



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades



Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

JOÃO LENNON MATOS FREITAS

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO
BAURU EM UM MUNICÍPIO COM VOCAÇÃO PARA AVICULTURA**



Bauru
2015

JOÃO LENNON MATOS FREITAS

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO
BAURU EM UM MUNICÍPIO COM VOCAÇÃO PARA AVICULTURA**

Projeto de pesquisa de dissertação para o programa de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Heraldo Luiz Giacheti



Bauru
2015

Freitas, João Lennon Matos.

Avaliação preliminar da contaminação do aquífero Bauru em um município com vocação para avicultura / João Lennon Matos Freitas, 2015.
68 f. il.

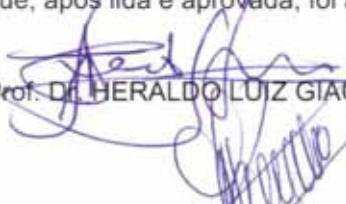
Orientador: Dr. Heraldo Luiz Giacheti

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015.

1. Nitrato. 2. Contaminação. 3. Avicultura de postura. 4. Aquífero Bauru. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JOÃO LENNON MATOS FREITAS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 13 dias do mês de fevereiro do ano de 2015, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia de Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. HERALDO LUIZ GIACHETI do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/ Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. EMILIO CARLOS PRANDI do(a) Departamento de Águas e Energia Elétrica/Marília, Prof. Dr. JORGE HAMADA do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/ Faculdade de Engenharia de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JOÃO LENNON MATOS FREITAS, intitulado "AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO AQUIFERO BAURU EM UM MUNICÍPIO COM VOCAÇÃO PARA AVICULTURA". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. HERALDO LUIZ GIACHETI
Prof. Dr. EMILIO CARLOS PRANDI
Prof. Dr. JORGE HAMADA

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos deuses pelas oportunidades que tive e tenho na vida e pela sabedoria para enfrentar as dificuldades.

Aos meus familiares, mãe, vó, pai, João, Thiago, minha namorada Débora por estar sempre ao meu lado e todos os demais que sempre torceram e me apoiaram para lutar, continuar a crescer e nunca desistir dos meus objetivos.

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica por permitir minha participação neste programa de mestrado e meu aprimoramento profissional, além de permitirem a utilização dos dados. Agradeço ao Emílio Carlos Prandi pelos conselhos e apoio e aos demais colegas Denis, Suraya, Mario, Carlos, Alessandra, Jéssica, Rogério, Angélica, Rafael, Antônio, Fernando, Evandro, Thiago, Renato e todos que me apoiaram e contribuíram de forma direta e indireta.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da FEB – UNESP e todos os professores e funcionários.

Dedico este trabalho a todos meus familiares:
minha mãe Tereza, minha vó Faustina, meu pai Antônio, meu irmão João, Débora, Thiago e
aos que se foram os quais sinto muita falta: vó Juvêncio, Marquinhos, tio Joaquim, Renata e
avós paternos.

RESUMO

Este estudo procurou avaliar alterações na qualidade das águas subterrâneas do aquífero Bauru no município de Bastos, interior do Estado de São Paulo, principalmente quanto ao aumento das concentrações do parâmetro nitrato com base em dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo – DAEE. A avaliação baseou-se em informações sobre as captações de águas subterrâneas, realizadas através de poços profundos, como localização, posição dos níveis estáticos e dados de qualidade nos anos de 2009 e 2013. Posteriormente, foram elaborados mapas de distribuição das captações subterrâneas na área do município e identificação das concentrações de nitrato por classe de valores, além de identificação de áreas com atividade de avicultura. Numa avaliação preliminar dos dados relativos ao ano de 2009, constatou-se que 32% das captações subterrâneas apresentaram concentrações de nitrato acima e até cinco vezes maiores do que o valor máximo permitido e estipulado pelo Ministério da Saúde em amostras de água potável. Os dados referentes ao ano de 2013 confirmam que as elevadas concentrações de nitrato persistem e em alguns casos indicam aumento nas concentrações de tal parâmetro. Os demais parâmetros de qualidade que foram considerados no estudo não ultrapassaram os limites de concentração estipulados pela legislação. Tais dados sugerem que a intensa atividade de avicultura, principal setor econômico do município, está provocando alterações na qualidade das águas subterrâneas, principalmente devido aos elevados teores de nitrato verificados.

Palavras-chave: águas subterrâneas, aquífero Bauru, contaminação, nitrato, avicultura.

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the changes in groundwater quality in Bauru aquifer in city of Bastos, inland of São Paulo state, mainly the increase on concentrations of the parameter nitrate based on data of Department of Water and Energy of State of São Paulo. The preliminary assessment was based on information about groundwater extraction via deep wells. The information are position, static levels and data of quality in the period of 2009 and 2013. Maps with the distribution of wells were elaborated including concentrations of nitrate for class rate and identification of the areas with intense aviculture. The preliminary data assessment for the year 2009 show that 32% of wells have concentration of nitrate higher than the limit allowed by law from the Ministry of Health in samples of drinking water. The data from the year 2013 confirm that the high concentrations of nitrate persists and, in some cases, it shows increase in concentrations comparing to 2009. The other parameters assessed do not exceed the limits defined by law. This information suggests that the high aviculture activity, main economic sector in the city, are causing the changes in the groundwater quality, mainly because the high concentrations of nitrate which were observed.

Keywords: groundwater, Bauru aquifer, contamination, nitrate, aviculture.

Índice de Figuras

Figura 1 Níveis potenciométricos de aquíferos.....	9
Figura 2 Poço captando em um aquífero livre e os parâmetros envolvidos.....	10
Figura 3 Mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas – região de Bastos	12
Figura 4 Diferentes zonas dentro de um Perímetro de Proteção de Poço	13
Figura 5 Perfil construtivo típico de um poço em aquífero sedimentar	14
Figura 6 Instalação típica de um poço tubular.	15
Figura 7 Circulação de nitrogênio entre organismos e o ambiente	17
Figura 8 Fluxograma de gerenciamento de áreas contaminadas.	23
Figura 9 Interior de um galpão de granja no município de Bastos/SP.	25
Figura 10 Galpão de granja em Bastos/SP com disposição de resíduos sem proteção do solo (1).	27
Figura 11 Galpão de granja em Bastos/SP com disposição de resíduos sem proteção do solo (2).	27
Figura 12 Localização do município de Bastos-SP.....	28
Figura 13 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo	29
Figura 14 Hidrografia do município de Bastos	30
Figura 15 Unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru.....	31
Figura 16 Estratigrafia do grupo Bauru entre Ubirajara e Panorama.	32
Figura 17 Foto aérea que indica a presença de granjas e dos poços tubulares instalados na área.....	35
Figura 18 Exemplo com representação do polígono que contem os barrações das granjas e a identificação de poços.	35
Figura 19 Gráfico de distribuição dos poços em classes de concentração de Nitrato no ano de 2009.....	36
Figura 20 Variação do parâmetro amônia nos anos de 2009 e 2013.....	37
Figura 21 Variação do parâmetro nitrito nos anos de 2009 e 2013.....	37
Figura 22 Gráfico comparativo da evolução das concentrações de Nitrato em 2009 e 2013.....	39
Figura 23 Variação das concentrações de nitrato em 2009 e 2013.	40
Figura 24 Concentrações de nitrato e cloreto no ano de 2009.	40
Figura 25 Concentrações de nitrato e cloreto no ano de 2013.	41
Figura 26 Mapa de distribuição das concentrações de nitrato no ano de 2009, localização das granjas, área urbana, poços de abastecimento e cotas potenciométricas.....	42
Figura 27 Mapa de distribuição das concentrações de nitrato no ano de 2009, localização das granjas, área urbana, poços de abastecimento e cotas potenciométricas, ampliado.....	43
Figura 28 Exemplo de poço próximo de fontes de contaminação.....	44

Sumário

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE DE FIGURAS	III
SUMÁRIO	IV
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
3.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	6
3.2.1 Fluxo da água subterrânea em meios porosos	7
3.2.1.1 Condutividade Hidráulica e Permeabilidade Específica.....	8
3.2.1.2 Carga Hidráulica	8
3.2.1.3 Transmissividade e Coeficiente de Armazenamento.....	9
3.2.1.4 Fluxo de água subterrânea em poços em meios homogêneos.....	10
3.2.2 Vulnerabilidade do aquífero à poluição.....	11
3.2.3 Perímetro de proteção de poços.....	12
3.2.4 Construção e operação de poços tubulares para captação de águas subterrâneas.....	13
3.3 CICLO DO NITROGÊNIO	16
3.4 CONTAMINAÇÃO POR NITRATO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	18
3.5 ARCABOUÇO LEGAL QUANTO A PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E PARÂMETROS DE QUALIDADE	19
3.5.1 Gerenciamento de áreas contaminadas.....	20
3.6 AVICULTURA DE POSTURA: SISTEMA DE MANEJO E OPERAÇÃO DE GRANJAS	23
3.6.1 Beneficiamento, Processamento e Distribuição do Ovo.....	25
3.6.2 Destinação dos resíduos da produção	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
4.1.1 Localização.....	28
4.1.2 História	29
4.1.3 Clima	29
4.1.4 Hidrografia	30
4.1.5 Geologia	30
4.2 COLETA DE DADOS E INFORMAÇÕES DE POÇOS TUBULARES.....	33
4.3 BASE PARA A INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	33

5	RESULTADOS E ANÁLISE	36
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	46
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
	ANEXOS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A água subterrânea representa cerca de 20% do suprimento mundial de água doce. É um manancial muito explorado em todo o mundo, principalmente por dispensar tratamento avançado, sendo o próprio solo seu agente filtrante. Após infiltrar, as águas passam por aberturas entre o solo, partículas de sedimentos e espaços nas rochas, sendo retidos microrganismos e substâncias indesejáveis que podem atribuir a ela características não potáveis (WICANDER, 2011). Tal razão faz dos mananciais subterrâneos estratégicos para garantir o abastecimento público e o desenvolvimento econômico em muitas regiões.

No estado de São Paulo, dentre os principais aquíferos explorados, destacam-se principalmente: aquífero Grupo Bauru (Formações Marília, Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá), aquífero Serra Geral e aquífero Guarani. O aquífero Bauru é muito explorado, ocupando aproximadamente a metade oeste do estado.

Geologicamente, o Grupo Bauru foi formado durante o período Neo-Cretáceo pela deposição e sedimentação de pacotes arenosos de origem eólica e fluvial. Tais pacotes estão assentados em derrames basálticos da Formação Serra Geral. Considerado um aquífero livre e localmente semiconfinado, tem os basaltos da formação Serra Geral como substrato impermeável, com irregularidades resultantes de falhamentos e ciclos erosivos sofridos anteriormente a deposição do Bauru (CAMPOS, 1987).

Devido à importância das águas subterrâneas como recurso hídrico estratégico para abastecimento público, dentre outros usos, o controle das atividades e das possíveis fontes de poluição dessas águas é imprescindível para garantir sua utilização em termos de quantidade e qualidade.

Existem muitos estudos relacionados à contaminação por nitrato no solo e na água subterrânea, sendo comum sua ocorrência em áreas urbanas sem redes coletoras de esgoto, em áreas rurais devido ao uso de defensivos e fertilizantes, áreas de confinamento e criação animal, fossas sépticas próximas aos poços, em aterros de lixo doméstico sem impermeabilização do solo, dentre outros.

O nitrato é uma substância conhecida por causar, em concentrações elevadas, a metemoglobinemia (doença do bebê azul) e formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (ALABURDA; NISHIHARA, 1998). A metemoglobinemia é causada pela oxidação das moléculas de ferro presentes na hemoglobina, formando a metemoglobina, que não transporta oxigênio. Essa oxidação pode ser causada pelo nitrato e por outras substâncias. O nível fatal de metemoglobina é da ordem de 70% para crianças e níveis acima de 50% já apresentam sinais de anóxia (FERNÍCOLA; AZEVEDO, 1981).

