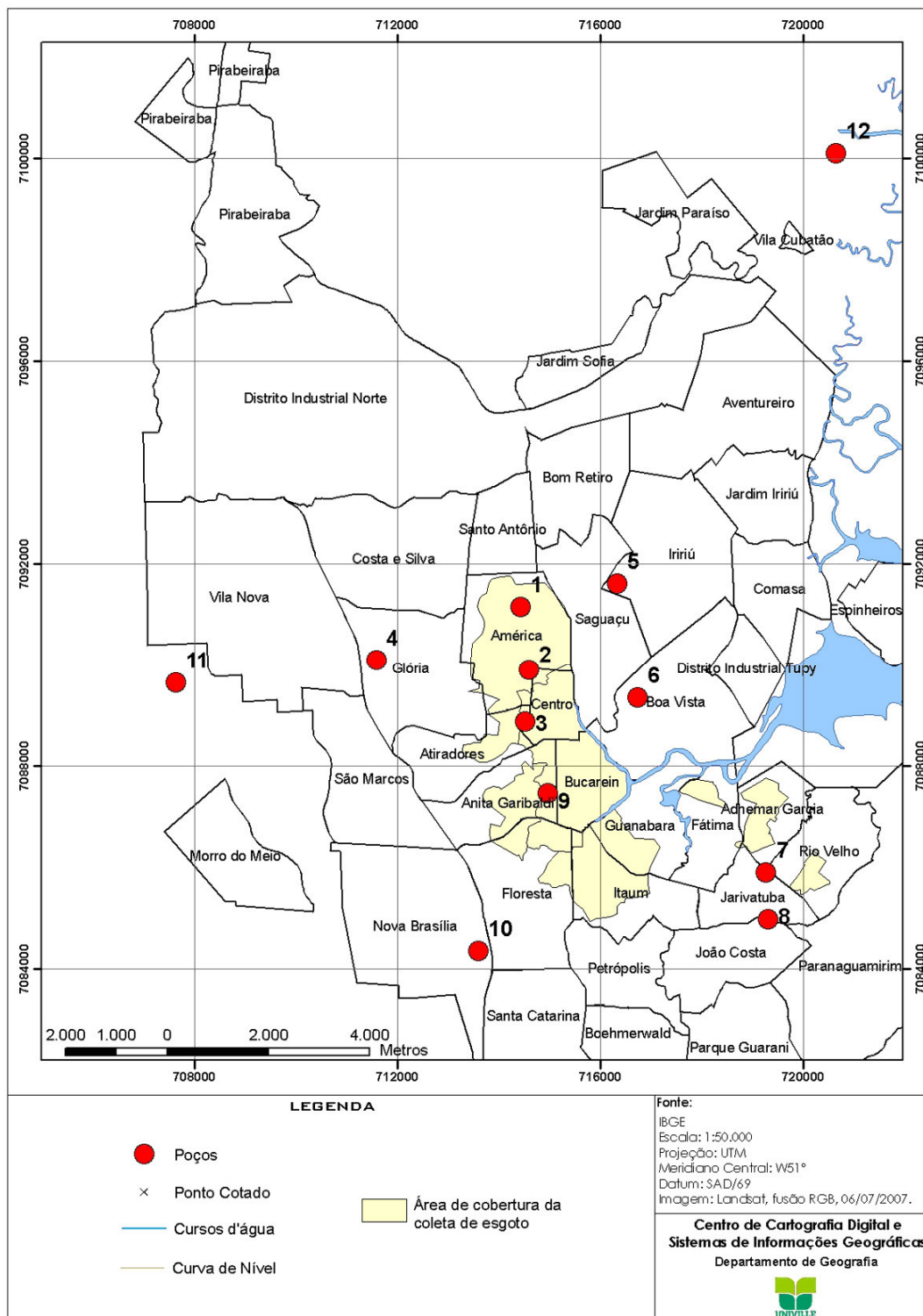


Figura 4 - Relação dos pontos amostrados com a área de cobertura da coleta de esgoto  
 Fonte: Centro de Cartografia Digital e Sistemas de Informações Geográficas (UNIVILLE, 2009)

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Amostragem**

As amostragens das águas subterrâneas do lençol freático foram realizadas seguindo normas técnicas brasileiras, estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, as quais compreendem a NBR 9897 – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores e NBR 9898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

A água foi coletada diretamente da saída do poço, antes de passar por qualquer tipo de reservatório, como cisternas, caixas d'água, filtros domésticos, entre outros.

As amostras foram coletadas com o mínimo de espaço de ar e volume suficiente caso seja necessária a realização da reanálise de algum parâmetro.

Os estabelecimentos não tiveram seus nomes divulgados, apenas sua localização mapeada, por meio do georreferenciamento dos pontos amostrados.

#### **3.1.1 Definição dos pontos de amostragem**

Considerando a área ocupada, o município de Joinville foi dividido em quatro quadrantes similares e estabelecidos três pontos de amostragens em cada quadrante, totalizando assim 12 pontos de amostragens. Dentre eles estão residências, estabelecimentos de serviço de saúde, hotéis, restaurantes, indústrias, envasadoras de água, lavação de carros e lavação de barcos, abrangendo área urbana e rural.

Foi realizado um extenso estudo de campo, de porta em porta a fim de descobrir estabelecimentos abastecidos por água subterrânea e que aceitariam participar do estudo.

Para a localização aproximada, melhor visualização e entendimento dos pontos amostrados, foi utilizada a ferramenta de geoprocessamento e os pontos foram plotados numa imagem de satélite, por meio das suas respectivas

coordenadas geográficas – Projeção Universal Transversal de Mercator (UTM) conforme demonstra a Figura 5.

Os pontos amostrados foram correlacionados com o uso e ocupação do solo do município de Joinville, com base na Lei de Uso e Ocupação do Solo, consolidada em outubro de 2007.

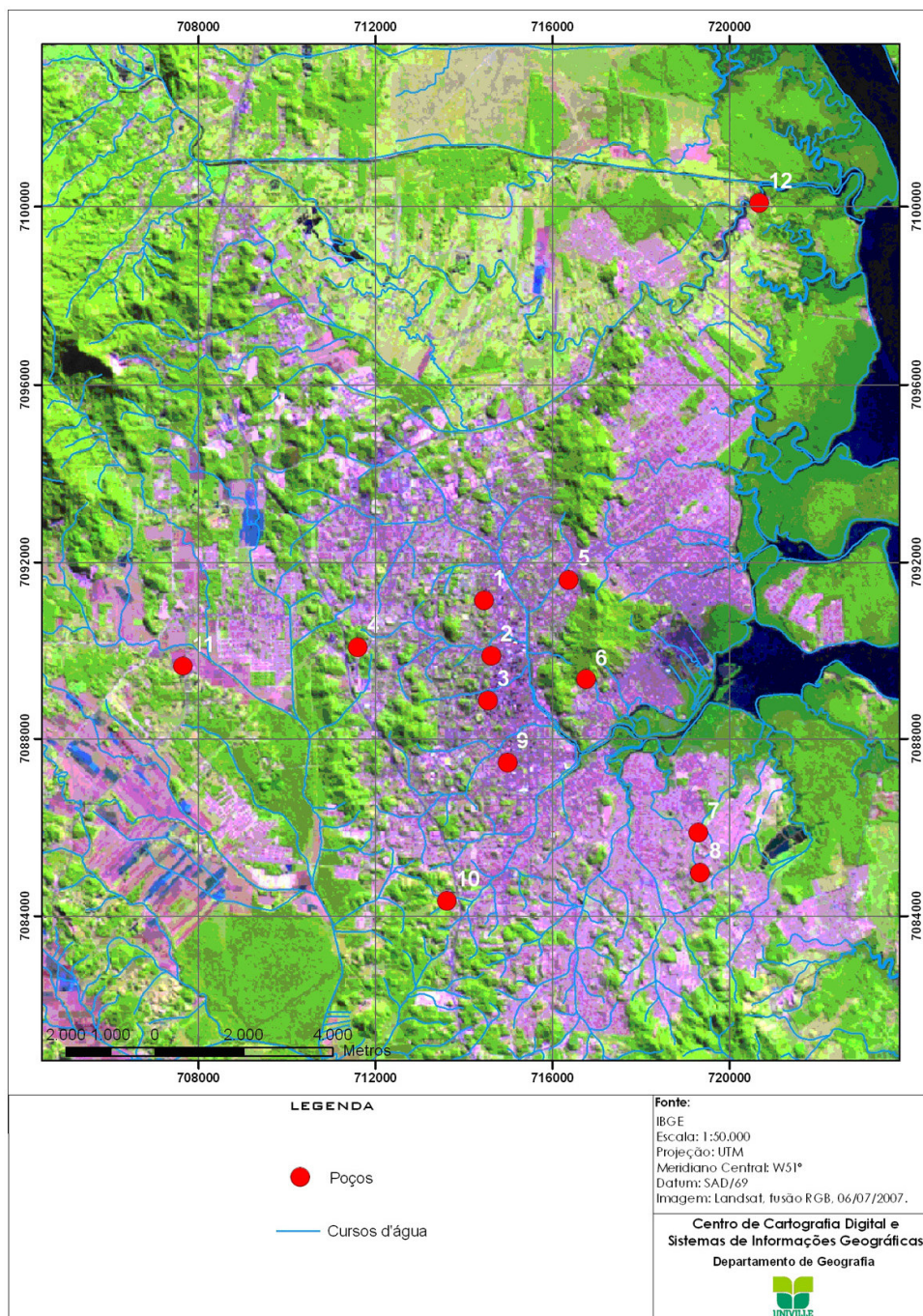


Figura 5 - Localização dos pontos de amostragem e suas respectivas numerações  
 Fonte: Centro de Cartografia Digital e Sistemas de Informações Geográficas (UNIVILLE, 2009)

A Tabela 4 relaciona o macrozoneamento do município com os pontos amostrados para a presente pesquisa.

Tabela 4 - Relação do macrozoneamento do município com os pontos amostrados

<b>Pontos</b>	<b>Zoneamento</b>
1	ZR2-B - Zona Residencial Unifamiliar em Área de Uso Restrito
2	ZR1- Zona Residencial Unifamiliar em Área de Uso e Ocupação Restrita
3	ZCE - Zona Central Expandida
4	ZCD5- Corredor Diversificado de Acesso Turístico
5	ZR1 - Zona Residencial Unifamiliar em Área de Uso e Ocupação Restrita
6	SE5 - Setor Especial de Áreas Verdes
7	ZR4A - Zona Residencial Multifamiliar em Área de Uso Restrito
8	ZR4A - Zona Residencial Multifamiliar em Área de Uso Restrito
9	ZCD1 - Corredor Diversificado de Expansão da Área Central
10	ZR3 - Zona Residencial Multifamiliar em Área de Uso e Ocupação Restrita
11	ARUC - Área Rural de Utilização Controlada
12	ARUC - Área Rural de Utilização Controlada

Fonte: Macrozoneamento do Município de Joinville (IPPUJ, out 2007); Mapa de Uso de Ocupação de Solo de Joinville (IPPUJ, 2007)

Quando se trata de poço, o tempo de uso e a profundidade de cada poço também são fatores importantes. Os dados são apresentados na Tabela 5.

As profundidades dos pontos amostrados foram divididas em três grupos. Foram chamadas de profundidade 01 as profundidades rasas, representadas no estudo por profundidades de 5 a 6 metros, contemplados por 04 dos 12 pontos amostrados, profundidade 02 as profundidades médias, representadas no estudo por profundidades de 30 a 40 metros contemplados por 03 dos 12 pontos amostrados e profundidade 03 os poços profundos, com mais de 100 metros de profundidade contemplados os pontos restantes.

Tomou-se o cuidado de verificar se a água da rede pública de abastecimento não estava misturada com a água subterrânea amostrada.