De fato, o nitrato é um nutriente primário para o desenvolvimento das plantas, que é absorvido pelas raízes e utilizado para fabricação de proteínas e ácidos nucleicos. Na maioria dos solos, está disponível na forma orgânica, que é primariamente produto de biodegradação de restos de plantas e animais. O nitrogênio na forma orgânica é hidrolisado para amônia, que passa pelo processo de nitrificação por bactérias presentes no solo, que tornam disponível o íon nitrato (MANAHAN, 2000). Quando grandes quantidades de nutrientes são lançados no solo por diferentes fontes, o nitrato pode não ser totalmente degradado naturalmente, ficando disponível no solo e posteriormente lixiviado para as águas subterrâneas.

A cidade de Bastos é nacionalmente conhecida como Capital do Ovo, sendo responsável pela produção de cerca de 60% do consumo de ovos do estado e 20% do consumo nacional, produzindo aproximadamente 14,4 milhões de ovos por dia. Tal atividade gera grandes volumes de resíduo animal, que são dispostos sem proteção e podem estar causando contaminação por nitrato na água subterrânea, podendo atingir poços em operação de abastecimento público do município, onde 100% da água captada para abastecimento é subterrânea.

Os dados iniciais de valores de nitrato obtidos de poços tubulares do município de Bastos indicam que, devido ao grande número de granjas no município, pode-se ter uma grande extensão próxima à área urbana contaminada, o que foi possível observar através de mapas elaborados por SIG através de dados de captações subterrâneas no município, com informações disponibilizadas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE. Essas informações indicam que práticas incorretas de acumulação e destino dos resíduos gerados pela avicultura podem estar causando contaminação no aquífero Bauru local, sendo de extrema importância uma investigação da área para determinar a extensão da contaminação além de reconhecimento da geologia e hidrogeologia daquela região.

2 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como objetivo avaliar os níveis de contaminação por nitrato no Aquífero Bauru, no município de Bastos, e verificar a hipótese de que a existência de contaminação está vinculada à avicultura de postura, principal setor e base econômica do município.

Esse estudo se justifica pela proporção da área afetada por essa possível contaminação, podendo em muitos casos inviabilizar o uso das águas subterrâneas como fonte de abastecimento público e privado. A principal preocupação é que uma possível contaminação por nitrato, devido sua alta mobilidade, possa atingir poços de abastecimento que atendem o município, inviabilizando o uso do manancial subterrâneo, especificamente o aquífero Bauru.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Considerações iniciais

Segundo a CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, “uma área contaminada pode ser definida como uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Nessa área, os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, como por exemplo no solo, nos sedimentos, nas rochas, nos materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas ou, de uma forma geral, nas zonas não saturada e saturada, além de poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções. Os poluentes ou contaminantes podem ser transportados a partir desses meios, propagando-se por diferentes vias, como o ar, o próprio solo, as águas subterrâneas e superficiais, alterando suas características naturais de qualidade e determinando impactos negativos e/ou riscos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores.”

Muitos casos de contaminação das águas subterrâneas por Nitrato são relatados em estudos. Autores como Cabral, et al (2009), Lima; Pedrosa; Rocha (2008) e Varnier; Guerra; Hirata (2010), observaram que a urbanização está diretamente relacionada aos aumentos de níveis de nitrato nos aquíferos. Hirata (1994, p.26), comenta:

“Em áreas urbanas a principal preocupação é a carga contaminante em zonas residenciais sem esgotamento sanitário, com uso de tanques sépticos e fossas negras, que inclui nutrientes e sais (nitrato, cloreto, etc.), bactérias, vírus e compostos orgânicos sintéticos.”

Segundo Lima; Pedrosa; Rocha (2008), em estudo das concentrações de nitrato nas águas subterrâneas no Bairro do Farol, Maceió – AL, verificou-se o aumento nessas

concentrações causado principalmente pela disposição de efluentes domésticos em fossas negras em locais sem rede coletora de esgotos, indicando, também, a possibilidade de ocorrência de contaminação em um aquífero que é considerado de baixa vulnerabilidade, quando fatores antrópicos são atribuídos.

Varnier; Guerra; Hirata (2010), em estudo de alterações nos teores de nitrato em amostras de água subterrânea do aquífero Bauru na região centro-oeste do Estado de São Paulo em três municípios (Bauru, Marília e Presidente Prudente), relatam haver correlações entre as concentrações de nitrato com a urbanização indicando que a causa provável para contaminação em algumas áreas está relacionado com a falta de rede coletora de esgoto, em épocas que usavam-se fossas negras para destino dos esgotos domésticos. O estudo adotou como metodologia técnicas de hidroquímica e hidroquímica isotópica, incluindo coleta e análise de parâmetros físico-químicos, íons maiores e isótopos estáveis. Os resultados juntamente com o conhecimento da hidrogeologia local e demais levantamentos, permitiu avaliar a contaminação por nitrato do aquífero Bauru nas regiões estudadas, além da interferência da urbanização na alteração da qualidade do recurso hídrico subterrâneo.

Em estudo específico para o município de Marília, Varnier, et. Al (2010) avaliaram os aumentos das concentrações de nitrato associado à urbanização, sendo que a metodologia empregada compreendeu o cadastro de poços, tratamento estatístico dos dados hidroquímicos pré-existentes (utilizando informações referentes aos processos de outorga de tais captações junto ao DAEE), e avaliação entre possíveis relações das concentrações de nitrato observadas com a expansão urbana ao longo das últimas décadas. Segundo Varnier: “os resultados obtidos indicaram que as maiores concentrações de nitrato (até 16,9 mg/L N-NO_3^-) ocorrem nas áreas com ocupação urbana mais antiga e em poços com profundidades até 150 m”.

Outro caso de contaminação por nitrato é do município de Urânia, onde altas concentrações de nitrato foram identificadas em poços de abastecimento que exploram o Aquífero Bauru, Formação Adamantina, devido ao uso de sistema de saneamento in situ. De acordo com Cagnon e Hirata (2004), o estudo identificou variações nas concentrações de nitrato da ordem de 1,74 mg/L a 172,0 mg/L na camada mais superficial até 21 metros de profundidade, e 0,13 mg/L a 81,0 mg/L na camada intermediária, entre 57 e 104 metros de profundidade. O estudo usou como metodologia a coleta de amostras de água de 69 poços tubulares em período seco e chuvoso, sendo que foram analisados parâmetros como NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , NH_3 , N-orgânico, íons maiores e menores, CO_3^{2-} , HCO_3^- , DO, DOC,

pH, Eh, Condutividade Elétrica e ^{15}N (isótopo). O estudo também identificou que variações entre períodos secos e chuvosos não causou alterações significativas nas concentrações, sendo a camada superficial a que apresentou maiores concentrações de nitrato.

Liu, et al (2005), em estudo da contaminação por Nitrato em poços privados de abastecimento em áreas rurais do Estado do Alabama, Estados Unidos, através de análises de amostras de poços num período de 8 anos, mostrou que poços rasos são mais suscetíveis a contaminação, sendo as atividades agrícolas a principal causa de aumento nas concentrações de nitrato.

3.2 Águas Subterrâneas

Segundo Odum e Barrett (2013), a terra difere de outros planetas do sistema solar por ter água, que sustenta toda a vida no planeta. Adotando o sistema terra com um volume de água relativamente constante, pode-se descrever o ciclo hidrológico iniciando com a precipitação meteorológica, que é a condensação de gotículas de vapor de água presentes na atmosfera que se precipitam, fenômeno comumente conhecido como chuva. A precipitação de água da atmosfera pode ocorrer também através da aglutinação de cristais de gelo, sendo essa precipitação ocorrendo na forma de neve ou granizo.

A água presente na superfície do solo e em corpos d'água (oceanos, lagos, rios) evapora pela ação solar e também pela transpiração de animais e vegetais, retornando a atmosfera, que novamente se precipita em forma de chuva. Uma pequena parte da chuva que precipita, evapora e fica na atmosfera. A outra parte atinge o solo, os oceanos, rios e lagos. A chuva que atinge o solo poderá se infiltrar na camada superficial da terra, alimentando o escoamento subterrâneo ou subsuperficial (UEHARA, 2006).

As águas subterrâneas constituem o maior manancial de água doce em volume que ocorre na terra na forma líquida, da ordem de 10,3 milhões km^3 , contra 104 mil km^3 que correspondem aos rios e lagos. Essas águas são resultado da precipitação em forma de chuva nas bacias hidrográficas, que infiltram e retornam superficialmente, desaguando em rios e lagos, mantendo assim o abastecimento desses corpos d'água em períodos sem chuva (REBOUÇAS, 2008, p.13).

“As águas subterrâneas fluem de forma permanente nas bacias hidrográficas, com velocidades da ordem de cm/dia. Isso faz com que o subsolo tenha uma função básica de estoque e regularização dos recursos hídricos da área considerada. Por sua vez, enquanto os rios constituem verdadeiros canais de drenagem e transporte de suas águas, com

velocidades médias de fluxo da ordem de km/dia, as águas subterrâneas fluem muito lentamente, regularizando as descargas dos rios [...]” (REBOUÇAS, 2006, p. 39)

Segundo Rebouças (2006, p. 12 - 15), as águas subterrâneas estão disponíveis no subsolo preenchendo poros, fraturas, fissuras e outras formas de vazios nas rochas. No caso de rochas cristalinas e metamórficas, apresentam-se em geral impermeáveis, constituindo o substrato hidrogeológico, estando às águas disponíveis nesse meio em fraturas e fissuras resultantes do intemperismo. Já as camadas de rochas sedimentares são formadas pela deposição natural de fragmentos de rochas ou de minerais em ambiente aquático (rios, lagos, oceanos, praias, estuários), apresentando espaços vazios ou interstícios entre os grãos ou fragmentos. À medida que apresentam melhor homogeneidade desses grãos distribuídos em camadas em extensas áreas, em geral, constituem os melhores aquíferos devido as características distributivas de porosidade/permeabilidade.

Desta forma, os aquíferos podem ser definidos como camadas ou formações geológicas capazes de armazenar e transmitir água. Em estudos regionais, o termo unidades hidroestratigráficas vem sendo considerado mais apropriado, quando horizontes, camadas ou conjunto de horizontes ou camadas litoestratigráficas apresentam propriedades hidrogeológicas semelhantes (REBOUÇAS, 2006, p.15).

3.2.1 Fluxo da água subterrânea em meios porosos

O fluxo das águas subterrâneas pode ocorrer pelos poros ou vazios originais da rocha, reconhecida como porosidade primária que ocorre geralmente em rochas sedimentares dando origem aos aquíferos porosos. Também ocorre movimento entre fissuras e cavidades de solução, reconhecida como porosidade secundária estando associada aos meios anisotrópicos, originando os aquíferos fissural e cárstico (CABRAL, 2008, p. 77).

A dificuldade de analisar o movimento da água subterrânea em meios porosos num nível microscópico, devido a irregularidade dos poros e canalículos através dos quais o fluido tem que passar, foi estudada pelo francês Henry Darcy em 1856 através de experimentos, demonstrando que existe relação entre o fluxo de água que atravessa uma camada de areia e o gradiente hidráulico, dando início ao conceito de condutividade hidráulica como uma propriedade macroscópica do meio. A partir daí, aplicando os princípios da hidrodinâmica, entre eles a equação da continuidade, foi possível o estabelecimento de leis de caráter microscópico, sendo possível caracterizar o movimento

da água subterrânea em meios porosos envolvendo três variáveis fundamentais: porosidade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento (CABRAL, 2008, p. 77).

Segundo Cabral (2008, p.77), a fórmula de Darcy que representa a vazão de escoamento em um meio poroso leva em consideração características que influenciam no escoamento, sendo a vazão proporcional a seção transversal do meio filtrante (A), proporcional a diferença de cargas hidráulicas entre os piezômetros (Δh) e inversamente proporcional à distância entre os piezômetros (L). A expressão da lei de Darcy pode então ser determinada como segue, sendo K o coeficiente de proporcionalidade chamado de condutividade hidráulica:

$$Q = K \cdot A \frac{(h_1 - h_2)}{L}$$

3.2.1.1 Condutividade Hidráulica e Permeabilidade Específica

Para Cabral (2008, p. 78), a condutividade hidráulica em um meio isotrópico, “[...] pode ser entendida como sendo numericamente igual a vazão que atravessa uma área unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário [...]”.