Tabela 5 – Dados dos pontos amostrados

<b>Ponto</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Profundidade</b>	<b>Tempo de Uso</b>	<b>Entorno</b>
01	22J0714489 7091180	37 metros	4 anos	Localizado próximo a postos de gasolina, uma indústria, lavação de carros e diversas residências.
02	22J0714655 7089925	33 metros	8 anos	Localizado a 300 metros de um posto de gasolina e diversas residências.
03	22J0714582 7088904	120 metros	14 anos	Localizado próximo a uma indústria de metal mecânica, lavação de carros, grandes estacionamentos de carros, fluxo intenso de carros, diversas residências e centros comerciais.
04	22J0711649 7090116	138 metros	8 anos	Localizado a 300 metros de distância de um posto de gasolina, encontram-se algumas pequenas indústrias por perto, empresas de serviço, concessionárias de carros e diversas residências.
05	22J0716398 7091639	40 metros	5 meses	Localizado a 100 metros de um posto de gasolina e de diversas residências.
06	22J0716796 7089387	6 metros	30 anos	Poço localizado no alto de um morro no meio de uma mata virgem.
07	22J0719330 7085925	5 metros	5 anos	Localizado próximo a lavação de carros e residências.
08	22J0719368 7085010	5 metros	2 anos	Localizada próximo a residências.
09	22J0715024 7087499	100 metros	6 anos	Localizado a 200 metros de distância de um posto de gasolina, residências, shopping Center e escola de grande porte.
10	22J0713661 7084382	100 metros	8 anos	Localizado próximo a BR 101 e meio a mata virgem.
11	22J0707698 7089681	170 metros	2 meses	Localizado no meio de plantações.
12	22J0720706 7100122	6 metros	5 anos	Localizado próximo de plantações, minerações, lavações e abastecimento de barcos e residências.

Durante aproximadamente 2 minutos, as torneiras ficaram abertas antes da coleta das amostras, com o objetivo de escorrer toda a água armazenada no caminho desde a captação da água subterrânea até na saída.

Os 12 locais específicos das coletas estão representados na Figura 6.



Ponto 01



Ponto 02



Ponto 03



Ponto 04



Ponto 05



Ponto 06



Figura 6 – Fotografias dos pontos de captação das amostras



### 3.1.2 Parâmetros analisados

Os parâmetros analisados foram: pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, fósforo total, DBO, temperatura, turbidez, resíduos totais e coliformes termotolerantes, explicitados no Índice de Qualidade das Águas – IQA, e que podem ou já foram encontrados nas águas subterrâneas do município. Foram eles benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos, referenciando as pesquisas da região que comprovam vazamentos nos poços de monitoramentos, principalmente em postos de gasolina e também os parâmetros ferro e manganês os quais são os metais mais comumente encontrados na região (INGLEZ, 1995).

### 3.1.3 Cuidados gerais

De acordo com a matriz amostrada (água subterrânea), com o tipo de amostragem e também com a natureza do ensaio (físico-químico e microbiológico) realizada, foram acrescentados alguns procedimentos específicos para cada parâmetro analisado. No entanto, independente dessas características, foram tomados alguns cuidados rotineiros quanto à amostragem, acondicionamento e o transporte das amostras:

- As amostras coletadas não incluíram partículas grosseiras, folhas, detritos ou outro tipo de material estranho coletado acidentalmente;
- As amostras foram coletadas em volumes para atender a demanda das análises a serem realizadas e também suficientes para uma possível reanálise;
- No caso da necessidade da utilização de agentes preservantes ou fixadores, empregaram-se reagentes de grau analítico reduzindo o risco de contaminação de substâncias interferentes;
- Teve-se o cuidado de não tocar a parte interna dos frascos e equipamentos de coleta, e ainda se evitou sua exposição ao pó, fumaça e outras impurezas que poderiam ser de grande fonte de contaminação.
- No campo, durante as coletas das amostras, foram usadas luvas de látex durante todo procedimento;

- Os parâmetros pH, temperatura e oxigênio dissolvido foram realizados *in loco*;
- Depois da coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor refrigerado com gelo, em torno de 4°C, imediatamente, até a chegada ao laboratório para os ensaios.
- No laboratório, as amostras foram aclimatizadas à temperatura ambiente para a realização dos ensaios e, posteriormente, sendo refrigeradas ou congeladas para o armazenamento;
- Todas as informações referentes à coleta de campo foram anotadas. Nesse caso foram preenchidas as planilhas contendo os dados referentes a: 1) identificação da amostra; 2) data e horário de coleta; 3) resultados dos ensaios realizados *in loco*; 4) condições meteorológicas.

### **3.1.4 Preservação e armazenamento**

Não existe um método universal de preservação de amostras de diferentes naturezas, na realidade, a completa e inequívoca preservação é impraticável, sendo impossível manter a estabilidade para cada constituinte. No entanto, o emprego de técnicas de preservação adequadas e a seleção correta de frascos de armazenamento foram utilizados para retardar as alterações químicas e biológicas que aconteceram após a abstração da amostra de seu ambiente natural.

Cada parâmetro a ser analisado possui particularidades diferentes, os tipos de frascos, quantidades da amostra, armazenamento, preservação e prazos máximos para a realização do ensaio estão apresentados na Tabela 5.

Os principais objetivos dos métodos de preservação de amostra foram retardar a ação biológica e a hidrólise dos compostos químicos e complexos e reduzir a volatilidade dos constituintes e os efeitos de adsorção. A refrigeração constitui-se a técnica mais empregada em trabalhos de campo. Embora não mantenha completa a integridade de todos os parâmetros, interfere de modo insignificante na maioria das determinações de laboratório.

Tabela 6 – Preservação e armazenamento de amostras de acordo com o tipo de análise

Parâmetro	Frasco	Amostra	Preservação	Armazenamento	Prazo
Coliformes Termotolerantes	V estéril	250mL	R	R	24hrs
pH	P	200mL	R	-----	6hrs
DBO	V	2000mL	R	-----	7 dias
Nitrogênio Amoniacal	P	500mL	H2SO4 conc. Até pH<2. R	R	24hrs
Fósforo Total	P	200mL	H2SO4 conc. Até pH<2. R	R	28 dias
Temperatura	P	250mL	Medição "in loco"	-----	Imediato
Turbidez	P	200mL	Manter ao abrigo de luz. R	R	In situ
Sólidos Totais fixos e voláteis	P	500mL	R	R	7 dias
Oxigênio Dissolvido	P, V	300mL	2mL de solução sulfato manganoso e 2mL de solução álcali iodeto-azida, R	-----	8hrs
*Benzeno	V	250mL	R	R	Imediato
*Tolueno	V	250mL	R	R	Imediato
*Xileno	V	250mL	R	R	Imediato
*Etilbenzeno	V	250mL	R	R	Imediato
Ferro	V	1000mL	HNO3 conc. Atpe pH<2. R	R	180 dias
Manganês	V	1000mL	HNO3 conc. Atpe pH<2. R	R	180 dias

Legenda: (P) – frasco de polietileno; (V) – frasco de vidro âmbar; (R) – refrigerado a 4°C

Fonte: NBR 9898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

\* Standard Methods (2005)

### 3.1.5 Condições de campo

As amostragens foram realizadas nos meses de setembro e novembro de 2008 e em janeiro de 2009. Nos meses de setembro e janeiro esperou-se uma semana sem chuva, mas já no mês de novembro não foi possível, pois o mês apresentou um elevado índice pluviométrico. Os dados meteorológicos da UNIVILLE (2009) foram apresentados no Gráfico 2 (p. 65), na Caracterização da área de estudos, mostrando a média dos dias que antecederam a coleta.

Observa-se que a coleta 1 e 2 foi realizada após período de chuva considerável, fato que pode caracterizar enorme influência nas variações dos resultados, principalmente nos poços com profundidade rasas e médias, já que a chuva aumenta a lixiviação do solo, carreando enormes quantidades de contaminantes até as águas subterrâneas.

### 3.2 Ensaio

Os parâmetros analisados bem como as metodologias empregadas encontram-se descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros analisados na água com seus respectivos Limites de Detecção do Método empregado, Unidade de Medida, Equipamento e Referência

Parâmetros	Quantificação do método	Unidade de medida	Equipamento	Método	Referência
Coliformes Termotolerantes	<1,0 a N <sup>o</sup> indeterminado	UFC/100mL	Fluxo laminar, estufa a 35°C e banho Maria a 45°.	Membrana filtrante	Standard Methods, 9000. 2005.
pH	0 - 14	Potencial Hidrogeniônico	pHmetro	Eletrométrico	SW 846 – Method 9040 C – pH electrometric measurement
DBO	5 -1000	mg/L	Estufa 20°C	Consumo de oxigênio dissolvido na degradação da matéria orgânica pela metodologia de DBO 5 dias.	NBR 12614 – Determinação da demanda bioquímica (DBO) – Método de incubação (20°C, cinco dias)
Nitrogênio Amoniacal	0,5 – 15,0	mg/L	Espectrofotômetro ANOVA 600	Espectrofotometria	MERCK. Amônio, 2003
Fósforo Total	0,010 – 5	mg/L	Espectrofotômetro UV	Espectrofotometria	EPA 365.2, US Standard Methods 4500-P E, ISO 6878/1 e EN 1189
Temperatura	0 – 50	°C	Eletrométrico	Eletrométrico	Standard Methods, 2550, 1998.
Turbidez	0,1 – 600	NTU	Turbidímetro	Turbidimetria	Standard Methods, 2130. 1998.
Sólidos Totais	0,0001 - 250000	mg/L	Estufa	Evaporação	Standard Methods, 2540D. 1998.
Oxigênio Dissolvido	<0,5 – 25	mg/L	Oxímetro	Eletrométrico	Manual do aparelho
Benzeno	*<0,005 - ...	µg/L	Cromatógrafo Gasoso	Cromatografia Gasosa - Headspace	SW 846 – Method 8015 C – Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
Tolueno	*<0,005 - ...	µg/L	Cromatógrafo Gasoso	Cromatografia Gasosa - Headspace	SW 846 – Method 8015 C – Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
Continua...					

Parâmetros	Quantificação do método	Unidade de medida	Equipamento	Método	Referência
Xileno	*<0,005 - ...	µg/L	Cromatógrafo Gasoso	Cromatografia Gasosa - Headspace	SW 846 – Method 8015 C – Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
Etilbenzeno	*<0,005 - ...	µg/L	Cromatógrafo Gasoso	Cromatografia Gasosa - Headspace	SW 846 – Method 8015 C – Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
Ferro	0,06 – 3200	mg/L	Espectro de Absorção Atômica	Espectrofotometria por Absorção Atômica	Standard Methods, 3111. 2005.
Manganês	0,02 – 14000	mg/L	Espectro de Absorção Atômica	Espectrofotometria por Absorção Atômica	Standard Methods, 3111. 2005.

Legenda: (UFC) Unidade Formadora de colônia; (UNT) Unidade Nefelométrica de Turbidez; (...) número indeterminado.

Fonte: Análise material coletado Ghanen (2009)

As amostragens e os ensaios (Figura 7) foram realizados pela pesquisadora no Instituto de Pesquisas – IP, laboratório particular localizado no município de Joinville.



Figura 7 - Realização dos ensaios

### 3.3 Análise dos Resultados

A análise dos resultados foi feita calculando-se o IQA dos pontos amostrados. E os resultados foram confrontados com a Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008 do Ministério do Meio Ambiente, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras

providências. Os parâmetros que não apresentaram seus respectivos valores de referência, assim como oxigênio dissolvido, DBO, fósforo total e nitrogênio amoniacal, foram confrontados com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 do Ministério do Meio Ambiente. Essa resolução dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. Os valores de referência retirados da Resolução CONAMA nº 357 foram os destinados às águas doces classe 1 a qual contempla os seguintes itens:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.

Os resultados das análises foram tabulados com o auxílio do *Software Minitab 14* da *Minitab Inc.* versão 14.20. Foram criados gráficos que estão no corpo deste estudo, e os resultados podem ser visualizados no Apêndice B, relacionados à variação espacial e temporal com os parâmetros que sofreram variações consideráveis e eles foram relacionados à profundidade dos poços amostrados, sua localização e o índice pluviométrico. Valores menores que o limite de quantificação do método foram considerados como 0,0 para serem plotados nos gráficos.

A fim de facilitar a visualização dos resultados fora dos valores referenciais, colocou-se linhas nos gráficos, indicando-os.

O Índice de Qualidade de Água foi calculado de acordo com a Tabela 2, apresentada na revisão bibliográfica, como também o valor do IQA foi calculado utilizando-se o valor de nitrogênio amoniacal, conforme o cálculo original do índice anteriormente citado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas com os resultados dos parâmetros analisados das 03 amostragens em cada ponto e os valores para os cálculos do IQA estão apresentados no apêndice A. No anexo estão as curvas médias de variação de qualidade das águas dos nove parâmetros utilizados no IQA, os quais auxiliam o cálculo dos valores da cada parâmetro.

Os resultados do IQA calculados por meio dos sub-índices de qualidade e dos seus respectivos pesos estão apresentados no Gráfico 3, no qual pode se observar a variação da qualidade da água dos pontos amostrados.