Cabral (2008, p. 78), condutividade hidráulica leva em conta características do meio como porosidade, tamanho, forma e arranjo das partículas, além das características do fluido que está escoando, principalmente viscosidade e massa específica. Pode ser expressa da seguinte forma:

$$K = \frac{k\rho g}{\mu} = \frac{kg}{\nu}$$

Onde: K: condutividade hidráulica (expressa em m/s ou cm/s); k: permeabilidade específica do meio poroso; ρ : massa específica do fluido; g: aceleração da gravidade; μ : viscosidade dinâmica; ν : viscosidade cinemática (μ/ρ).

A permeabilidade específica (k) é um fator relacionado ao tipo do material poroso, granulometria e disposição estrutural, sendo tal parâmetro obtido por métodos empíricos e, em geral, expresso em cm^2 .

3.2.1.2 Carga Hidráulica

O movimento da água em meios porosos depende da carga hidráulica, que é o indicador de energia em que a água se encontra. Nos casos em que a pressão atmosférica é

predominante no meio, como nos casos dos aquíferos livres, o escoamento se dá de um ponto a outro no sentido da maior para a menor carga, que neste caso o nível piezométrico é a própria elevação da água. Em situações em que a pressão for maior que a atmosférica, o fluxo de água subterrânea será influenciado por essa pressão. Ocorre em aquíferos confinados, em que a carga de pressão (p/γ) corresponde até a altura em que o nível d'água se eleva, acima do topo do aquífero (CABRAL, 2008, p. 79). O comportamento dos níveis potenciométricos ou piezométricos em aquíferos superpostos pode ser observado conforme a Figura 1.

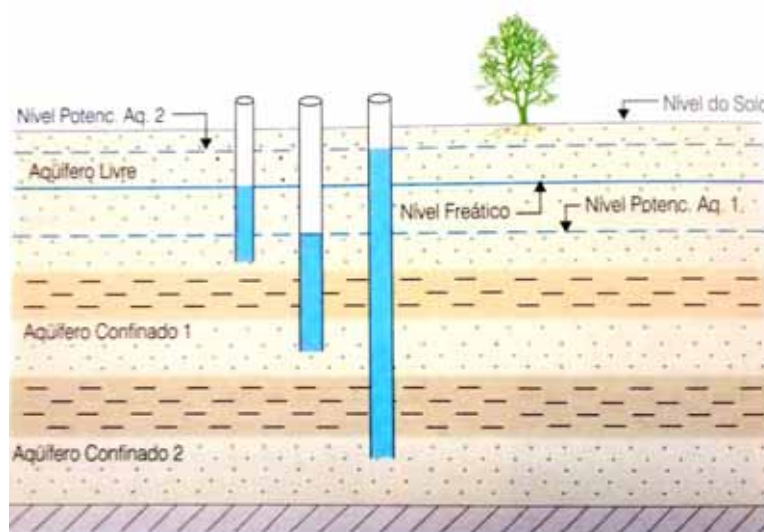


Figura 1 Níveis potenciométricos de aquíferos (modificado de CABRAL, 2008, p. 80)

3.2.1.3 Transmissividade e Coeficiente de Armazenamento

Transmissividade é a expressão que corresponde a quantidade de água que pode ser transmitida através da espessura saturada do aquífero horizontalmente. É a taxa de escoamento através de uma largura unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário, geralmente expressa em m^2/s , m^2/dia ou galões/dia/pé no sistema inglês (CABRAL, 2008, p. 86).

O comportamento hidráulico de armazenar e transmitir água dos aquíferos está relacionada com propriedades da água como densidade, viscosidade e compressibilidade; bem como propriedade do meio poroso como porosidade, permeabilidade intrínseca e compressibilidade (CABRAL, 2008, p. 86).

Em um aquífero livre, o armazenamento específico é expresso como um volume de água liberado pelo volume unitário do aquífero e pelo decréscimo da carga hidráulica. Em aquíferos livres, diferentemente dos aquíferos confinados, a água drenada dos poros é

liberada para fontes ou poços; o nível freático sofre rebaixamento e os poros, que antes estavam saturados, são ocupados pelo ar (CABRAL, 2008, p. 87).

3.2.1.4 Fluxo de água subterrânea em poços em meios homogêneos

Em aquíferos livres, quando se inicia o bombeamento de um poço ocorre a liberação de água pela drenagem dos poros, provocando uma redução da espessura saturada, ou seja, o rebaixamento da superfície freática, que corresponde ao nível estático (NE) do poço. Devido a componentes verticais de fluxo, ocorre perda de carga no fluxo de água em direção ao poço, causando uma diferença entre o nível de água rebaixado dentro do poço em relação ao nível de água do aquífero, criando uma superfície úmida nas paredes do poço, denominada de superfície de ressurgência ou sudação (H') (FEITOSA, et al, 2008, p. 527). Na Figura 2, estão ilustradas as características de um poço captando em aquífero livre e os parâmetros envolvidos durante o bombeamento.

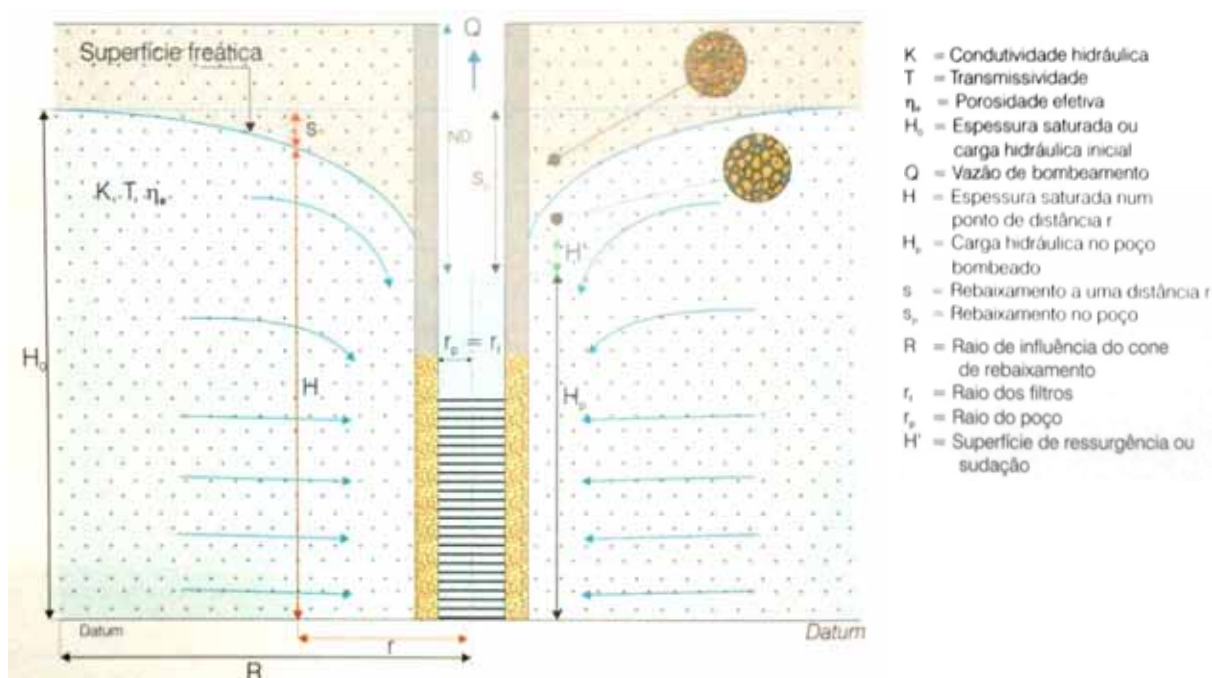


Figura 2 Poço captando em um aquífero livre e os parâmetros envolvidos (modificado de FEITOSA, et al, 2008).

O efeito do bombeamento dos poços é o rebaixamento progressivo do nível da água ou do nível de pressão do aquífero, formando uma superfície cônica ao redor do poço, chamada de cone de rebaixamento, que evolui no espaço e no tempo. Esse comportamento é chamado de regime transiente (FEITOSA, et al, 2008, p. 529).

Quando o efeito do bombeamento do poço é nulo, o cone de rebaixamento passa então ao regime permanente. Nestas condições em que o cone de rebaixamento estabiliza, a distância entre o cone e o poço é conhecido como raio de influência (FEITOSA, DEMÉTRIO, 2006, p. 126).

3.2.2 Vulnerabilidade do aquífero à poluição

Segundo Foster, et al (2006, p. 06) “a vulnerabilidade do aquífero à poluição busca representar a sensibilidade de um aquífero aos efeitos adversos de uma carga contaminante a ele imposta”.

Na análise do risco de poluição de um aquífero leva-se em consideração a interação da carga contaminante que ocorre ou pode ocorrer com a vulnerabilidade do aquífero, que é função “das características naturais dos estratos que o separam da superfície da terra” (FOSTER, et al, 2006, p. 06).

Segundo Hirata; Fernandes (2008, p. 407):

“[...] Numa avaliação de vulnerabilidade, é importante estimar o período de tempo que a água, durante o seu fluxo, gasta para percorrer uma determinada distância, [...]. Tempos de trânsito mais longos permitem, via de regra, uma maior possibilidade de atenuação dos contaminantes, pois há mais tempos para que as reações de degradação se processem”.

Características naturais do meio agem atenuando a carga contaminante, envolvendo devido a processos e interações físicas como dispersão e retardação, além da degradação que causa redução por reações bio-físico-químicas (HIRATA; FERNANDES, 2008, p. 410).

Existem diversas técnicas para mapeamento de vulnerabilidade de aquíferos. Um dos métodos amplamente utilizado para mapeamento da vulnerabilidade, desde os anos 90, conhecido como GOD, utiliza como parâmetros de avaliação: grau de confinamento do aquífero, litologia da zona não saturada e profundidade do nível d'água (HIRATA; FERNANDES, 2008, p. 416).

De acordo com o Plano das Bacias Hidrográficas das Bacias Aguapeí e Peixe – UGRHI's 20/21, ano de 2008, baseado no mapa de vulnerabilidade do estado de São Paulo, conforme SMA nº 14/2010, a vulnerabilidade do aquífero Bauru na região de Bastos foi classificada como Baixo na região próxima à zona urbana do município e Médio ao norte, sul e leste da área limítrofe do município, conforme Figura 3 a seguir.

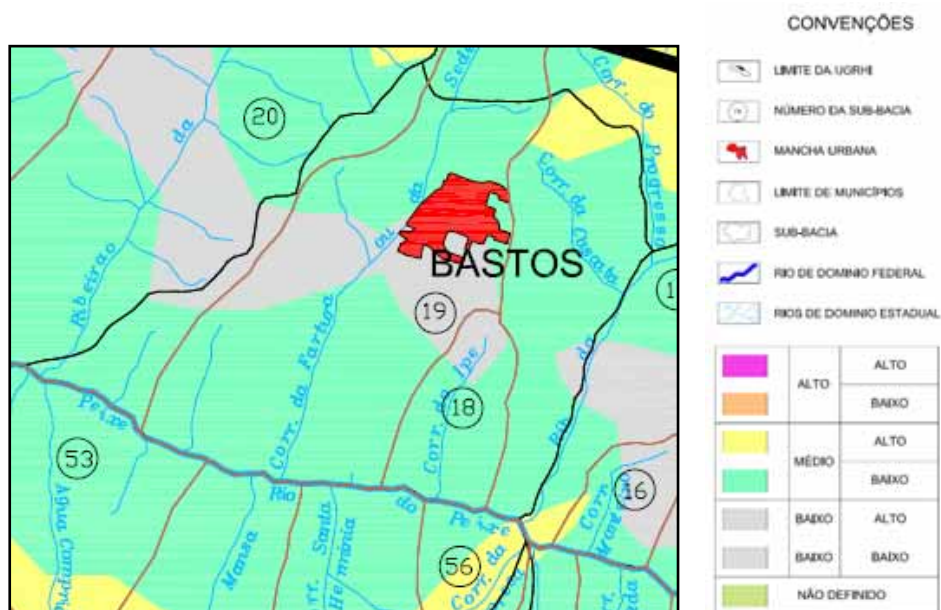


Figura 3 Mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas – região de Bastos (adaptado de CBH-AP, 2008)

3.2.3 *Perímetro de proteção de poços*

A norma técnica do DAEE - DPO nº006/2013 determina que os poços tubulares devem obedecer um perímetro de proteção imediato não inferior a 10 (dez) metros de raio ao redor do poço, devendo os poços serem cercados ao redor deste raio.