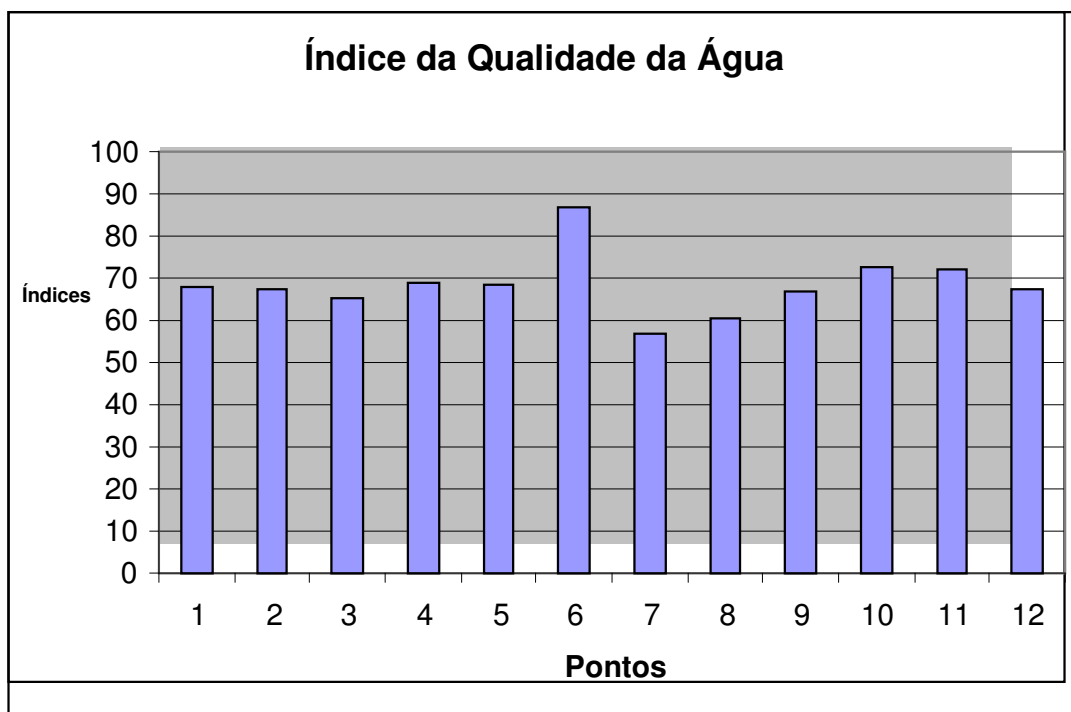


Gráfico 3 - Gráfico do Índice de Qualidade da Água nos doze pontos amostrados

Observando-se os resultados apresentados no Gráfico 3, verifica-se que apenas o ponto 6 é considerado uma água bruta de ótima qualidade. Esse ponto, de acordo com valores demonstrados no apêndice A, apresentou um IQA de 86,77. Já os índices dos demais pontos são classificados como de boa qualidade comparando-se os seus respectivos índices de qualidade de água com a tabela 4.

Esses dados chamam a atenção para os cuidados que devem ser tomados

com as águas subterrâneas no município, pois mesmo com o IQA variando de bom a ótimo as amostras analisadas durante o período da pesquisa mostraram que 75% apresentaram algum tipo de contaminação, conforme discussão dos parâmetros analisados numa variação espacial e temporal, apresentadas nas figuras de 8 a 18.

#### 4.1 Coliformes Termotolerantes

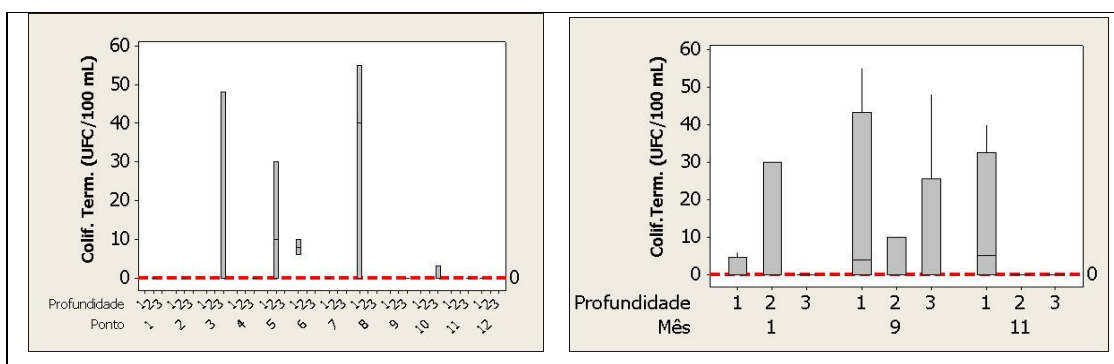


Figura 8 - Variação espacial e temporal do parâmetro coliformes termotolerantes

Os resultados obtidos com relação aos coliformes termotolerantes nos poços amostrados, representados na Figura 8, chamam a atenção para os pontos 3, 5 e 8 os quais apresentaram as maiores variações de contaminação, sendo que os três possuem diferentes profundidades e ainda considerando que o ponto 03 apresenta-se dentro da área de cobertura da coleta de esgoto.

Já na avaliação temporal as maiores variações ficaram por conta da coleta 1, mês esse que o índice pluviométrico apresentou um valor mediano comparado aos demais meses, de acordo com o Gráfico 2, evidenciando assim que o maior ou o menor índice pluviométrico não interferiu para tal parâmetro.

A determinação da concentração dos coliformes termotolerantes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças intestinais gravíssimas nos seres humanos (MACEDO, 2002). Devido à gravidade desse parâmetro, a Resolução CONAMA nº 396/08 do Ministério do Meio Ambiente proíbe qualquer concentração desses microorganismos em todos os tipos de uso e classe das águas e exige a desinfecção das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano, as quais devem ser cloradas antes da sua distribuição e consumo.



A poluição fecal introduz na água muitos organismos patogênicos intestinais como bactérias, vírus e parasitas que podem ser a origem de doenças como gastroenterites benignas, salmoneloses, febre tifóide, cólera, hepatite, erupções cutâneas, amebíase, disenterias entre outras doenças e sintomas, como já citado.

A contaminação encontrada nesses pontos pode ser oriunda de rios contaminados e/ou fossa e filtro ou tubulações de esgoto com vazamentos, entre outros. Os coliformes termotolerantes também podem ser encontrados em solo e plantas.

Já nos poços profundos a contaminação encontrada pode ser oriunda da contaminação do aquífero fraturado ou do poço estar mal construído ou por infiltração nas rochas.

Salienta-se que se faz necessária em todos os casos de contaminação uma maior investigação para determinar sua origem específica.

#### 4.2 DBO

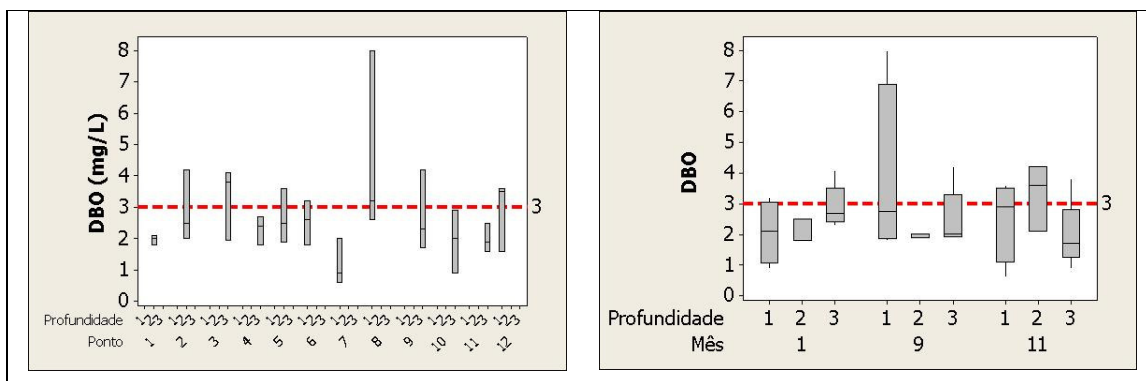


Figura 9 - Variação espacial e temporal do parâmetro DBO

Na figura 9 pode-se observar numa avaliação espacial e temporal que 7 dos pontos analisados apresentaram o teor de DBO acima dos valores máximos permitidos para rios de Classe I segundo a Resolução CONAMA nº 357/05 do Ministério do Meio Ambiente. É possível que isso se deva ao baixo percentual de esgoto tratado na maioria das regiões amostradas, como evidenciado na Figura 4.

De acordo com a Figura 9, o ponto 08, ponto de maior concentração e variação do teor de DBO, além de ser um poço raso, ou seja, mais vulnerável à infiltração de contaminantes, também tem sua localização em uma região altamente

habitada por residências e sem nenhuma rede coletora, nem tratamento de esgotos sanitários.

A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e produzir sabores e odores desagradáveis.

#### 4.3 Fósforo Total

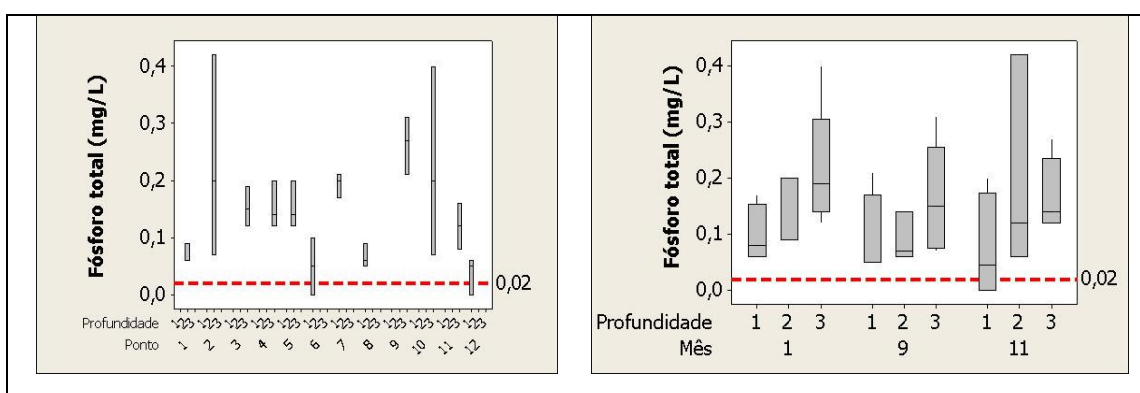


Figura 10 - Variação espacial e temporal do parâmetro Fósforo Total

Na Figura 10 é possível verificar que o elemento fósforo sofreu grandes variações tanto espacial como temporal, mostrando ser um parâmetro bastante presente nas águas subterrâneas de Joinville.

A Resolução n° 357, estabelece 0,020 mg/L para ambiente lântico: ambiente que se refere à água parada, com movimento lento ou estagnado, como se considera água subterrânea. Todos os pontos amostrados apresentaram um valor considerável de fósforo, maiores até que 0,1 mg/L.

De acordo com Macedo (2002) o fósforo, diferentemente do nitrogênio, não ocorre isolado na natureza, a maior parte é encontrada em depósitos de rochas de fosfato, apatita e compostos semelhantes contendo fosfato de cálcio.

Suas principais fontes são: dissolução de compostos do solo, decomposição da matéria orgânica, esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes e excrementos de animais. Quanto maior o valor de fósforo, mais “alterado” pode estar o local, um valor de fósforo alto é preocupante devido à dificuldade de remoção desse elemento (MOTA, 1997).

Os pontos 02 e 10 foram os que sofreram maiores variações, lembrando que o ponto 02 é de média profundidade e está situado na área de cobertura da coleta de esgoto. O ponto 10 é um poço profundo, localizado próximo à BR 101, e que merece uma investigação mais aprofundada, incluindo as características do solo.

Com a presença de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio em águas, há um crescimento excessivo de algas, toxicidade aos peixes e pode causar doenças em recém-nascidos.

#### 4.4 Nitrogênio Amoniacal

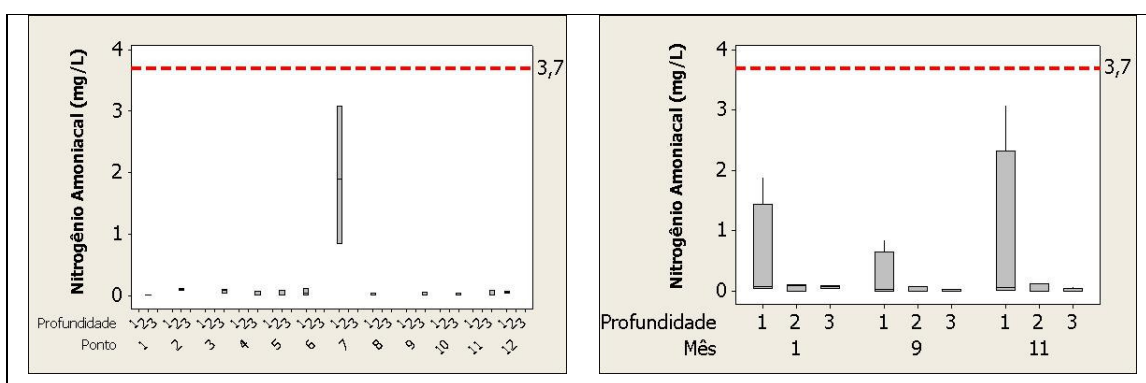


Figura 11 - Variação espacial e temporal do parâmetro Nitrogênio Amoniacal

Observando-se a Figura 11, referente à avaliação espacial e temporal da concentração do nitrogênio amoniacal, verifica-se que as maiores variações ocorreram no ponto 07 que é um ponto de profundidade rasa, mas sua variação está abaixo do valor máximo permitido estabelecido pela Resolução CONAMA n. 357.