Porém, de acordo com Hirata (1994, apud USEPA, 1987, p. 84), na definição dos perímetros de proteção de poços (PPP) existem três zonas segundo suas características hidráulicas: ZI – zona de influência, ZC – zona de contribuição e ZT – zona de transporte. A ZI é associada ao cone de rebaixamento do poço e seu raio de influência. A ZC é a área de recarga associada ao poço, onde, teoricamente, qualquer substância móvel e persistente depositada dentro desta área será conduzida para o poço.

Segundo Hidrata (1994, p. 85), a zona de transporte (ZT) “para determinado tempo de transito é estabelecida com relação a tempos específicos que supostas plumas contaminantes levam para atingir o poço, sem considerar a dispersão hidrodinâmica, retardação ou degradação”. Desta forma, a ZT foi estabelecida para limitar a área das zonas de contribuição, que podem atingir valores muito elevados, além de considerar a degradabilidade do composto. A Figura 4 ilustra as diferentes zonas de influência direta com a proteção dos poços.

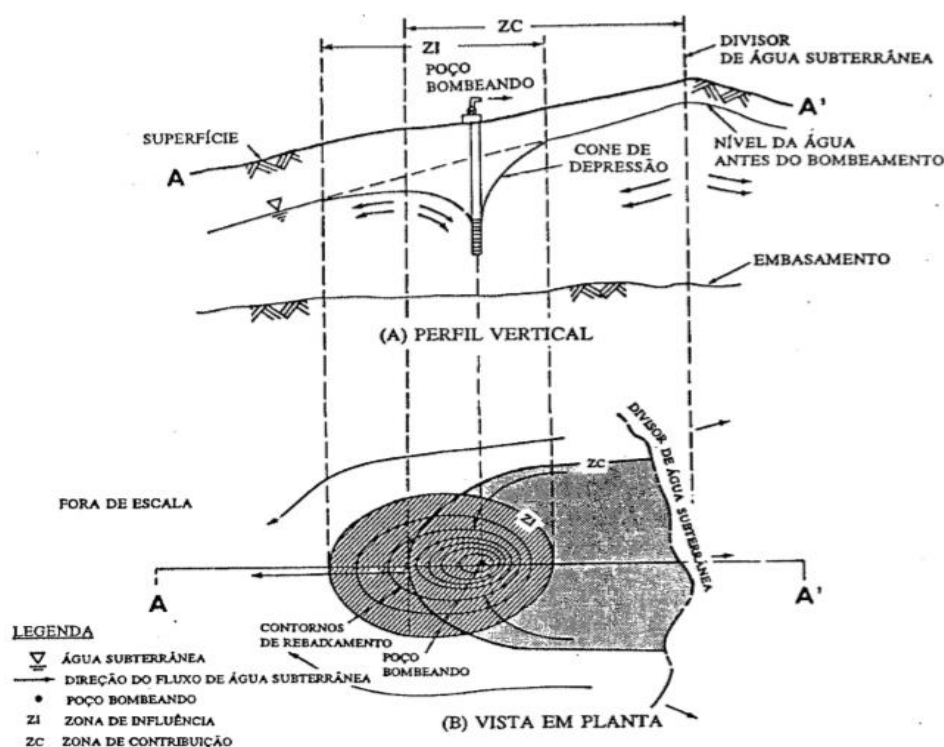


Figura 4 Diferentes zonas dentro de um Perímetro de Proteção de Poço (modificado de HIRATA, 1994, apud USEPA, 1987).

3.2.4 ***Construção e operação de poços tubulares para captação de águas subterrâneas***

De acordo com Mariano (2006, p.187), poço tubular profundo é aquele construído com a finalidade de captação da água subterrânea com auxílio de equipamentos mecânicos. As profundidades podem variar de dezenas a centenas de metros, e os diâmetros de 4 a 30 polegadas. Os componentes básicos de projeto de poços tubulares profundos são: 1. Tubo de boca para proteção sanitária, sendo que o espaço anelar entre a perfuração e o tubo é cimentado para evitar a intrusão de águas indesejáveis da superfície; 2. Câmara de bombeamento, que é dimensionada em função dos diâmetros dos equipamentos de bombeamento e as vazões pretendidas; 3. Coluna de produção e zona filtrante, dimensionado considerando as perdas de carga devido ao fluxo axial, sendo as perdas de carga variáveis de acordo com a vazão e o comprimento da coluna. Para aquíferos livres heterogêneos, os filtros devem ser instalados nas camadas permeáveis de maior transmissividade.

Para Mariano (2006, p. 194), poços perfurados em sedimentos inconsolidados devem ser revestidos com tubos e filtros, além de aplicação de um material filtrante (pré-filtro), que tem a função de reter partículas mais finas do aquífero, sendo aplicado no

espaço anelar entre a coluna de revestimento centralizada e a parede do poço. A Figura 5 mostra o perfil construtivo típico de um poço tubular em aquífero sedimentar (Aquífero Bauru – Formação Adamantina).

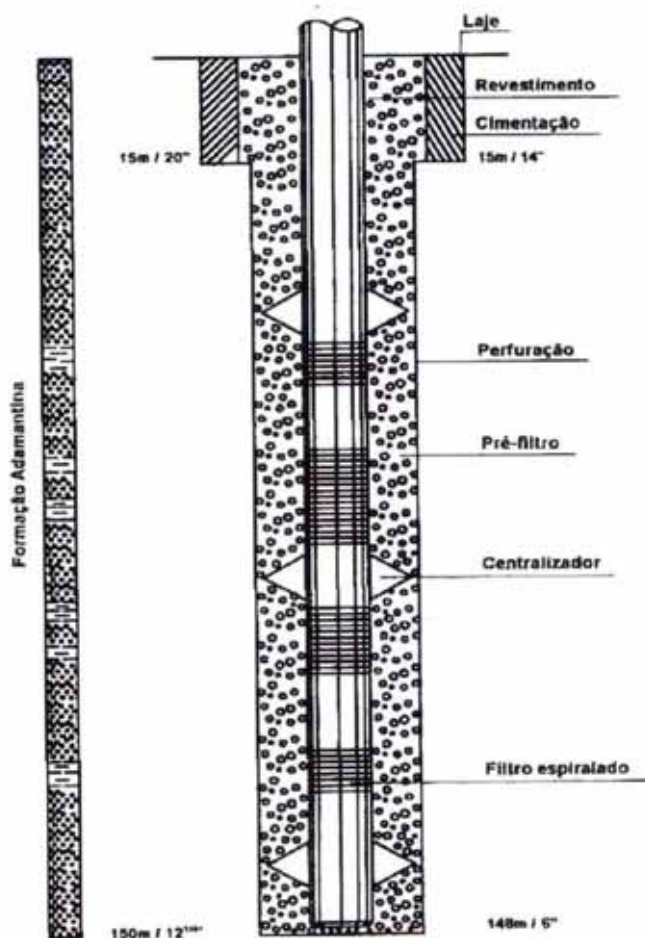


Figura 5 Perfil construtivo típico de um poço em aquífero sedimentar (modificado de MARIANO, 2006)

Quanto aos procedimentos e critérios para instalação e operação de poços tubulares profundos, o DAEE publicou a Instrução Técnica DPO nº006/2013, que especifica: “todas as captações de águas subterrâneas deverão ser dotadas de dispositivos que permitam a coleta de água, medição de nível, vazão e volume captado [...]”. O cercamento dos poços tubulares, definido como perímetro imediato de proteção sanitária, devem obedecer um raio de dez metros ao redor dos poços, sendo que este espaço tem a finalidade de evitar a intrusão de substâncias e contaminação das águas subterrâneas, além de garantir espaço para segurança e manutenção. O dispositivo de coleta de água em poços se trata de torneira de coleta, instalada no cavalete do poço, com diâmetro não inferior a ½ polegada. A Figura 6 representa a instalação típica de um poço tubular para captação de água subterrânea.

A Instrução Técnica também prevê a profundidade de cimentação do espaço anelar entre o tubo de boca e a perfuração mínimo de 20,0 metros em condições normais, ou quando não possível, assentado em rocha sã ou camada impermeável. Especificamente para áreas com indícios de contaminação por nitrato, a norma reza: “Em áreas com constatação de contaminação por nitrato ou áreas já declaradas de restrição de controle de uso de águas subterrâneas no Sistema Aquífero Bauru, a profundidade mínima de cimentação do poço será de 36,0 m, independentemente do aquífero produtor.” Tal exigência visa proteger as camadas mais profundas da contaminação por nitrato que em geral se concentra nas camadas mais próximas a superfície.



1. Válvula;
2. Dispositivo de coleta;
3. Hidrômetro;
4. Válvula de retenção;
5. Tubo medição de nível;
6. Tubo de boca;
7. Laje de proteção.

Figura 6 Instalação típica de um poço tubular (adaptado de Campsondas - disponível em: < <http://www.campsondas.com.br/> > acesso em: 20/07/14).

Infelizmente, as informações existentes sobre os poços tubulares de Bastos não constam os perfis construtivos com a posição dos filtros, posição dos equipamentos de bombeamento e tipo de pré-filtros, além dos perfis geológicos e litologia, que são determinados através da coleta de amostras durante a perfuração. Também, muitos poços em operação, principalmente aqueles que abastecem as granjas do município, não seguem algumas exigências previstas na Instrução Técnica DPO nº 006/2013, destacando o não cumprimento ao perímetro imediato de proteção sanitária, estando muitos poços próximos a fontes de poluição, como barracões de produção e fossas.

3.3 Ciclo do Nitrogênio

A biogeoquímica estuda a composição química da terra e a troca de elementos essenciais para a vida entre as diferentes partes da crosta terrestre, bem como a atmosfera, oceanos, rios e outros corpos d'água e a interação desses elementos com os seres vivos. Esses elementos têm movimentos característicos que vão do ambiente para os organismos e de volta para o ambiente, e a relação entre os ecossistemas biótico e abiótico coevoluem e influenciam o comportamento entre si (ODUM; BARRET, 2013, p. 141).

Dos elementos que ocorrem na natureza, sabe-se que entre 30 e 40 são essenciais para a vida. Alguns elementos como o carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio são necessários em grandes quantidades, outros em pequenas quantidades. Estes elementos chamados de não essenciais, mesmo sendo menos exigidos pelos organismos, também circulam e frequentemente fluem com os elementos essenciais, através do ciclo da água, ou por associação química com eles. Os ciclos dos elementos que se destacam por serem essenciais e por influenciar diretamente toda a dinâmica da vida na terra, são os ciclos do Fósforo, do Enxofre, do Carbono e do Nitrogênio (ODUM; BARRET, 2013, p. 141).

O nitrogênio é uma substância essencial para o crescimento vegetal, assim como o fósforo, desempenhando um papel importante na constituição de moléculas de proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, enzimas e hormônios (BRAGA et al, 2002). O nitrogênio corresponde a aproximadamente 78% da composição da atmosfera, e este está continuamente sendo fixado por meio da ação de microrganismos fixadores de nitrogênio (biofixação), pela ação de faíscas e outras fixações físicas, e retornando a atmosfera pela ação das bactérias desnitrificantes (ODUM; BARRET, 2013, p. 143).

O ciclo do nitrogênio, conforme ilustrado na Figura 7, passa pela fixação de nitrogênio gasoso da atmosfera (N_2), amonificação, nitrificação e desnitrificação. Na fase de amonificação, bactérias decompõem a matéria orgânica e o protoplasma de organismos mortos, produzindo gás Amônia (NH_3) e sais de Amônia (NH_4^+). A nitrificação ocorre de forma aeróbia por bactérias quimiossintetizantes (nitrossomonas), convertendo NH_4^+ e NH_3 em nitritos (NO_2^-). Nesta fase também ocorre a conversão dos Nitritos (NO_2^-) a Nitratos (NO_3^-) pelas bactérias conhecidas como Nitrobacter. Por fim, na fase de desnitrificação, ocorrendo de forma anaeróbia, as bactérias pseudomonas transformam o Nitrato (NO_3^-) que é convertido novamente a Nitrogênio gasoso (N_2). Tal fenômeno ocorre principalmente em solos pouco aerados (BRAGA, et al, 2002).

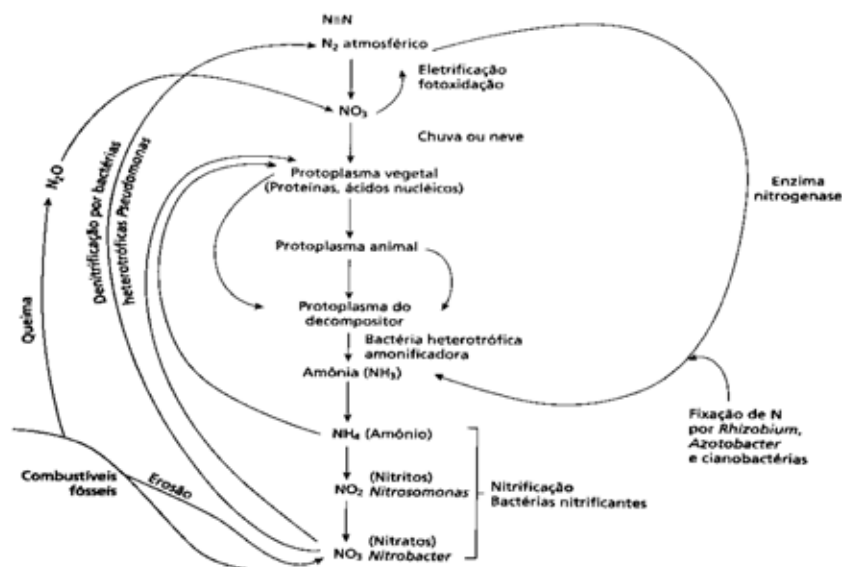


Figura 7 Circulação de nitrogênio entre organismos e o ambiente (adaptado de ODUM; BARRET, 2013).

Segundo Spiro; Stigliani (2009, p.252),

“Se o nitrogênio fixado não fosse devolvido à atmosfera, o reservatório Atmosférico de N_2 acabaria esgotando-se. Mas o ciclo do nitrogênio é fechado por bactérias desnitrificadoras, que usam NO_3^- em vez de O_2 , como oxidante em reações metabólicas, reduzindo o nitrato de volta a N_2 [...]”

O nitrogênio na biosfera viva passa por um ciclo curto, em que organismos heterotróficos decompõem proteínas por meio de enzimas e excretam o nitrogênio excedente na forma de ureia, ácido úrico ou amônio (ODUM; BARRET, 2013, p. 145).

As três formas – amônia, nitrito e nitrato – podem ser usadas como fontes básicas de nitrogênio pelas plantas. Na forma de amônia e nitrato são as formas mais rapidamente utilizadas. Porém, na forma de nitrato as plantas precisam produzir enzimas para convertê-las de volta a amônio, tornando o nitrato mais caro em termos de gasto de energia (ODUM; BARRET, 2013, p. 145).

Devido ao nitrato ser uma substância solúvel, a disseminação subterrânea pode atingir grandes áreas, principalmente em aquíferos livres, seguindo a dinâmica de deslocamento natural desse meio (MANAHAN, 2000).

O nitrato é uma substância que na água subterrânea pode se acumular por muitos anos devido a introdução de nitrogênio da superfície, acarretando em contaminação dessas águas. Neste sentido, Filho (2008, p. 389-390) comenta:

“Devido a sua forma aniônica, o NO_3^- move-se na água subterrânea praticamente sem retardamento, [...] Isto acontece, principalmente em ambientes fortemente oxidantes, como é o caso das águas subterrâneas muito pouco profundas, em sedimentos de alta permeabilidade ou em rochas fraturadas, que possuem altos teores de oxigênio gasoso (O_2) dissolvido”.

3.4 Contaminação por Nitrato em águas subterrâneas

Segundo Filho (2008, p. 389), o nitrato (NO_3^-) é o contaminante mais comum encontrado na água subterrânea, estando associado a deposição de fertilizantes minerais, esgotos e resíduos orgânicos, na superfície do solo ou em zonas pouco profundas do subsolo. O nitrato move-se na água subterrânea praticamente sem retardamento, principalmente em ambientes fortemente oxidantes.

A quantidade de nitrato que atinge a zona saturada está relacionada principalmente ao regime climático. O resultado do balanço hídrico entre precipitação, evaporação, perdas superficiais e retenção na zona não saturada são fatores de difícil determinação e consequentemente a quantidade de água superficial que atinge o aquífero, bem como a lixiviação de nitrato (HIRATA, 1994, p. 54).

Numa avaliação de risco de contaminação e caracterização de carga contaminante deve-se levar em conta o nível de detalhamento necessário para a investigação da área ou a evolução da qualidade das águas subterrâneas, devendo-se distinguir entre contaminações por fontes pontuais e por fontes difusas, bem como “a separação das atividades em que a carga contaminante é intrínseca ao processo, daquelas em que a componente é incidental ou acidental” (HIRATA, 1994).

Hirata (1994), quanto a caracterização de empreendimentos e contaminações em nível de escala regional, comenta:

“[...] Avaliações regionais, a nível estadual, ou mesmo num recorte municipal, quando este apresentar grande complexidade na sua ocupação, não permite que o estudo se aprofunde. Nestes casos, uma alternativa viável é focar a questão por grupos de atividades geradoras de contaminação, listar as atividades predominantes e, com base em informações mínimas e confiáveis, eleger aquelas de maior perigo de geração de carga na região”.

Segundo Hirata (1997, p. 30), “[...] algumas práticas de manejo da terra com a utilização de agroquímicos podem causar uma séria contaminação difusa das águas subterrâneas [...]”, sendo que vários fatores podem influenciar a taxa de lixiviação de compostos de nitrogênio, sais e pesticidas em solos cultivados, sendo esta taxa estimada em termos de proporção de perda do peso estimado.

Nos Estados Unidos, quase 12 milhões de toneladas de nitrogênio são utilizados por ano como fertilizantes, sendo que deste total aproximadamente 7 milhões de toneladas são de fertilizantes de produção de esterco animal. Tal prática pode ser a responsável pelos aumentos nos níveis do íon nitrato em poços rasos usados para abastecimento em localidades rurais nos EUA (COLIN; CANN, 2011).

A alta concentração de produção animal em toda área rural próxima ao município de Bastos é a causa provável para a contaminação do aquífero Bauru, devido ao incorreto acondicionamento e destino dos resíduos das atividades das granjas, que são acumulados no solo sem proteção, propiciando a lixiviação de substâncias para a zona saturada do aquífero.

3.5 Arcabouço legal quanto a prevenção da poluição das águas subterrâneas e parâmetros de qualidade

De acordo com a Lei 6.938, de 31 de Agosto de 1931 (Política Nacional do Meio Ambiente), Art.º 3, Inciso III, entende-se por Poluição a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

Já na Lei Estadual nº 6134 de 2 de junho de 1998, Art.º 5: “Os resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, provenientes de atividades agropecuárias, industriais, comerciais ou de qualquer outra natureza, só poderão ser conduzidos ou lançados de forma a não poluírem as águas subterrâneas”.

Como mecanismo de controle e proteção do solo e águas subterrâneas, a CETESB publicou a Decisão de Diretoria nº 195-2005, de 23 de novembro de 2005 quanto aos “Valores Orientados para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo”, que contêm os parâmetros de qualidade de solos e águas subterrâneas divididos em Valor de Referência de Qualidade (VRQ), Valor de Prevenção (VR) e Valor de Intervenção (VI), que são definidos como segue:

- Valor de Referência de Qualidade – VRQ: valor de concentração de determinada substância, em que seus valores definem o solo com qualidade limpo ou com concentrações naturais;
- Valor de Prevenção – VP: é o valor acima da concentração de determinada substância que pode ser prejudicial a qualidade do solo e água subterrânea;
- Valor de Intervenção – VI: é o valor acima da concentração de determinada substância, que pode trazer riscos diretos ou indiretos a saúde humana.

Os valores orientados para qualidade do solo e água subterrânea do Estado de São Paulo, de acordo com a Decisão de Diretoria n° 195-2005 da CETESB, estipula o valor de intervenção para o nitrato em 10,0 mg/L, que também é o valor máximo permitido pela Portaria do Ministério da Saúde n° 2414/2011, para padrão de potabilidade.

No âmbito nacional o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA publicou a Resolução n° 420, de 28 de dezembro de 2009, norma que também trata dos valores orientados de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, além de estabelecer diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas.

O Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE adota a Portaria do Ministério da Saúde n° 2914, de 12 de dezembro de 2011 como norma quanto aos padrões de potabilidade admitidos para águas provenientes de captações subterrâneas para abastecimento público, soluções alternativas de abastecimento, atendimento de residências unifamiliares em área urbana e rural, uso industrial e agrícola em que o Valor Máximo Permitido (VMP) para o nitrato é 10,0 mg/L. De acordo com a Instrução Técnica DPO/DAEE n° 006/2012, os parâmetros que devem ser analisados para avaliação da qualidade das águas subterrâneas e respectiva emissão da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos são aqueles relativos aos anexos I, VII e X, mais o parâmetro pH, exceto os parâmetros dos produtos secundários da desinfecção e desinfetantes da referida Portaria do Ministério da Saúde.

3.5.1 Gerenciamento de áreas contaminadas

No âmbito do gerenciamento de áreas contaminadas, no estado de São Paulo existe legislação específica para tratar o tema, notadamente a Lei Estadual n° 13.577/2009, regulamentada pelo Decreto Estadual n° 59.263/2013, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas “trata da proteção da qualidade do solo contra alterações nocivas por contaminação, da

definição de responsabilidades, da identificação e do cadastramento de áreas contaminadas e da remediação dessas áreas de forma a tornar seguros seus usos atual e futuro.”

Já a CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, órgão responsável pelas ações de controle ambiental no estado, adota a Decisão da Diretoria Nº103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007, documento que apresenta os procedimentos exigidos para os responsáveis pelas áreas contaminadas na condução do gerenciamento do passivo ambiental. Tal norma reza:

“O gerenciamento de áreas contaminadas visa reduzir, para níveis aceitáveis, os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente em decorrência de exposição às substâncias provenientes das áreas contaminadas, por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos decorrentes da contaminação, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.”

Segundo tal norma, a metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas é composta por dois processos: o de identificação e o de reabilitação de áreas contaminadas.

O processo de identificação de áreas contaminadas tem como objetivo definir a existência e a localização das áreas contaminadas sob investigação. O processo de reabilitação de áreas contaminadas tem como objetivo possibilitar a adoção de medidas corretivas visando atingir as metas estabelecidas para um uso preestabelecido, adotando-se, desta forma, o princípio da “aptidão para o uso”.

Nas etapas de Definição da Região de Interesse e Identificação das áreas com potencial de contaminação (APs), são estabelecidos os limites da região a ser abrangida e definidos os objetivos principais a serem alcançados na execução do gerenciamento de áreas contaminadas, além da identificação de áreas potenciais existentes na região de interesse. Tais etapas são definidas pela CETESB.

A etapa de avaliação preliminar tem como objetivo principal constatar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área sob avaliação, por meio do levantamento de informações disponíveis sobre o uso atual e pretérito da área. Segundo a norma, na avaliação preliminar deve-se realizar as seguintes atividades:

- Levantamento da documentação disponível sobre a área, notadamente aquela disponível na própria empresa e nos processos administrativos da CETESB;
- Levantamento de dados disponíveis nos documentos obtidos sobre o histórico de ocupação da área, com a indicação de todas as atividades desenvolvidas no local;
- Levantamento aerofotogramétrico temporal;
- Levantamento de informações coletadas em inspeções de reconhecimento;

- Levantamento de informações coletadas em entrevistas com funcionários e moradores do entorno;
- Preenchimento da “Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas”;
- Elaboração de modelo conceitual.

O modelo conceitual é um relato escrito e/ou a representação gráfica do empreendimento investigado, do meio físico e dos processos físicos, químicos e biológicos que determinam o transporte de contaminantes da(s) fonte(s) através dos meios que compõem este sistema, até os potenciais receptores dentro deste sistema.