A amônia ou nitrogênio amoniacal pode ser um constituinte natural de águas superficiais ou subterrâneas, resultado da decomposição da matéria orgânica. Todavia, altos níveis são usualmente indicadores de poluição de origem doméstica ou industrial (BATALHA E PARLATORRE, 1998).

Na Resolução CONAMA n. 357, do Ministério do Meio Ambiente, para recursos hídricos de Classe 1, o nitrogênio amoniacal apresenta valores de referência estabelecidos pela concentração do pH. Conforme demonstrado na Figura 11, todos os pontos amostrados apresentaram pH  $\leq 7,5$ , portanto, para Classe 1 o valor de referência do nitrogênio amoniacal é de 3,7 mg/L.

Macedo (2002) cita que o nitrogênio amoniacal é uma substância não persistente e não cumulativa e que sua presença indica uma poluição recente por esgoto. É uma substância tóxica, mas as concentrações encontradas nas amostras são baixas e não causam nenhum dano fisiológico aos seres humanos e animais. É interessante salientar-se que grandes quantidades de amônia podem causar sufocamento de peixes.

#### 4.5 Oxigênio Dissolvido

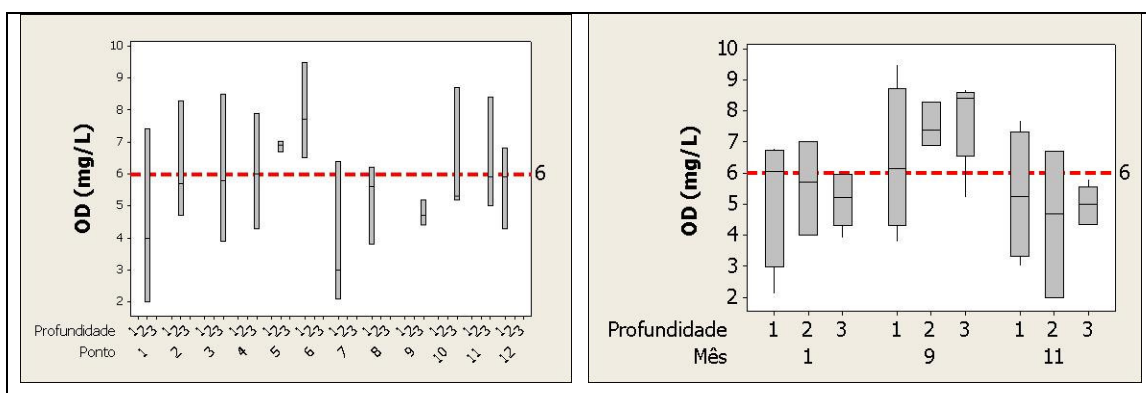


Figura 12 - Variação espacial e temporal do parâmetro Oxigênio Dissolvido

A Figura 12 demonstra a avaliação espacial e temporal do oxigênio dissolvido. Segundo a Resolução CONAMA n° 357, o valor de oxigênio dissolvido deve ficar acima de 6,0 mg/L para água de Classe 1. Apenas as variações dos pontos 05 e 06 ficaram acima do valor estabelecido, sendo poços de profundidade média e rasa, respectivamente. Os poços profundos também foram os que sofreram menores variações e apresentaram os maiores valores desse parâmetro.

Segundo Macedo (2002) o oxigênio dissolvido é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais ou os reatores para tratamento biológico de esgotos.

A água, em condições normais, de acordo com Mota (1997) contém oxigênio dissolvido, cujo teor de saturação depende da altitude e da temperatura; águas com baixos teores de oxigênio dissolvido indicam que receberam matéria orgânica, como pode ter sido o caso do ponto 08, com um baixo oxigênio dissolvido e um alto teor DBO.

A decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbicas é, geralmente, acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio da água, dependendo da capacidade de alta depuração do manancial, o teor de oxigênio dissolvido pode alcançar valores muito baixos, ou zero, extinguindo-se os organismos aquáticos aeróbios (MOTA, 1997).

#### 4.6 pH

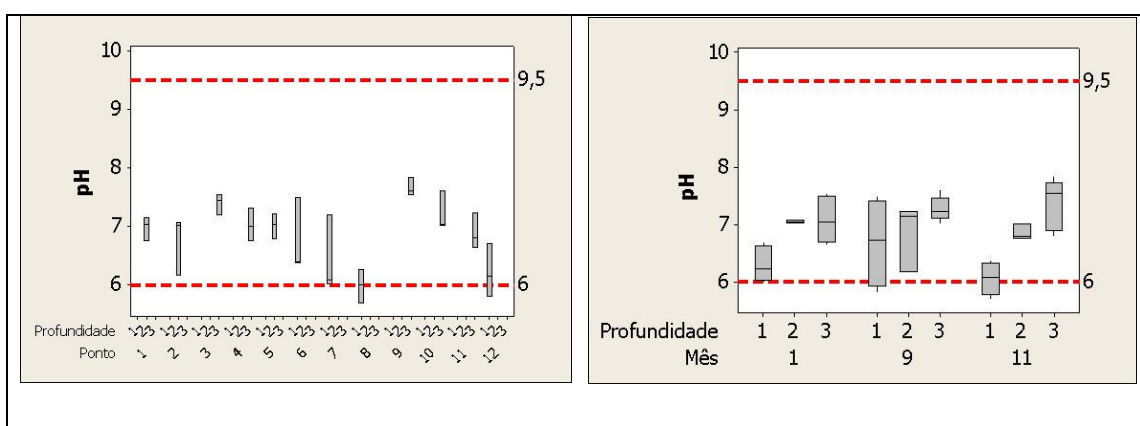


Figura 13 - Variação espacial e temporal do parâmetro pH

A partir das informações da Figura 13, pode-se observar na avaliação espacial e temporal que as maiores variações ocorreram nos poços rasos e principalmente nas coletas dos meses de setembro e novembro. Os pontos 08 e 12, poços com profundidade rasa, apresentaram valores de pH menores que os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/08.

Segundo o macrozoneamento o ponto 12 encontra-se numa área rural de utilização controlada, e próximo a ele existem plantações, minerações, lavações e abastecimento de barcos e residências, circunstâncias tais que podem ser o fator para a diminuição do pH. Já o ponto 08 apresenta-se numa região residencial.

Macedo (2002) relata que as águas ácidas são corrosivas, ao passo que as alcalinas são incrustantes e que se determinadas condições de pH contribuírem para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados e outras condições, podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes e metais. Por isso o pH da água final deve ser controlado, para que os carbonatos presentes sejam equilibrados e não ocorra nenhum dos dois efeitos indesejados mencionados.

#### 4.7 Resíduo Total

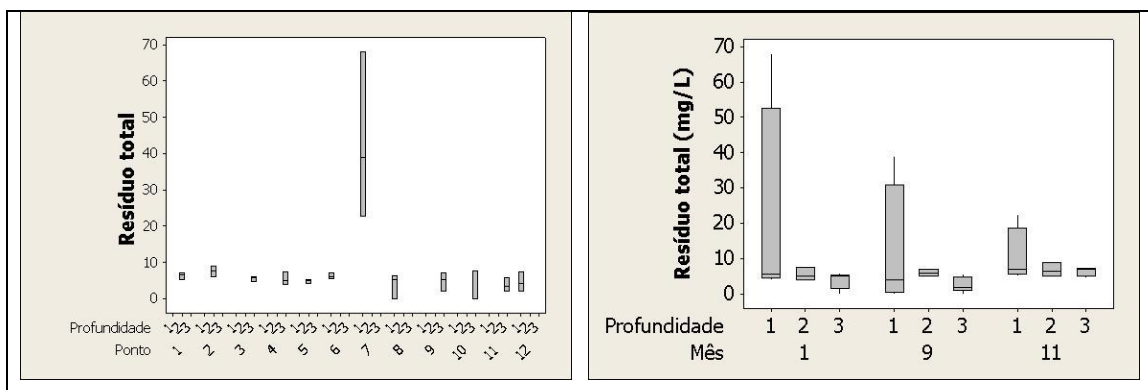


Figura 14 - Variação espacial e temporal do parâmetro Resíduo Total

De acordo com a Figura 14, fica evidente que a maior variação espacial e temporal para o parâmetro resíduos totais ocorreu principalmente no ponto 07, o qual sofre influência direta das infiltrações, uma vez que é um poço raso, ressaltando-se que esse resultado ocorreu nas 3 coletas. O ponto 07 está localizado numa rua de barro, próximo a lavação de carros e de residências, e apresenta-se fora da área de cobertura da rede de coleta de esgoto.

É importante observar que, segundo Macedo (2002), todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos corpos d' água.

Mota (1997) cita que as principais fontes de resíduos totais da água são a erosão do solo, os esgotos domésticos, os esgotos industriais, o lixo e a mineração. Suas principais conseqüências são o assoreamento de recursos hídricos, a diminuição de vazões de escoamento e de volumes de armazenamento, inundações, aumento da turbidez da água, redução da transparência da água e redução de oxigênio dissolvido, problemas de saúde pública, entre outras conseqüências.

## 4.8 Temperatura

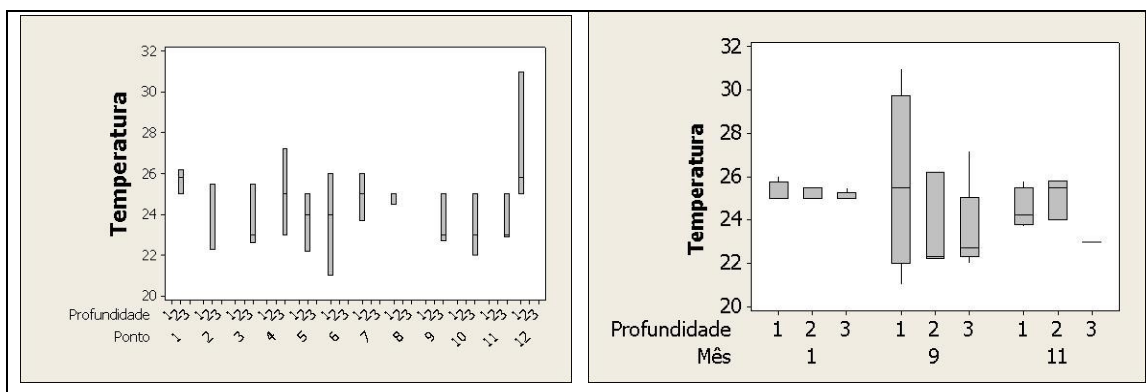


Figura 15 - Variação espacial e temporal do parâmetro Temperatura

Analisando as variações espacial e temporal temperatura expostas na Figura 15, percebe-se que a coleta 1 foi a que apresentou as temperaturas mais amenas, mas também a que apresentou a maior variação. O ponto 12 foi o que apresentou as maiores temperaturas nas três coletas.

Os poços rasos são os que sofrem mais variações de temperatura o que pode se justificar pela maior influência do meio externo. Macedo (2002) relata sobre o parâmetro em questão que as águas subterrâneas têm uma amplitude térmica pequena, isso é, sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica. Exceções são os aquíferos freáticos pouco profundos. Em profundidades maiores, a temperatura da água é influenciada pelo grau geotérmico local (em média 1°C a cada 30m). Ele também relata que a temperatura influencia processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e também outros processos, tais como a solubilidade dos gases dissolvidos.

Segundo Mota (1997), a elevação da temperatura pode acontecer, por meio de águas de resfriamento e de despejos industriais, tendo com conseqüência o aumento das reações químicas e biológicas, podendo ocorrer a elevação da ação tóxica de alguns elementos e compostos químicos.