Já na etapa de Investigação Confirmatória, são executadas as seguintes atividades: coleta de dados existentes, estabelecimento de plano de investigação, coleta e análise química de amostras e interpretação dos resultados. O plano de investigação deverá ser elaborado com base no modelo conceitual definido na etapa de avaliação preliminar.

A norma define que amostragem do solo e/ou água subterrânea deve ser feita em pontos estrategicamente definidos de acordo com o modelo conceitual e avaliação preliminar, devendo-se observar fontes potenciais de contaminação, atuais ou passadas ou onde foi detectada a suspeita de contaminação.

Após a análise das amostras de solo e águas subterrâneas, os resultados são comparados com os valores de intervenção para solos e águas subterrâneas estabelecidos pela CETESB na “Tabela de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo” de 03/12/2005. Demais parâmetros que não são contemplados na Tabela de Valores Orientados serão definidos pela CETESB quanto ao valor de intervenção seguindo normas e padrões reconhecidos.

Partindo para o Processo de Reabilitação da Áreas Contaminadas, segue a etapa de Investigação Detalhada, que tem por objetivo definir os limites da pluma de contaminação, determinar as concentrações das substâncias ou contaminantes de interesse e caracterizar o meio físico onde se insere a AI, devendo seguir as seguintes etapas: coleta e avaliação de dados existentes; estabelecimento de plano de investigação; realização de investigação e interpretação dos resultados.

A definição da pluma de contaminação é de grande importância para definição das demais etapas de reabilitação da área contaminada, em que será definida a forma de intervenção para remediação desta área.

As etapas do gerenciamento de áreas contaminadas de acordo com a norma da CETESB estão ilustradas de acordo com o fluxograma na Figura 8.

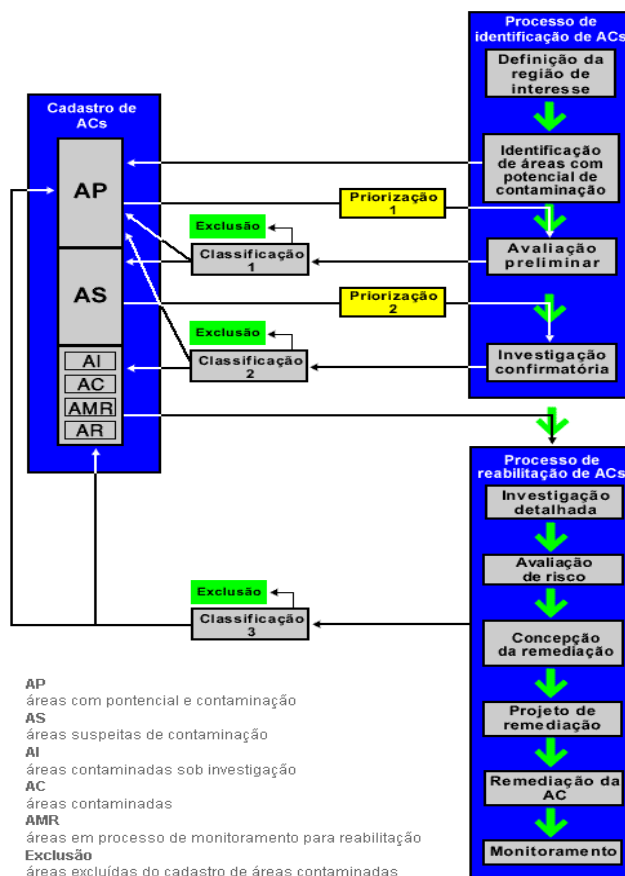


Figura 8 Fluxograma de gerenciamento de áreas contaminadas (modificado de CETESB, 2008).

3.6 Avicultura de postura: sistema de manejo e operação de granjas

A Avicultura de Postura é uma atividade econômica de grande importância no âmbito de produção de alimentos no Brasil e no mundo. De acordo com reportagem da Revista Globo Rural (nº 336, de outubro de 2013), estima-se que em 2013 a produção de ovos no Brasil foi da ordem de 32,0 bilhões de unidades, sendo que o estado de São Paulo lidera a produção nacional com 36,5% do total produzido e o município de Bastos representa cerca de 60% da produção do estado. Boa parte da produção de ovos no Brasil é comercializada no próprio país, sendo que a exportação é baixa devido a uma falta de acordo comercial com a União Europeia. Segundo a reportagem: “[...] O Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes (PNCRC), válido para bovinos, aves, equinos, aquicultura e mel, ainda não tem sua equivalência na área de ovos reconhecida pela EU. [...] O plano é um programa federal de inspeção e fiscalização de alimentos que avalia as diversas etapas de produção a fim de fornecer garantias de segurança e inocuidade dos alimentos disponibilizados aos consumidores”. Isto demonstra que o país ainda tem muito

a evoluir quanto a boas práticas produtivas do setor, garantindo produtos com qualidade e garantia de sustentabilidade ambiental, com controle dos resíduos gerados.

Segundo o Manual de Segurança e Qualidade para Avicultura de Postura (EMBRAPA, 2004, p. 15-17), os fatores que influenciam a produção de ovos são: padrão genético das aves, idade das aves na fase madura da postura, resistência a doenças, controle de iluminação, condições ambientais, troca de penas, os galpões, alimentação, além do beneficiamento, processamento e distribuição dos ovos.

Entre os fatores que influenciam a produção de ovos, o manual da Embrapa (2004), traz as seguintes informações e recomendações:

- Padrão Genético das aves: A produção máxima de ovos de alta qualidade inicia com a seleção de aves com fatores genéticos favoráveis;
- Idade das aves na fase madura da postura: A postura precoce resulta em maior quantidade de ovos, porém a maturidade precoce resulta em ovos pequenos;
- Resistência a doenças: Raças selecionadas são mais resistentes, porém devem ser realizados planos de vacinação e sanitização das instalações;
- Controle de iluminação: o controle da iluminação tem influência direta durante o crescimento e os períodos de postura, além de desenvolver a maturidade sexual das aves e estimular a produção de ovos;
- Condições ambientais: controle da temperatura, umidade do ar e ventilação;
- Troca de penas: é uma ocorrência natural, indica o envelhecimento das aves e a quantidade de ovos é reduzida, até cessar, entre 18 e 20 meses de idade;
- Galpões: são dimensionados compatível com a produção, devem ser construídos com material adequado, garantindo o suprimento de água, ração, ventilação e instalações elétricas e de esgoto (vide Figura 9);
- Alimentação: é feita com ração balanceada, fornecida diretamente nos comedouros das aves.



Figura 9 Interior de um galpão de granja no município de Bastos/SP.

Todas as aves destinadas a postura passam por processo de debicagem, que é realizado entre o 7º ao 10º dia de idade, que tem a finalidade de evitar o canibalismo, controlar e evitar o desperdício de ração, diminuir o efeito da hierarquia social e melhorar a viabilidade do plantel (EMBRAPA, 2004).

O fornecimento de ração (arroçamento) aos criadouros é feito de acordo com a idade das aves e são empregados diferentes tipos de ração, de acordo com a fase de postura. O consumo médio de ração das aves na fase adulta é de aproximadamente 110 g/dia. A ração é um alimento balanceado, oferecendo níveis adequados de nutrientes (EMBRAPA, 2004, p. 41-45).

3.6.1 Beneficiamento, Processamento e Distribuição do Ovo

O processo de beneficiamento dos ovos passa pelas etapas de lavagem, classificação e embalagem. O beneficiamento geralmente é feito nas próprias granjas, ou os ovos podem ser enviados para empresas que realizam o beneficiamento (EMBRAPA, 2004, p. 17).

O processo de lavagem visa aumentar a proteção dos ovos contra bactérias. Embora o ovo tenha a casca como barreira natural, existe legislação específica que exige a sanitização dos ovos por meio de lavagem com utilização de detergentes especiais, podendo ser utilizado água clorada à temperatura de 43 ± 3 °C (EMBRAPA, 2004, p. 50).

Antes da etapa de classificação, os ovos passam por ovoscopia para retirada de ovos com casca fina, manchados com sangue ou com pequenos trincos. Estes ovos são encaminhados para processamento para ovo líquido. O processamento de ovos líquidos passa pela quebra de casca manual ou mecânica, peneiramento, pasteurização e armazenamento em câmeras frias (EMBRAPA, 2004, p. 53).

O processo de classificação dos ovos é feito de acordo com o Decreto nº 56.585/1965, sendo classificados em grupos, classes e tipos, segundo a coloração da casca, classe e peso (EMBRAPA, 2004, p. 53).

3.6.2 Destinação dos resíduos da produção

Os resíduos da produção das granjas são: penas, esterco, cascas de ovos quebrados, aves mortas, restos de ração animal, efluentes de limpeza de barracões de beneficiamento e dos galpões de produção, efluentes sanitários (das instalações sanitárias de funcionários, cozinha, refeitório, escritório, etc). Em geral, nas granjas do município de Bastos, não existem sistemas de tratamento dos resíduos, sendo os resíduos líquidos, bem como aves mortas, penas e cascas, destinados para fossas. Não se sabe se os sistemas de saneamento *in situ* seguem normas construtivas apropriadas. O esterco produzido é armazenado e vendido para utilização como adubo orgânico. As Figuras 10 e 11 mostram fotos tiradas em granja no município de Bastos com acúmulo de esterco nos galpões sem proteção do solo.

Segundo Embrapa (2004, p.53), o esterco gerado deve ser retirado diariamente, acondicionado em sacos apropriados e conservados de forma a não contaminar o ambiente, sendo coletados por caminhões apropriados. No entanto, em visitas às granjas em Bastos é possível verificar que a retirada de resíduos não é feita diariamente e nem existe preocupação quanto ao incorreto acondicionamento no solo sem impermeabilização.

Outra prática recomendada pela Embrapa (2004, p. 53) é o destino de aves mortas, que orienta remoção das gaiolas diariamente, investigação das causas da morte, em seguida transportadas para incineração ou fossas sépticas, prática que contribui para contaminação das águas subterrâneas.



Figura 10 Galpão de granja em Bastos/SP com disposição de resíduos sem proteção do solo (1).



Figura 11 Galpão de granja em Bastos/SP com disposição de resíduos sem proteção do solo (2).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

4.1.1 *Localização*

O município de Bastos está localizado na região noroeste do estado de São Paulo, a uma distância de 549 km da capital paulista, localizado às coordenadas Lat. 21° 55' 14" e Long. 50° 44' 07", a uma altitude de 450 metros em relação ao nível do mar e uma área de 170,45 km². As principais rodovias que dão acesso ao município são a SP 294 - Comandante João Ribeiro de Barros e a SP 457 – Brig. Eduardo Gomes.



Figura 12 Localização do município de Bastos-SP.

De acordo com a lei 9.034 de 27 de dezembro de 1994 que definiu as divisões hidrográficas do estado de São Paulo, o município de Bastos está inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 21, da Bacia do Rio do Peixe, que conta com 26 municípios, sendo o Município de Bastos com 100% da área compreendida pela UGRHI 21, estando inserido na sub-bacia do Córrego da Fartura, com área de drenagem de 88,13 km².



Figura 13 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo (Coordenadoria de Recursos Hídricos, São Paulo)

4.1.2 **Historia**

A cidade de Bastos, nome herdado da fazenda onde a cidade se estabeleceu (Fazenda Bastos), com área de 12.000 alqueires, foi implantado em 1928 um loteamento sob administração da Sociedade Colonizadora do Brasil. A maior parte dos lotes foi vendida a imigrantes japoneses, que inicialmente se dedicaram a agricultura e criação de bicho da seda, chegando a ser o maior centro de sericultura do país. Tal atividade foi perdendo força a partir da introdução da seda artificial no mercado, causando a evasão da população na década de 50. A partir daí, a atividade econômica do município começou a se diversificar devido a produção agrícola de amendoim, laranja, melancia e principalmente pela atividade de avicultura de postura (IBGE, 2014).

4.1.3 **Clima**

Segundo a classificação climática de Koeppen-Geiger, baseada na fotossociologia, ecologia, sazonalidade, valores médios anuais e mensais de temperatura do ar e a precipitação, pode-se definir o clima predominante no município de Bastos como do tipo Aw, definido como tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 8 °C. De acordo com o Relatório Zero de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP, 1997), a precipitação média anual nas bacias é de 1250 mm, temperatura média anual superior a 18 °C. O mês mais chuvoso é

janeiro com precipitação média de 200 mm e o mês mais seco é julho, com precipitação média de 25 mm.

4.1.4 **Hidrografia**

O município de Bastos está inserido na bacia hidrográfica do Rio do Peixe e tem como principais drenagens os cursos d'água: Ribeirão Copaíba, Córrego da Fartura ou da Sede, Córrego do Ipê e Córrego da Cascata ou do Meio. Os cursos d'água principais seguem em direção ao sul da delimitação do município ao encontro do Rio do Peixe. A Figura 14 mostra a delimitação do município de Bastos e os seus principais cursos d'água.

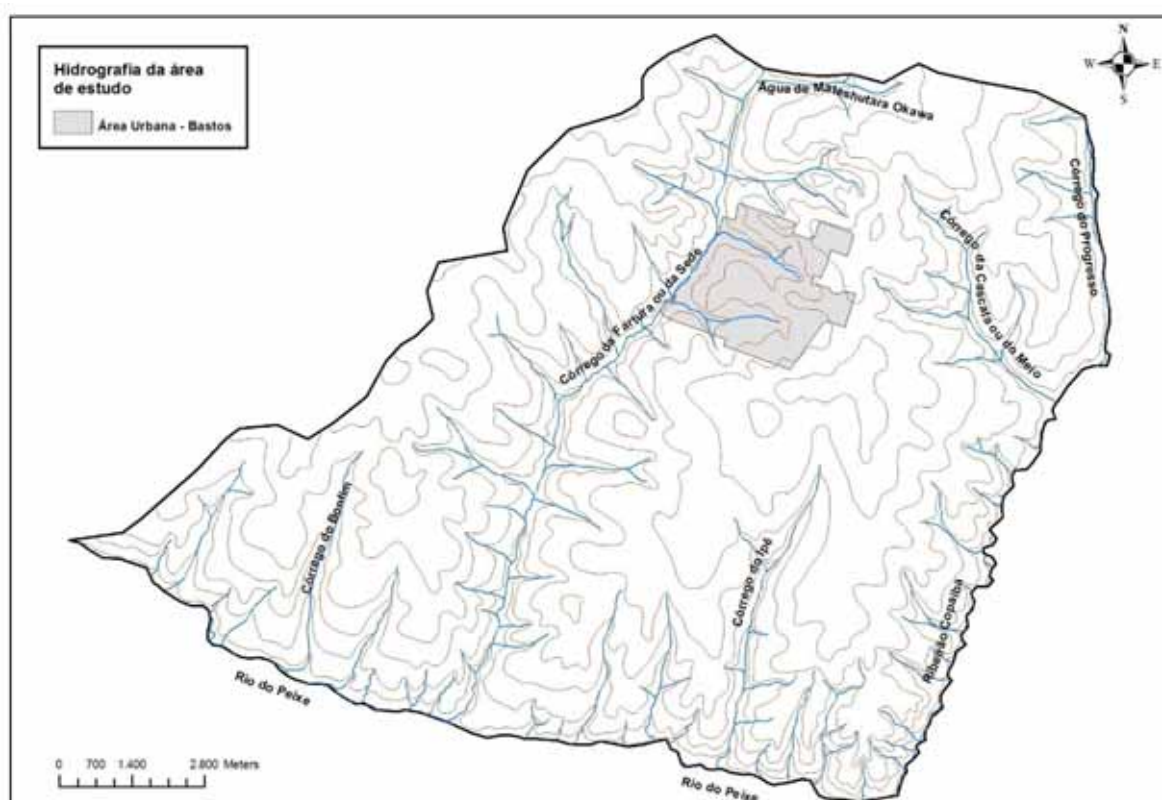


Figura 14 Hidrografia do município de Bastos

4.1.5 **Geologia**

As formações geológicas aflorantes da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe são constituídas principalmente por rochas sedimentares de depósitos aluvionares do Grupo Bauru de idade cenozoica e em pequenas áreas, nos médios cursos do Rio do Peixe, por rochas vulcânicas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral de idade mesozoica (PRANDI, 2010).

Segundo Paula e Silva (2009, apud PRANDI, 2010), as formações sedimentares do Grupo Bauru estão distribuídas sobre aproximadamente 370.000 Km² do território nacional, com espessuras de até 300,0 metros e média de 100 metros. A Figura 15 ilustra a distribuição da Formação Adamantina no estado de São Paulo.

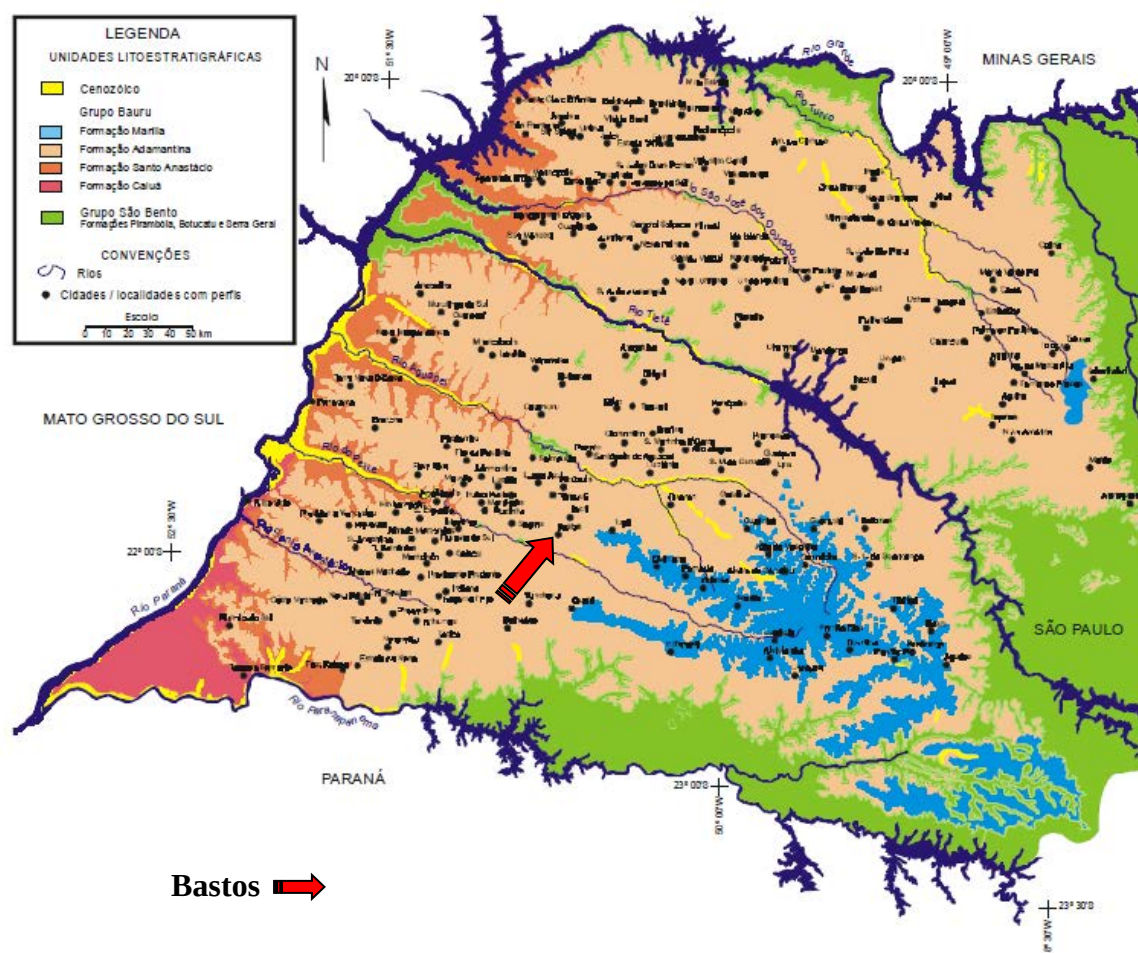


Figura 15 Unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru (adaptado de PAULA E SILVA, 2003)

As formações geológicas sedimentares pertencentes ao Grupo Bauru na Bacia do Rio do Peixe são as Formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília, tendo como substrato rochoso impermeável os Basaltos da Formação Serra Geral (CAMPOS, 1987).

Para Paula e Silva (2009), em estudo do arcabouço estratigráfico e hidroestratigráfico de subsuperfície do Grupo Bauru, a partir de dados de perfis geofísicos de poços tubulares profundos, estabeleceu-se novas correlações litoestratigráficas para o Grupo Bauru, identificando as Formações Caiuá, Santo Anastácio, Araçatuba, Adamantina e Marília, além das Formações Pirapozinho e Birigui, novas unidades estratigráficas reconhecidas. Tal

4.2 Coleta de dados e informações de poços tubulares

A investigação inicial baseou-se em informações de poços tubulares em operação no município, mantidos nos cadastros do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE. Os dados obtidos foram: localização dos poços no sistema de coordenadas UTM, posição dos níveis estáticos e resultados de análise de água com parâmetros previstos pela Portaria nº 2914/201, de laudos referentes a amostras coletadas nos anos de 2009 e 2013.

De uma análise global dos resultados constatou-se que em vários poços os valores de nitrato excediam o limite máximo permitido pelo Ministério da Saúde, indicando uma possível contaminação do aquífero local. Observou-se ainda que o nitrato foi o único parâmetro que apresentou alteração significativa, sendo que demais parâmetros associados a contaminação por origem orgânica (como amônia, nitrito, cloreto e fluoreto) não apresentaram valores acima do máximo permitido.

Os dados obtidos junto ao Departamento de Águas e Energia Elétrica dos poços referente aos laudos de análise de água, representam informações em que tanto a coleta quanto a análise são de responsabilidade dos proprietários usuários de recursos hídricos, juntamente com os laboratórios contratados para tal assessoria, que, segundo a Instrução Técnica DPO nº 006/2012, tais laboratórios devem ser acreditados pela Norma NBR ISO/IEC 17025/2005, e devem realizar a coleta da amostra.

Algumas informações importantes referentes a construção dos poços como perfil geológico (litologia), perfil estratigráfico e detalhes construtivos dos poços (posição dos pré-filtros, profundidade do selo sanitário, tipo de tubo de revestimento, diâmetro de perfuração e profundidade exata dos poços), não foram encontradas nos cadastros do DAEE, talvez por tais poços terem sido executados provavelmente a mais de 30 anos.

4.3 Base para a Interpretação dos Resultados

Foi criado um banco de dados com 104 poços tubulares cadastrados, identificados em sequência de 1 a 104, com valores de nitrato em todos os poços no ano de 2009 (Anexo 1). Esses 104 poços encontram-se instalados em áreas urbana e rural e são utilizados para atender as necessidades de indústrias, granjas, poços particulares de solução alternativa de abastecimento, além de poços conhecidos como “cacimba” de algumas pequenas propriedades rurais. Os dados são de solicitações de outorga de Direito de Uso de Recursos

Hídricos com base na Portaria nº 717/1996 e também de usos considerados insignificantes (captações com volume inferior a 5,0 m³/dia), com base na Portaria DAEE nº 2292/2006.

Numa avaliação complementar dos dados a fim de observar alterações na qualidade da água com indícios de contaminação pelas atividades das granjas, foram selecionados os dados disponíveis de 50 poços tubulares dos anos de 2009 e 2013 operados exclusivamente para abastecimento de granjas, em que foram observados, além do parâmetro nitrato, os seguintes parâmetros: amônia, nitrito, cloreto, pH, fluoreto e *escherichia coli* (Anexo 2).

Segundo DAEE/UNESP (2013, p.22), os parâmetros nitrato, fluoreto e cloreto podem ser utilizados como indicadores de alterações na qualidade natural de águas subterrâneas, pois, apresentam concentrações elevadas em casos de contaminação antrópica.

A metodologia empregada para interpretação dos dados foi a análise por meio de tabelas e gráficos, a fim de observar as variações nas concentrações de nitrato nos anos de 2009 e 2013, além de uma avaliação do nitrato com outros parâmetros associados a contaminação por origem orgânica, nos poços tubulares que abastecem exclusivamente granjas.