## 4.9 Turbidez

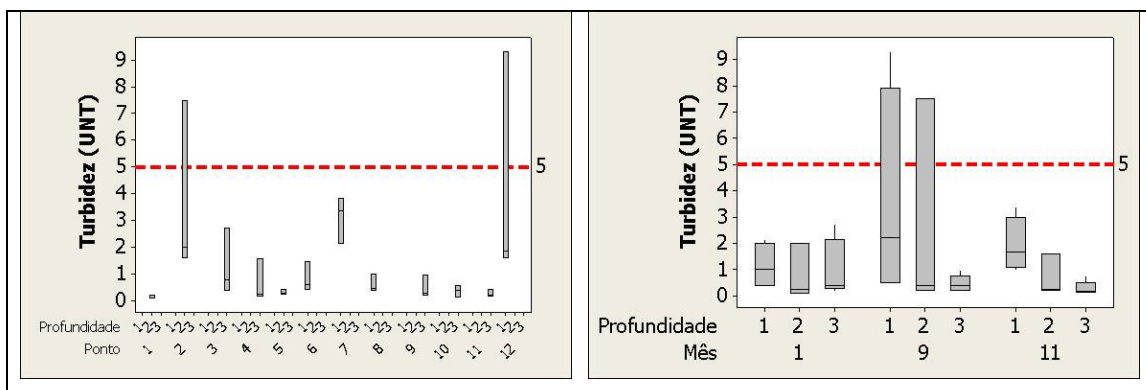


Figura 16 - Variação espacial e temporal do parâmetro Turbidez

Na avaliação espacial e temporal do parâmetro de turbidez, representada na Figura 16, podem ser analisadas apenas duas grandes variações do parâmetro, se comparado com a Resolução CONAMA nº 396/08 nos pontos 02 e 12, com profundidade média e rasa respectivamente e principalmente na coleta 1.

Segundo o macrozoneamento do município de Joinville, o ponto 2 está localizado numa zona residencial, localizado a 300 metros de um posto de gasolina e diversas residências. Já o ponto 12 encontra-se numa área rural, no qual existem plantações, minerações, lavações, abastecimento de barcos e residências, localizado a menos de 10 metros de um rio (o que leva a crer que há forte influência de maré), circunstâncias tais que podem influenciar a elevação da turbidez.

De acordo com uma pesquisa realizada no município de Joinville por Vaz (2007), o índice de turbidez em águas subterrâneas possui uma grande correlação (70,5%) com o índice pluviométrico. A chuva tende a carrear matérias sólidas em suspensão como partículas constituídas por plâncton, bactérias, argilas, silte em suspensão e outros, as quais, segundo Macedo (2002) são também responsáveis pelo aumento da turbidez.



## 4.10 Ferro

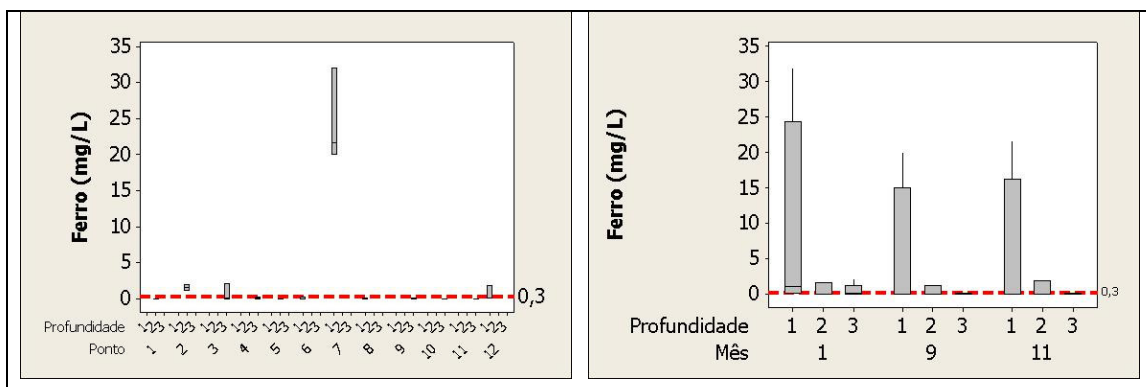


Figura 17 - Variação espacial e temporal do parâmetro de Ferro

De acordo com a figura 17, as avaliações espaciais e temporais do parâmetro Ferro, demonstram que as maiores variações ocorrem nos poços rasos e a maior delas ocorreu na coleta 3 (mês 1). O ponto 07, um poço raso, apresentou as maiores concentrações de ferro e também as maiores variações, podendo esse valor elevado ser atribuído às características do solo do município de Joinville, sendo necessária uma maior investigação para determinar sua origem específica. Importante ressaltar que 75% dos pontos amostrados apresentaram alguma concentração de ferro.

Segundo a Resolução CONAMA nº 396/08, o valor máximo permitido para Ferro é de 0,3 mg/L, chegando a aparecer 05 pontos (pontos 04, 05, 06, 08 e 09) que apresentaram concentrações de ferro, mas com valores abaixo dos valores máximos permitidos. Entretanto, seu controle é recomendado, pois o ferro é um elemento cumulativo nos organismos. Já nos pontos 02, 03, 07 e 12, os quais apresentaram valores elevados de ferro, seu controle é obrigatório e para qualquer uso da água em questão, deve-se ter um sistema de tratamento para sua remoção.

O valor máximo permitido do ferro é estabelecido em função de problemas estéticos, aparecimento de uma cor acastanhada esteticamente pouco agradável relacionados à presença do ferro na água, do gosto metálico que o ferro lhe confere e o risco de corrosão das canalizações devido ao desenvolvimento de microrganismos (ferrobactérias) (MACEDO, 2002).

Esse autor esclarece ainda que o ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água. Relata

que o ferro, assim como o manganês, ao se oxidarem se precipitam sobre as louças sanitárias, azulejos, roupas, manchando-as.

O excesso de ferro na água pode causar danos à saúde. O risco de desenvolver colite ulcerosa ou doença de Crohn está associado a níveis excessivos de ferro na água que se consome, revela um estudo norueguês publicado no *American Journal of Epidemiology*. O excesso de ferro pode ainda atuar como fator para o aumento de doenças crônicas, como câncer, diabetes e doenças cardiovasculares, alerta a pesquisadora Juliana Frossard Ribeiro Mendes, autora de um estudo realizado na UNB (VASCONCELOS, 2008).

#### 4.11 Manganês

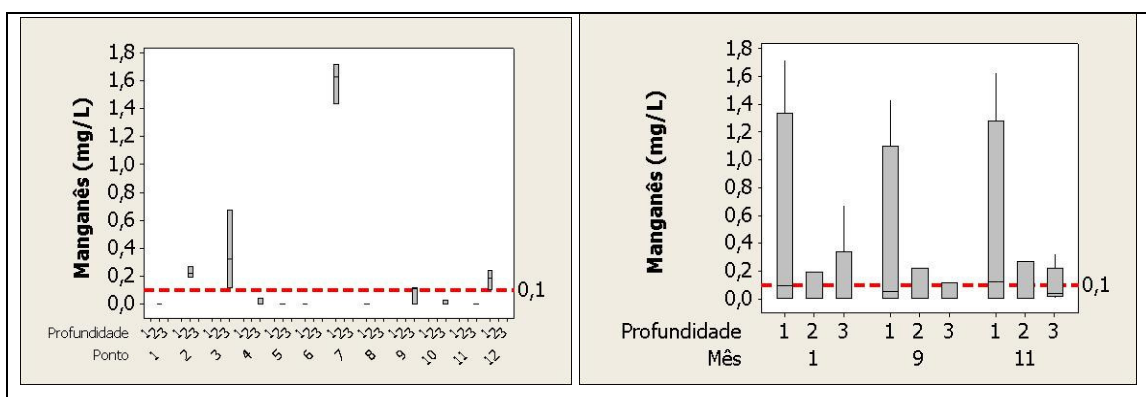


Figura 18 - Variação espacial e temporal do parâmetro de Manganês

Considerando as avaliações espaciais e temporais da concentração de manganês, conforme Figura 18, verifica-se que as maiores concentrações ocorridas foram em um poço raso, o ponto 07 em todas as coletas. O ponto 03 apresenta a maior variação encontrada, e é um poço profundo. Esses aspectos levam à percepção de que a elevação da concentração do manganês pode se dar nas mais diferentes formas. A concentração do parâmetro analisado encontrada no poço 07 pode ter como origem uma contaminação, principalmente por se tratar de um poço localizado a menos de 50 metros de uma indústria do setor de metalmeccânica, ou ser um passivo ambiental. Já o ponto 03 é poço profundo, podendo esses valores elevados serem atribuídos às características do solo do município de Joinville, fazendo-se necessária uma investigação mais profunda para determinar sua origem

específica. Segundo a Resolução CONAMA nº 396/08, o valor máximo permitido para manganês é de 0,1 mg/L, chegando a aparecer concentração em 06 pontos, sendo eles 02, 03, 04, 07, 09 e 12.

Macedo (2002) relata que o manganês é muito usado na indústria do aço, na fabricação de ligas metálicas e baterias e na indústria química em tintas, vernizes, fogos de artifícios e fertilizantes, entre outros. Seu comportamento nas águas é muito semelhante ao do ferro em seus aspectos, sendo que a sua ocorrência é mais rara. Mesmo sua presença sendo rara, neste estudo percebeu-se a presença em cerca de 50% dos pontos, o que se pode suspeitar de sua presença no solo do município de Joinville. O autor ainda cita que exposições prolongadas de manganês, inalada ou oral, podem provocar efeitos adversos no sistema nervoso, respiratório e outros. O manganês pode estar presente nas águas subterrâneas devido a contaminações, mas é um elemento muito encontrado em diversos minerais.

#### 4.12 BTEX (Benzeno, Tolueno, Etil Benzeno e Xilenos)

Nos pontos analisados não foi identificado contaminação de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos). Conforme relata Larine (1997) estudos realizados revelaram a completa mineralização dos compostos de BTEX sob várias condições anaeróbicas. Tipicamente, na ausência de oxigênio, os seguintes aceptores de elétrons podem contribuir para degradação dos hidrocarbonetos aromáticos: nitrato, manganês, ferro e sulfato. Esse fato pode ter sido responsável pela ausência de concentrações de BTEX relatada neste estudo.

#### 4.13 Caracterização Espacial

##### - Ponto 01

Localização:	Zona Residencial;
Profundidade:	37 metros;
IQA:	67,72;
Observações:	Além do ensaio de fósforo, todos os demais ensaios apresentaram-se de acordo com as legislações pertinentes.

## - Ponto 02

Localização:	Zona Residencial;
Profundidade:	33 metros;
IQA:	67,41;
Observações:	Apresentou alta variação de fósforo, valores elevados de DBO e valores baixos de oxigênio dissolvido. Apresentou valores altos de ferro, manganês e turbidez.

## - Ponto 03

Localização:	Zona Central;
Profundidade:	120 metros;
IQA:	65,33;
Observações:	Apresentou Coliformes Termotolerantes, valores elevados de DBO e valores baixos de oxigênio dissolvido. Apresentou também valores de ferro e manganês.

## - Ponto 04

Localização:	Corredor Diversificado de Acesso Turístico;
Profundidade:	138 metros;
IQA:	68,93;
Observações:	Apresentou Ferro, Manganês e reduzido valor de oxigênio dissolvido.

## - Ponto 05

Localização:	Zona Residencial;
Profundidade:	40 metros;
IQA:	68,27;
Observações:	Apresentou Coliformes Termotolerantes, mas mantêm um oxigênio dissolvido ótimo. Chegou a aparecer concentração de ferro, mas abaixo do valor máximo permitido.

## - Ponto 06

Localização:	Setor Especial de Área Verde;
Profundidade:	06 metros;
IQA:	86,77;
Observações:	Mesmo apresentando o maior valor de IQA, apresentou Coliformes Termotolerantes, mas mantêm um oxigênio dissolvido ótimo. Já o DBO apresentou um valor elevado. Chegou a aparecer concentração de ferro, mas abaixo do valor máximo permitido.

## - Ponto 07

Localização:	Zona Residencial;
Profundidade:	05 metros;
IQA:	57,08;
Observações:	Apresentou as maiores variações nos parâmetros analisados: elevada turbidez, alta concentração de ferro e manganês, resíduos totais, fósforo, nitrogênio amoniacal e baixos valores de oxigênio dissolvido.

## - Ponto 08

Localização:	Zona Residencial;
Profundidade:	05 metros;
IQA:	60,66;
Observações:	Típico caso de processo anaeróbico, sendo considerado como água poluída por apresentar alto valor de DBO, alto índice de coliformes termotolerantes e pouco oxigênio dissolvido e um pH levemente ácido.

## - Ponto 09

Localização:	Corredor Diversificado de Expansão da Área Central;
Profundidade:	100 metros;
IQA:	67,02;
Observações:	Elevado teor de fósforo; alto valor de DBO; baixa concentração de oxigênio dissolvido e variações na presença dos metais analisados.

## - Ponto 10

Localização:	Zona Residencial;
Profundidade:	100 metros;
IQA:	72,41;
Observações:	Apresentou apenas elevado teor de fósforo.

## - Ponto 11

Localização:	Zona Rural;
Profundidade:	170 metros;
IQA:	72,12;
Observações:	Chegou a aparecer concentração de ferro, mas abaixo do valor máximo permitido.

## - Ponto 12

Localização:	Zona Rural;
Profundidade:	6 metros;
IQA:	67,11;
Observações:	Apresentou as maiores temperaturas (elevação da ação tóxica de alguns elementos e compostos químicos); apresentou alterações no teor de DBO; ferro e manganês, baixo oxigênio dissolvido; elevada turbidez; baixo pH; sendo este um poço com alta probabilidade de influencia da maré.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa, com o objetivo de avaliar a qualidade da água subterrânea em Joinville, Santa Catarina e seus potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente, utilizou o cálculo do IQA e da análise de compostos orgânicos e inorgânicos de 12 pontos em diferentes regiões no município de Joinville (SC). Considerou, para esse fim, as concentrações das substâncias com o uso e ocupação do solo e a profundidade dos poços.

Apesar de serem verificadas contaminações por bactérias, metais, nutrientes entre outros em 75% dos pontos amostrados, os índices de qualidade das águas – IQA - apresentaram resultados satisfatórios.

Os valores de IQA não mostraram grandes diferenças significativas, pois de uma forma geral, os pontos amostrados apresentaram a água subterrânea analisada como de boa qualidade.

O ponto que mais se destacou foi o ponto 06, o único a apresentar-se como de qualidade ótima. Trata-se de um poço existente há 30 anos, localizado no alto do morro em meio a uma mata fechada e é considerado como um poço raso. Esse aspecto contraria afirmações que águas subterrâneas oriundas de poços profundos apresentam-se sempre em melhores condições.

Outro ponto em destaque foi o ponto 07, o qual também é um poço raso, localizado numa rua não impermeabilizada, em local urbanizado. Mesmo sendo considerado como de boa qualidade, apresentou o pior resultado do índice de qualidade da água, chamando atenção para a necessidade da realização de estudos mais aprofundados.

A contaminação da água envolve e interliga questões de saúde humana e meio ambiente, pois um meio contaminado causa danos à população e impactos aos ecossistemas, que associados a fatores e condições ambientais potencialmente perigosos podem gerar doenças ou morte ao homem e a outras espécies, além de outros impactos de igual importância.

Vale ressaltar que a coleta, o tratamento e a disposição ambientalmente adequada do esgoto sanitário são fundamentais para a melhoria do quadro de saúde da população de um município. Segundo Passeto (2006) para cada R\$ 1,00 investido no setor de saneamento economiza-se R\$ 4,00 na área de medicina

curativa.

O princípio do crescimento sustentável está, hoje, presente em todas as políticas ambientais, desde os níveis locais até o nível global, traduzindo-se pela expressão pensar globalmente e agir localmente. É interessante a implantação de programas de informações e conscientização dos consumidores de água subterrânea para a importância de periodicamente atestar a sua qualidade, uma melhor fiscalização e prevenção das fontes poluentes para minimizar os impactos ambientais, custos de recuperação de áreas contaminadas e reduzir gastos com a saúde pública.

São registrados no Brasil níveis de contaminação há mais de trinta anos, daí a importância da realização de estudos, gerenciamento e monitoramento desses locais, pois a água subterrânea normalmente é vista como água de melhor qualidade e que nunca necessitam de tratamento. Essa situação oferece maior risco às populações, evidenciado neste estudo que avaliou 12 pontos abastecidos exclusivamente por água subterrânea e identificou em 09 deles algum tipo de contaminação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Luiz Augusto do; ROSSI JUNIOR, Oswaldo Durival; NADER FILHO, Antonio. Avaliação da qualidade higiênico-sanitária da água de poços rasos localizados em uma área urbana: utilização de colifagos em comparação com indicadores bacterianos de poluição fecal. **Revista Saúde Pública** [online]. V. 28, nº 5, 1994.

BABBITT, M. S.; DOLAND, J.J.; CLEASBY, J.L. **Abastecimento de água**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

BAGGIO, S. B. **Água subterrânea em Joinville - SC**. Avaliação Hidrológica do Aquífero Fraturado. Dissertação de Mestrado. 1997. São Paulo. Universidade de São Paulo Instituto de Geociências.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BASSOI, L. J.; GUAZELLI, R. M. Controle ambiental da água In: PHILIPPI Jr, A.; ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C.; **Curso de gestão ambiental**. Barueri: Manole, 2004.

BATALHA, B. I.; PARLATORRE, A. C. **Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais**. São Paulo: CETESB, 1998.

BRASIL. **ANA** - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em <http://www.ana.gov.br>. Acesso em 15/08/2009.

\_\_\_\_\_. **ANP** - AGENCIA NACIONAL DE PETROLEO. Disponível em <http://www.anp.gov.br>. Acesso em 01/04/2009.

\_\_\_\_\_. **ABNT** - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9897, 9898, 11263, 11260, 11267, 12614**.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518**, de 25 mar. 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em <http://www.saude.gov.br>. Acesso em 15/06/2009.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente - Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - **CONAMA 396/2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente - Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - **CONAMA 357/2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **CONAMA 274/2000**, de 29 de novembro de



2000. Disponível em [http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/praias/res\\_conama\\_274\\_00.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/praias/res_conama_274_00.pdf). Acesso em 10/06/2009.

\_\_\_\_\_. PROGRAMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE II - PNMA. Disponível em <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/pnma2/qualidade-agua>. Acesso em 15/01/2009.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2007. Disponível em [http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice\\_iap\\_iqa.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp). Acesso em 01/04/2009.

\_\_\_\_\_. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 1998 – 2000**. Disponível em [http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/agua\\_geral.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/agua_geral.asp). Acesso em 15/06/2009.

\_\_\_\_\_. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. Vol. 1. São Paulo, 1997.

**COMITÊ DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUBATÃO DO NORTE**. Disponível em <http://www.cubataojoinville.org.br>. Acesso em 15/06/2009.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. Contaminação de água subterrânea por derramamento de gasolina: o problema é grave? **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 50-54, 1997.

CORSON, Walter H. **Manual global de Ecologia**. 2 ed. São Paulo: Augustus, 1996.

COSTA, C. T.; CASTRO, M. A. H. **Estudo de caso do fluxo hídrico e contaminação da água subterrânea por derivados de petróleo na região do Porto de Mucuripe** – Fortaleza/CE. Salvador, 2005.

DEOUX, P.; DEOUX, S. **Ecologia é a saúde: O impacto da deteriorização do ambiente na saúde**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

FERNANDES, Ideval Pires; LOPES, Nayara Martins da Silva; SANTOS, Thiago Martins. Análise dos processos de uma estação de tratamento de água (ETA): Um estudo de caso. **Revista Ingepro**. s/d. Disponível em [www.biblioteca.planejamento.gov.br/.../at\\_managed\\_file.2009-09-18.7032126854/](http://www.biblioteca.planejamento.gov.br/.../at_managed_file.2009-09-18.7032126854/). Acesso em 17/08/2009.

FOSTER, Stephen S.D., HIRATA, Ricardo César, ROCHA, Gerônimo Albuquerque. Riscos de poluição de águas subterrâneas; uma proposta de avaliação regional. **CEPIS**, 2002. Disponível em <http://www.cepis.org.pe/muwww/fulltext/repind46/riscos/riscos.html>. Acesso em 20/08/2009.

FREITAS, Marcelo Bessa de; BRILHANTE, Ogenis Magno; ALMEIDA, Liz Maria de. The importance of water testing for public health in two regions in Rio de Janeiro: a focus on fecal coliforms, nitrates, and aluminum. **Cad. Saúde Pública** [online]. 2001, vol. 17, n. 3.

GIESEL, S. **Avaliação da água subterrânea na cidade de Joinville e seus possíveis impactos na saúde pública**. Joinville: UNIVILLE, 2007.

GONÇALVES, M. L.; KAUL, P. F. T. **Evolução geológica**. In: Joachim L. W. Knie. (Org.). Atlas Ambiental da Região de Joinville: Complexo Hídrico da Baía da Babitonga. Florianópolis: FATMA/GTZ, v. 1, p. 05-08, 2002.

GONÇALVES, M. L. **Geologia para Planejamento de Uso e Ocupação Territorial do Município de Joinville**. Tese de Doutorado. 1993. São Paulo. Universidade de São Paulo Instituto de Geociências.

**GREENPEACE BRASIL**. 2002. Disponível em <http://www.greenpeace.org/brasil>. Acesso em 01/09/2008.

INGLEZ, A. G. **Avaliação dos riscos potenciais de vazamentos e impactos ambientais em postos de abastecimento de combustíveis e serviços de Joinville - SC**. Joinville, FUNDEMA, 1995.

JOINVILLE. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO - **ÁGUAS DE JOINVILLE**. Disponível em [http://www.aguasdejoinville.com.br/esgoto\\_ampliacao.php](http://www.aguasdejoinville.com.br/esgoto_ampliacao.php). Acesso em 01/09/2008.

\_\_\_\_\_. **FUNDEMA**. FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. Disponível em <http://www.fundema.sc.gov.br>. Acesso em 15/08/2009.

\_\_\_\_\_. **IPPUJ**. 2009. Disponível em <http://www.ippuj.sc.gov.br/>. Acesso em 01/07/2009.

\_\_\_\_\_. **IPPUJ**. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE. Disponível em <http://www.ippuj.sc.gov.br>. Acesso em 01/09/2009.

\_\_\_\_\_. **PMJ** - PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. 2007/2008. Disponível em <http://www.joinville.sc.gov.br/>. Acesso em 01/09/2008.

LARINE, L. **Toxicologia**. 5 ed. São Paulo, 1997.

LUNA, A.J; SALES, L. T.; SILVA, R. F. **Agrotóxicos: responsabilidade de todos** (Uma abordagem da questão dentro do paradigma do desenvolvimento sustentável). 2003. Disponível em:  
<[http://www.prt6.gov.br/forum/downloads/Artigo1\\_Adeilson.doc](http://www.prt6.gov.br/forum/downloads/Artigo1_Adeilson.doc)> Acesso em 15/06/2009.

MACEDO, J. A. B de. **Introdução a Química Ambiental** (Química e Meio Ambiente e Sociedade). 1 ed. Juiz de Fora: Jorge Macedo, 2002.

MERCK. **Teste Amônio** - Nitrogênio Amoniacal. 1.14752.0001, 2003.

\_\_\_\_\_. **Teste Fósforo**. 1.14848.0001, 2003.

MOTA, SUETÔNIO. **Introdução à engenharia ambiental**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

NETO, M. L. F.; FERREIRA, A.P. Perspectivas da Sustentabilidade Ambiental Diante da Contaminação Química da Água: Desafios Normativos. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 2, n 4, Seção 1, ago 2007.

PASSETO, W. **Esgoto é Vida**. 4 ed. Curitiba: Cediaplac, 2006.

PLANETA TERRA. **Água subterrânea - reservatório para um planeta com sede?** Ciências da Terra para a Sociedade 2007-2009.  
[http://www.yearofplanetearth.org/content/downloads/portugal/brochura2\\_web.pdf](http://www.yearofplanetearth.org/content/downloads/portugal/brochura2_web.pdf). Acesso em 04/06/2009.

**QUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**. Disponível em  
<http://www.meioambiente.pro.br/agua>. Acesso em 01/09/2008.

REBOUÇAS, A. C. **Proteção ou remediação do solo e água subterrânea**. CIPA, São Paulo, v. 17, n 202, p. 100-110, set. 1996.

ROCCA, A. C. C. **Os passivos ambientais e a contaminação do solo e das águas subterrâneas**. São Paulo: SENAC, 2006.

ROCHA, G. A. **O Grande manancial do Cone Sul**. São Paulo. Universidade de São Paulo Instituto de Geociências, 1997.

SANTA CATARINA. **DECRETO Nº 14.250, DE 5 DE JUNHO DE 1981**. Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e à melhoria da qualidade ambiental.

\_\_\_\_\_. **GUIA SANTA CATARINA**. Disponível em  
<http://www.guiasantacatarina.com.br/joinville>. Acesso em 01/09/2008.

SILVA, Rita de Cássia Assis da; ARAÚJO, Tânia Maria de. **Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA)**. Ciência & Saúde Coletiva, vol.8, n. 4, 2003.

SOARES, Wagner Lopes; PORTO, Marcelo Firpo. Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro. **Ciênc. saúde coletiva** [online]. V. 12, n. 1, 2007.

Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 20th edition. **3111 Metals By Flame Atomic Absorption Spectrometry**. United Book Press, Inc., Baltimore, Maryland, 1998.

\_\_\_\_\_. 21th edition-Centennial Edition. **9000 Microbiological Examination**. United Book Press, Inc., Baltimore, Maryland, 2005.

\_\_\_\_\_. **2130** Turbidez. 1998, pp. 2-8 a 2-9.

\_\_\_\_\_. **2540** Sólidos Totais. 1998, pp. 2-54 a 2-60.

\_\_\_\_\_. **2550** Temperatura. 1998, pp. 2-60 a 2-61.

\_\_\_\_\_. **4500** Oxigênio. 1998, pp. 4-129 a 4-134.

\_\_\_\_\_. **9040 C pH electrometric measurement.** Disponível em <<http://www.epa.gov.br>. Acesso em 01 de jun. de 2008.

STRUCKMEIRER, William; RUBIM, Yoram; JONES, J. A. A. **Revista Planeta**, ed 432. Ano 36, página 48-53, Setembro 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY EPA - **Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA Corrective Action, and Underground Storage Tank Sites – 1999.** Disponível em EPA <http://www.epa.gov.br>. Acesso em 15/06/2009 .

UNIVILLE - UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE. Dados de Precipitação. Disponível em <http://www.univille.br>. Acessado em 01/04/2009.

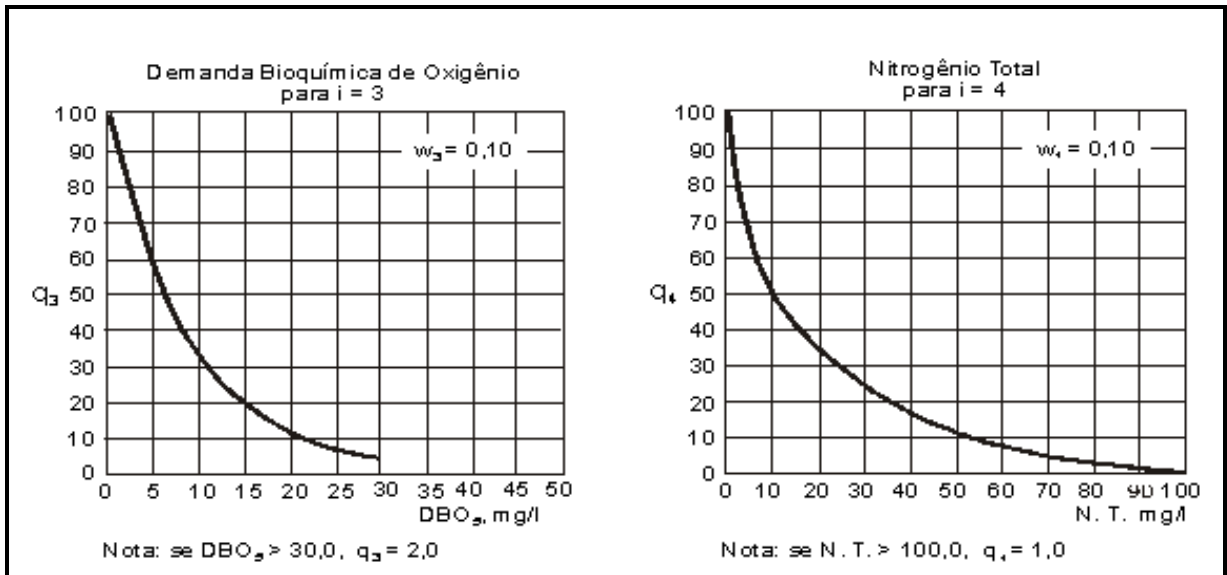
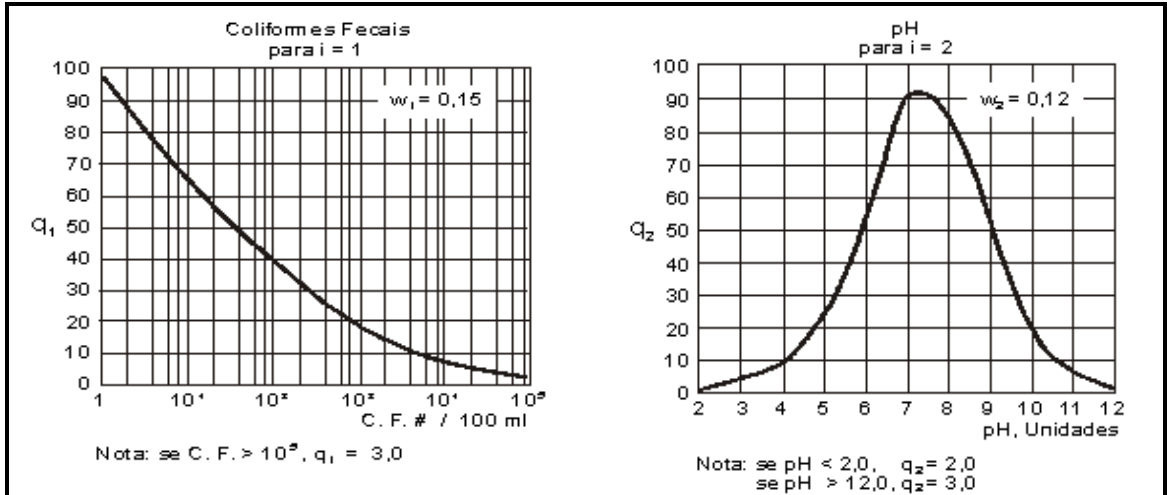
VASCONCELOS, Fabiana. Ferro em excesso pode causar doenças. **Jornal Saúde**. 2008. Disponível em [http://www.saudeemmovimento.com.br/reportagem/noticia\\_frame.asp?cod\\_noticia=2788](http://www.saudeemmovimento.com.br/reportagem/noticia_frame.asp?cod_noticia=2788). Acesso em 03/20/2009.

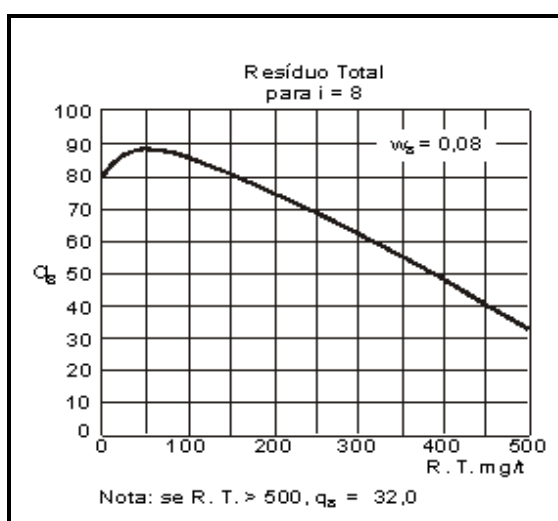
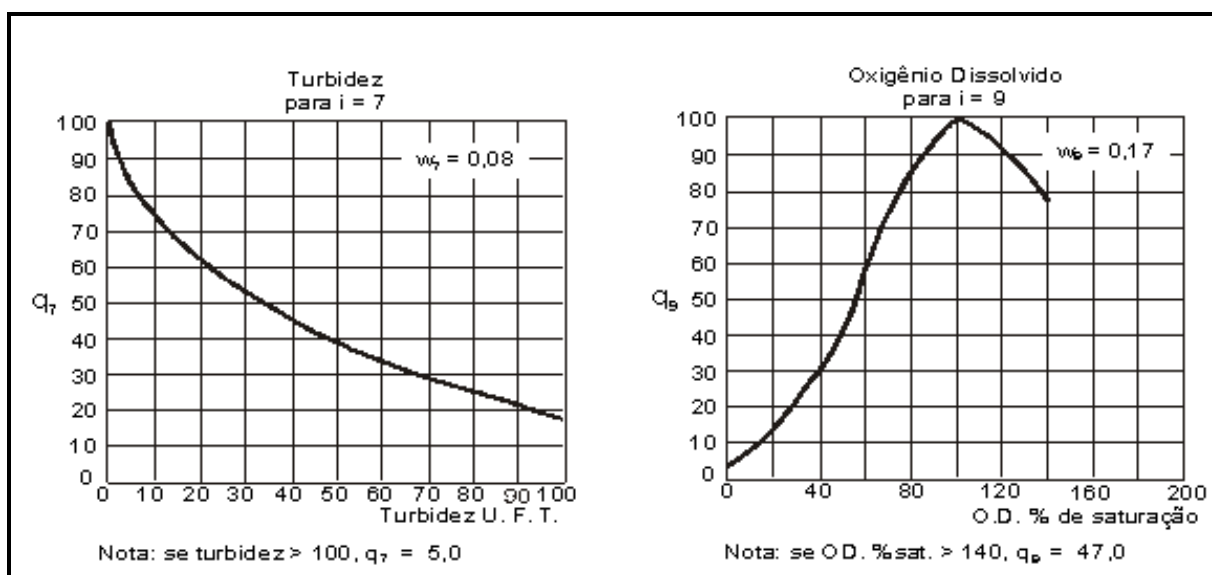
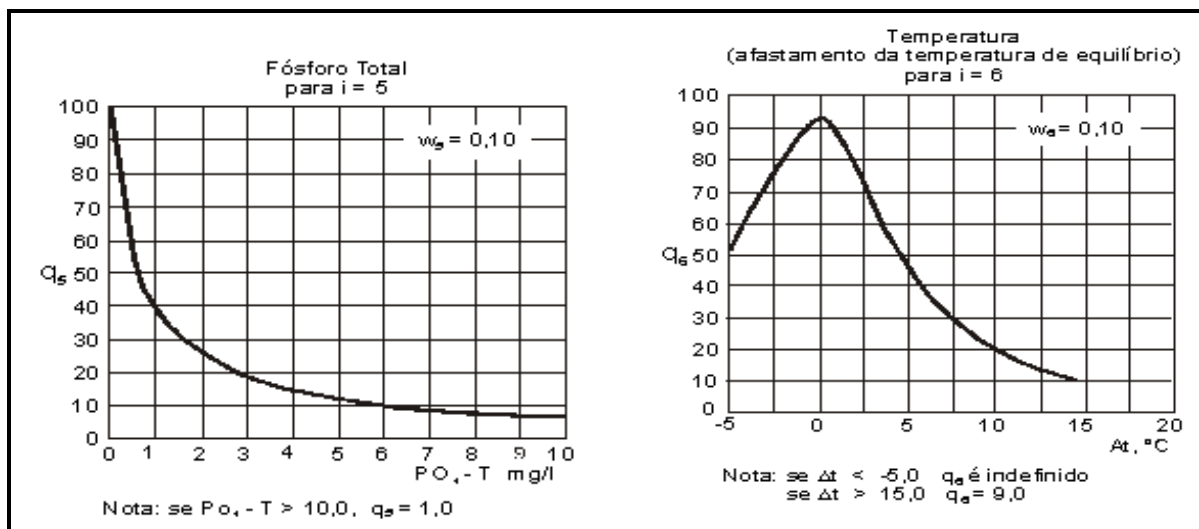
VAZ, C. **Qualidade da água como fator de risco à saúde da população.** Joinville: UNIVILLE, 2007.

VENDRAME, A.C. **Desmistificando a Química - hidrocarbonetos aromáticos.** CIPA. São Paulo. V. 19, n 222, maio 1998.

## ANEXO

Curvas médias de variação dos nove parâmetros utilizados para calcular o IQA da qualidade das águas.





Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas  
Fonte: CETESB (2008).

## APÊNDICE A

Valores dos índices de qualidade da água dos 12 pontos amostrados.

### Ponto 01

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Total (média ponderada)
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	100	0,15	1,995262315
pH (unidades)	90	0,12	1,71596767
DBO (mg/L)	99,5	0,1	1,584098957
Nitrogênio Total (mg/L)	100	0,1	1,584893192
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	93	0,1	1,573433146
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	84	0,08	1,425418342
Resíduo Total (mg/L)	85	0,08	1,426768505
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	55	0,17	1,976339985
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>67,72070477</b>

### Ponto 02

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Total (média ponderada)
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	100	0,15	1,995262315
pH (unidades)	79,8	0,12	1,691376713
DBO (mg/L)	98,55	0,1	1,582579963
Nitrogênio Total (mg/L)	99,9	0,1	1,584734632
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	66	0,1	1,520387861
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	80,58	0,08	1,420686263
Resíduo Total (mg/L)	83	0,08	1,424053309
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	74	0,17	2,078592674
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>67,41166035</b>

### Ponto 03

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Produtório Ponderado
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	84	0,15	1,943756653
pH (unidades)	88	0,12	1,711346381
DBO (mg/L)	70	0,1	1,529360271
Nitrogênio Total (mg/L)	90	0,1	1,568282336
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	82	0,1	1,553750871
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	96	0,08	1,440727012
Resíduo Total (mg/L)	82	0,08	1,422673062
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	71	0,17	2,064020086
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>65,33113914</b>

### Ponto 04

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Produtório Ponderado
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	100	0,15	1,995262315
pH (unidades)	91	0,12	1,718244518
DBO (mg/L)	90	0,1	1,568282336
Nitrogênio Total (mg/L)	95	0,1	1,576784567
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	82	0,1	1,553750871
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	87	0,08	1,429425549
Resíduo Total (mg/L)	80,48	0,08	1,420545136
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	72	0,17	2,068933465
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>68,93667252</b>

### Ponto 05

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Produtório ponderado
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	97,7	0,15	1,988310402
pH (unidades)	91	0,12	1,718244518
DBO (mg/L)	75	0,1	1,539948249
Nitrogênio Total (mg/L)	95,5	0,1	1,577612494
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	90	0,1	1,568282336
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	95	0,08	1,439520614
Resíduo Total (mg/L)	80,5	0,08	1,420573374
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	70	0,17	2,059048929
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>68,27667176</b>



### Ponto 06

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Total (média ponderada)
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	98,72	0,15	1,991410405
pH (unidades)	79,8	0,12	1,691376713
DBO (mg/L)	74	0,1	1,53788256
Nitrogênio Total (mg/L)	95	0,1	1,576784567
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	95	0,1	1,576784567
Temperatura (°C)	90	0,1	1,568282336
Turbidez (UNT)	89,7	0,08	1,432924788
Resíduo Total (mg/L)	80,41	0,08	1,420446251
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	81	0,17	2,110777486
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>86,77286094</b>

### Ponto 07

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Total (média ponderada)
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	100	0,15	1,995262315
pH (unidades)	74,5	0,12	1,677485415
DBO (mg/L)	94	0,1	1,575116879
Nitrogênio Total (mg/L)	96,8	0,1	1,579746987
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	89	0,1	1,566531026
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	88,7	0,08	1,431640216
Resíduo Total (mg/L)	87	0,08	1,429425549
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	24	0,17	1,71646879
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>57,08916176</b>

### Ponto 08

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Total (média ponderada)
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	79,47	0,15	1,927660206
pH (unidades)	48	0,12	1,591288589
DBO (mg/L)	68	0,1	1,524933451
Nitrogênio Total (mg/L)	98,7	0,1	1,582820678
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	99,94	0,1	1,584798073
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	99,4	0,08	1,444744037
Resíduo Total (mg/L)	80,37	0,08	1,42038971
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	63	0,17	2,022497034
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>60,66616529</b>

### Ponto 09

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Total (média ponderada)
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	100	0,15	1,995262315
pH (unidades)	89,8	0,12	1,71550963
DBO (mg/L)	74,3	0,1	1,538504892
Nitrogênio Total (mg/L)	99,98	0,1	1,584861492
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	99,64	0,1	1,584321704
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	99,54	0,08	1,44490672
Resíduo Total (mg/L)	80,44	0,08	1,42048864
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	56	0,17	1,982403084
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>67,02248378</b>

### Ponto 10

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Total (média ponderada)
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	99	0,15	1,992256623
pH (unidades)	91	0,12	1,718244518
DBO (mg/L)	98,07	0,1	1,581807453
Nitrogênio Total (mg/L)	99,99	0,1	1,584877343
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	99,78	0,1	1,58454417
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	99,65	0,08	1,445034395
Resíduo Total (mg/L)	80,04	0,08	1,419922256
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	75	0,17	2,083341259
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>72,41212409</b>

### Ponto 11

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Total (média ponderada)
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	100	0,15	1,995262315
pH (unidades)	85	0,12	1,704238104
DBO (mg/L)	98	0,1	1,581694511
Nitrogênio Total (mg/L)	99,97	0,1	1,584845639
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	99,98	0,1	1,584861492
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	99,75	0,08	1,44515035
Resíduo Total (mg/L)	80,37	0,08	1,42038971
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	76	0,17	2,08803758
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>72,12972436</b>

### Ponto 12

Parâmetros	Valor de qi	Peso Específico (wi)	Total (média ponderada)
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	100	0,15	1,995262315
pH (unidades)	59,8	0,12	1,633819752
DBO (mg/L)	94	0,1	1,575116879
Nitrogênio Total (mg/L)	95	0,1	1,576784567
Fósforo Total (PO <sub>4</sub> mg/L)	99,97	0,1	1,584845639
Temperatura (°C)	9	0,1	1,24573094
Turbidez (UNT)	89	0,08	1,432026981
Resíduo Total (mg/L)	80,44	0,08	1,42048864
Oxigênio Dissolvido (% saturação)	71	0,17	2,064020086
<b>Valor do IQA</b>		<b>1</b>	<b>67,11249628</b>

## **APÊNDICE B**

Resultados dos pontos amostrados em ordem de coleta.

Coleta 01, mês de setembro/2008;

Coleta 02, mês de novembro/2008;

Coleta 03, mês de janeiro/2009.

**Coleta 01, mês de setembro/2008**

<b>Parâmetros Analisados</b>	<b>Ponto 01</b>	<b>Ponto 02</b>	<b>Ponto 03</b>	<b>Ponto 04</b>	<b>Ponto 05</b>	<b>Ponto 06</b>	<b>Ponto 07</b>	<b>Ponto 08</b>	<b>Ponto 09</b>	<b>Ponto 10</b>	<b>Ponto 11</b>	<b>Ponto 12</b>	<b>V.M.P.</b>
Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)	0,0	0,0	48	0,0	10	8	0,0	55	0,0	3	0,0	0,0	0,0*
pH	7,14	6,17	7,20	7,31	7,22	7,49	7,19	6,27	7,61	7,01	7,23	5,81	6,0 a 9,5*
DBO (mg/L)	2,0	2,0	1,95	2,5	1,9	1,8	2,0	8,0	4,2	2,0	1,9	3,5	3,0**
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	< 0,03	0,08	0,04	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,85	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,04	3,7*
Fósforo Total (mg/L)	0,06	0,07	0,15	0,20	0,14	0,05	0,21	0,05	0,31	0,07	0,08	0,05	0,02**
Temperatura (°C)	26,2	22,3	22,6	27,2	22,2	21	26	25	22,7	22	22,9	31	--
Turbidez (UNT)	0,19	7,5	0,39	0,22	0,40	0,59	3,82	0,46	0,96	0,55	0,21	9,3	5,0*
Resíduo Total (mg/L)	7,0	6,0	5,8	4,0	5,0	3,0	39,0	<1,0	2,0	<1,0	2,0	2,0	--
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	7,4	8,3	8,5	7,9	6,9	9,5	6,4	3,8	5,2	8,7	8,4	5,9	Acima de 6,0**
Benzeno (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	5,0*
Tolueno (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	170,0*
Etilbenzeno (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	200,0*
Xilenos (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	300,0*
Ferro (mg/L)	< 0,06	1,18	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	20,0	< 0,06	0,100	< 0,06	< 0,06	0,07	0,3*
Manganês (mg/L)	< 0,02	0,219	0,117	< 0,02	< 0,02	< 0,02	1,433	< 0,02	0,110	< 0,02	< 0,02	0,055	0,1*

Resultados dos ensaios dos pontos amostrados. Legenda: < = menor que; VMP = Valores máximos permitidos estabelecidos.

\* = Portaria n°396, \*\* = Resolução n° 357, Classe 1 para Água Doce; -- = sem valor de referência para água potável;

**Coleta 02, mês de novembro/2008**

<b>Parâmetros Analisados</b>	<b>Ponto 01</b>	<b>Ponto 02</b>	<b>Ponto 03</b>	<b>Ponto 04</b>	<b>Ponto 05</b>	<b>Ponto 06</b>	<b>Ponto 07</b>	<b>Ponto 08</b>	<b>Ponto 09</b>	<b>Ponto 10</b>	<b>Ponto 11</b>	<b>Ponto 12</b>	<b>V.M.P.</b>
Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10	0,0	40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0*
pH	6,76	7,01	7,54	7,00	6,79	6,38	6,02	5,69	7,84	7,60	6,8	6,15	6,0 a 9,5*
DBO (mg/L)	2,1	4,2	3,8	1,8	3,6	2,6	0,6	3,2	1,7	0,9	1,6	3,6	3,0**
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	< 0,03	0,12	0,08	< 0,03	< 0,03	0,04	3,08	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,07	3,7*
Fósforo Total (mg/L)	0,06	0,42	0,12	0,14	0,12	<0,02	0,20	0,09	0,27	0,2	0,12	<0,03	0,02**
Temperatura (°C)	25,8	25,5	23	23	24	24	23,7	24,5	23	23	23	25,8	--
Turbidez (UNT)	0,19	1,61	0,76	0,17	0,24	1,46	3,37	0,98	0,26	0,13	0,16	1,84	5,0*
Resíduo Total (mg/L)	6,5	8,9	4,7	7,21	5,17	7,1	22,6	5,17	6,98	7,6	5,8	7,21	--
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,0	4,7	5,8	4,3	6,7	7,7	3,0	6,2	4,4	5,3	5,0	4,3	Acima de 6,0**
Benzeno (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	5,0*
Tolueno (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	170,0*
Etilbenzeno (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	200,0*
Xilenos (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	300,0*
Ferro (mg/L)	< 0,06	1,93	0,12	0,09	< 0,06	< 0,06	21,7	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	0,025	0,3*
Manganês (mg/L)	< 0,02	0,27	0,32	0,04	< 0,02	< 0,02	1,63	< 0,02	0,122	0,03	< 0,02	0,24	0,1*

Resultados dos ensaios dos pontos amostrados. Legenda: < = menor que; VMP = Valores máximos permitidos estabelecidos.

\* = Portaria n° 396. \*\* = Resolução n° 357, Classe 1 para Água Doce; -- = sem valor de referência para água potável;

**Coleta 03, mês de janeiro/2009**

<b>Parâmetros Analisados</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Ponto 4</b>	<b>Ponto 5</b>	<b>Ponto 6</b>	<b>Ponto 7</b>	<b>Ponto 8</b>	<b>Ponto 9</b>	<b>Ponto 10</b>	<b>Ponto 11</b>	<b>Ponto 12</b>	<b>V.M.P.</b>
Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)	0,0	0,0	0,0	0,0	30	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0*
pH	7,03	7,07	7,44	6,76	7,04	6,38	6,08	6	7,54	7,04	6,46	6,7	6,0 a 9,5*
DBO (mg/L)	1,8	2,5	4,1	2,7	2,5	3,2	0,9	2,6	2,3	2,9	2,5	1,6	3,0**
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	< 0,03	0,1	0,1	0,07	0,09	0,11	1,89	0,04	0,05	0,03	0,09	0,05	3,5*
Fósforo Total (mg/L)	0,09	0,2	0,19	0,12	0,2	0,1	0,17	0,06	0,21	0,4	0,16	0,06	0,02**
Temperatura (°C)	25	25,5	25,5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	--
Turbidez (UNT)	0,1	1,98	2,72	1,55	0,26	0,42	2,15	0,36	0,18	0,37	0,4	1,59	5,0*
Resíduo Total (mg/L)	5,25	7,5	5,8	5,17	4,14	5,41	68	6,14	5,14	0,011	3,41	4,15	--
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	4	5,7	3,9	6	7,01	6,5	2,1	5,6	4,7	5,2	5,9	6,8	Acima de 6,0**
Benzeno (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	5,0*
Tolueno (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	170,0*
Etilbenzeno (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	200,0*
Xilenos (µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	300,0*
Ferro (mg/L)	< 0,06	1,6	2,09	0,245	0,132	0,204	32	0,061	0,125	< 0,06	0,3	1,79	0,3*
Manganês (mg/L)	< 0,02	0,19	0,675	< 0,02	< 0,02	< 0,02	1,72	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,187	0,1*

Resultados dos ensaios dos pontos amostrados. Legenda: < = menor que; VMP = Valores máximos permitidos estabelecidos.

\* = Portaria n° 396. \*\* = Resolução n° 357, Classe 1 para Água Doce; -- = sem valor de referência para água potável.