Foram elaborados mapas através do *software ArcGis* versão 9.3 com a localização da área urbana do município, das granjas e dos poços tubulares, dos valores das concentrações de nitrato identificados por escalas de cores, drenagem superficial, curvas de nível do terreno e de nível potenciométrico, sendo esta última elaborada empregando ferramenta de interpolação e criação de modelos de terreno no *software ArcGis*, com base nas informações de níveis estáticos dos poços.

Para representação das concentrações de nitrato dos poços nos mapas, utilizou-se escalas de cores por quatro faixas de concentração, sendo de 0 - 5,0 mg/L representados pela cor verde, de 5,0 - 10,0 mg/L pela cor amarela, de 10,0 - 20,0 mg/L pela cor vermelha e acima de 20,0 mg/L pela cor lilás. A representação dessas concentrações de nitrato nos mapas foi elaborada utilizando os dados dos 104 poços em operação no município no ano de 2009.

Imagens de fotos aéreas fornecidas pela Prefeitura Municipal de Bastos foram empregadas para representação das áreas ocupadas por granjas, identificadas nos mapas por polígonos, para avaliar a sua posição em relação aos poços tubulares. As granjas podem ser identificadas por serem grandes barracões como, por exemplo, na Figura 17, em que é possível observar uma grande quantidade de barracões edificadas em uma área de aproximadamente 150 ha, onde existem seis poços tubulares instalados e operando.



Figura 17 Foto aérea que indica a presença de granjas e dos poços tubulares instalados na área.

Na Figura 18 é um exemplo onde observa-se a forma de representação espacial do polígono que contém os barrações das granjas em uma porção da área estudada, com destaque para os diferentes níveis de concentração de nitrato observados nos poços inseridos nesta área, através da identificação pela escala de cores das concentrações de nitrato.



Figura 18 Exemplo com representação do polígono que contém os barrações das granjas e a identificação de poços.

5 RESULTADOS E ANÁLISE

As informações dos poços no município de Bastos estão apresentadas no Anexo 1, contendo, além das concentrações de nitrato para o ano de 2009, as coordenadas UTM, níveis estáticos e cotas potenciométricas.

A avaliação dos dados de 2009 mostraram que dos 104 poços tubulares, 34 (32,7%) apresentaram valores acima do máximo permitido pela Portaria MS nº 2914/2011, enquanto 70 poços (67,3%) estavam abaixo deste valor. Em alguns casos, as concentrações de nitrato excederam 20 mg/L atingindo até o valor máximo observado de 51,2 mg/L. Observa-se no gráfico da Figura 19 a distribuição da quantidade de poços com valores de nitrato separados por classes.

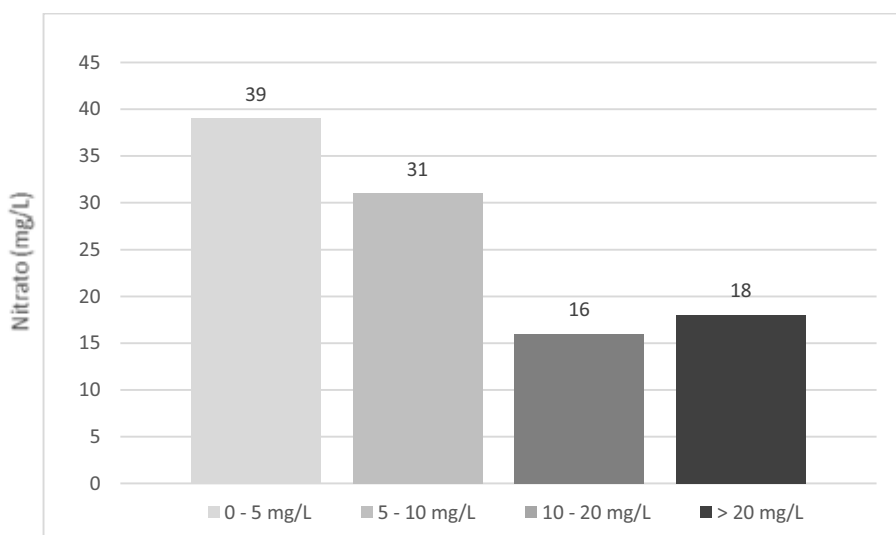


Figura 19 Gráfico de distribuição dos poços em classes de concentração de Nitrato no ano de 2009.

Considerando os dados disponíveis no relatório de qualidade para águas subterrâneas publicado pela CETESB para o período de 2010 a 2012 (Anexo 3), quanto ao parâmetro nitrato, o valor de referência de qualidade – VRQ – para o aquífero Bauru é de 1,5 mg/L. Observa-se, pelos dados do Anexo 1, que muitos poços apresentam valores de

concentração de nitrato acima do VRQ para o aquífero local, indicando anormalidade, mesmo quando tal parâmetro não excede o limite recomendado para potabilidade.

Em uma análise complementar, os dados de 50 poços que abastecem unicamente granjas foram selecionados e os seguintes parâmetros foram considerados: nitrato, amônia, nitrito, cloreto, pH, fluoreto e *escherichia coli*. Esses dados também foram obtidos dos laudos de análise de água fornecidos ao DAEE referente aos anos de 2009 e 2013, conforme podem ser observados no Anexo 2. Salienta-se que a identificação dos poços nesta análise complementar segue a mesma sequência dos poços no ano de 2009.

O parâmetro pH apresentou um valor médio igual a 7,0 no ano de 2009, indicando a ocorrência de água neutra e 6,0 no ano de 2013, indicando água levemente ácida.

Quanto aos parâmetros amônia e nitrito, em alguns casos apresentaram traços, com valores baixos, sendo a maioria nulo e abaixo dos VMP's, conforme pode ser verificado nas Figuras 20 e 21. O Valor Máximo Permitido para o parâmetro amônia é de 1,5 mg/L e do nitrito 0,1 mg/L, segundo a Portaria n° 2914/2011 do Ministério da Saúde.

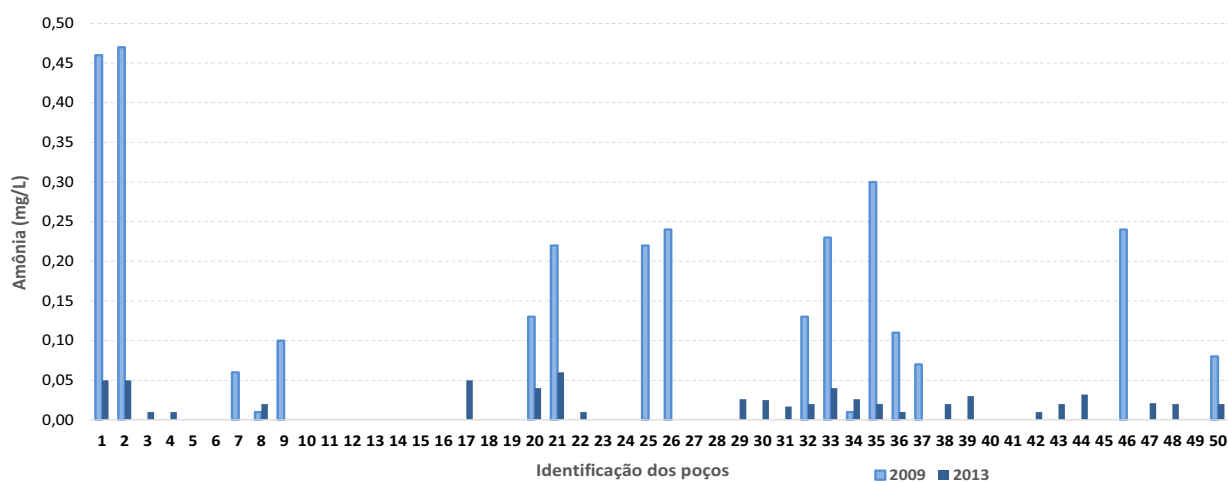


Figura 20 Variação do parâmetro amônia nos anos de 2009 e 2013.

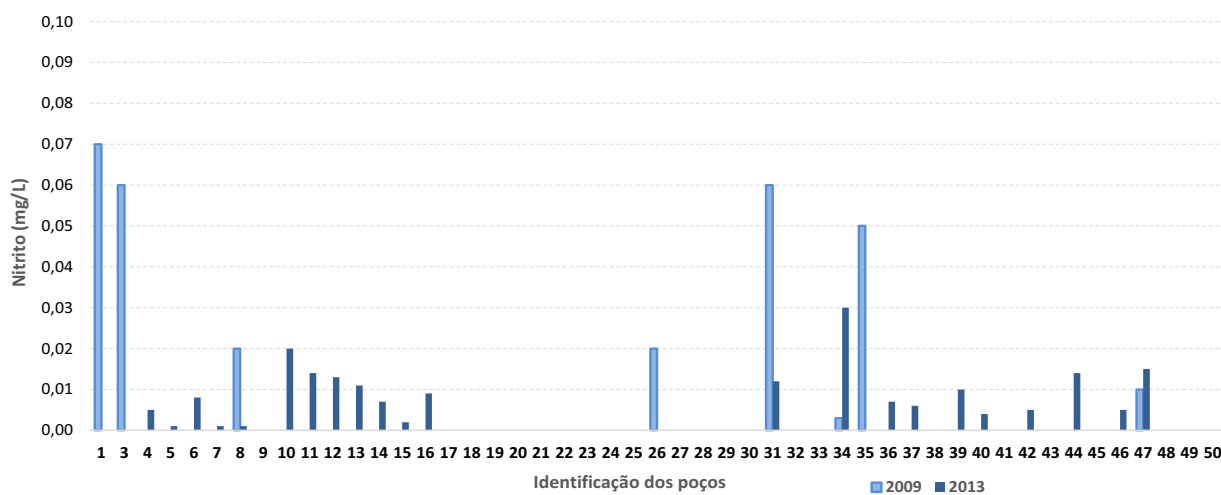


Figura 21 Variação do parâmetro nitrito nos anos de 2009 e 2013.

Os parâmetros amônia e nitrito têm sua conversão pelo processo de nitrificação, que ocorre em ambiente com presença de oxigênio. Devido ao aquífero Bauru local ser livre e a zona de saturação pouco profunda e com presença de oxigênio, os processos de nitrificação da amônia para nitrito e para nitrato são favorecidos e impede a conversão do nitrato para nitrogênio gasoso, que ocorre pela desnitrificação em ambiente anaeróbio.

Varnier (2010), em estudo das concentrações de nitrato no aquífero Bauru no município de Marília, comenta:

“[...] compostos da série nitrogenada (nitrogênio orgânico, amônio, nitrito), [...] estiveram abaixo do limite de detecção, denotando um ambiente oxidante para toda a área de estudo, o que propicia a existência de nitrato de forma abundante e estável”.

Tal fato demonstra que a presença de oxigênio em aquíferos livres, constatado pela interpretação dos dados no aquífero Bauru local, favorece o acúmulo do nitrato, que não é convertido em ambiente oxidante.

Em alguns poços observou-se a presença de *escherichia coli*, para os dois anos analisados. Segundo Santos (2008, p. 339), tal parâmetro é indicador de contaminação por dejetos humanos ou animais de sangue quente. Este fato pode estar associado ao lançamento de efluentes domésticos em sistemas de saneamento in situ (fossas sépticas), ou estar associado aos dejetos das aves, sendo esse mais um possível indicador de contaminação do aquífero por tal atividade.

O parâmetro fluoreto não apresentou valores acima do VMP pelo Ministério da Saúde (VMP > 1,5 mg/L) ou que possibilitasse associá-lo aos demais parâmetros. Segundo DAEE/UNESP (2013, p.22), no estado de São Paulo, em amostras de 370 poços tubulares distribuídos em 156 municípios, a variação encontrada para esse parâmetro foi de 0,1 a 8,48 mg/L, sendo que as maiores concentrações foram encontradas principalmente nos Aquíferos Cristalino e Tubarão.

Numa avaliação mais detalhada do parâmetro nitrato nos dois anos, observou-se que, dos 50 poços analisados, 19 apresentaram um aumento; 15 uma redução e os 16 restantes apresentaram valores muito próximos nos dois anos, conforme pode ser verificado na Figura 22.

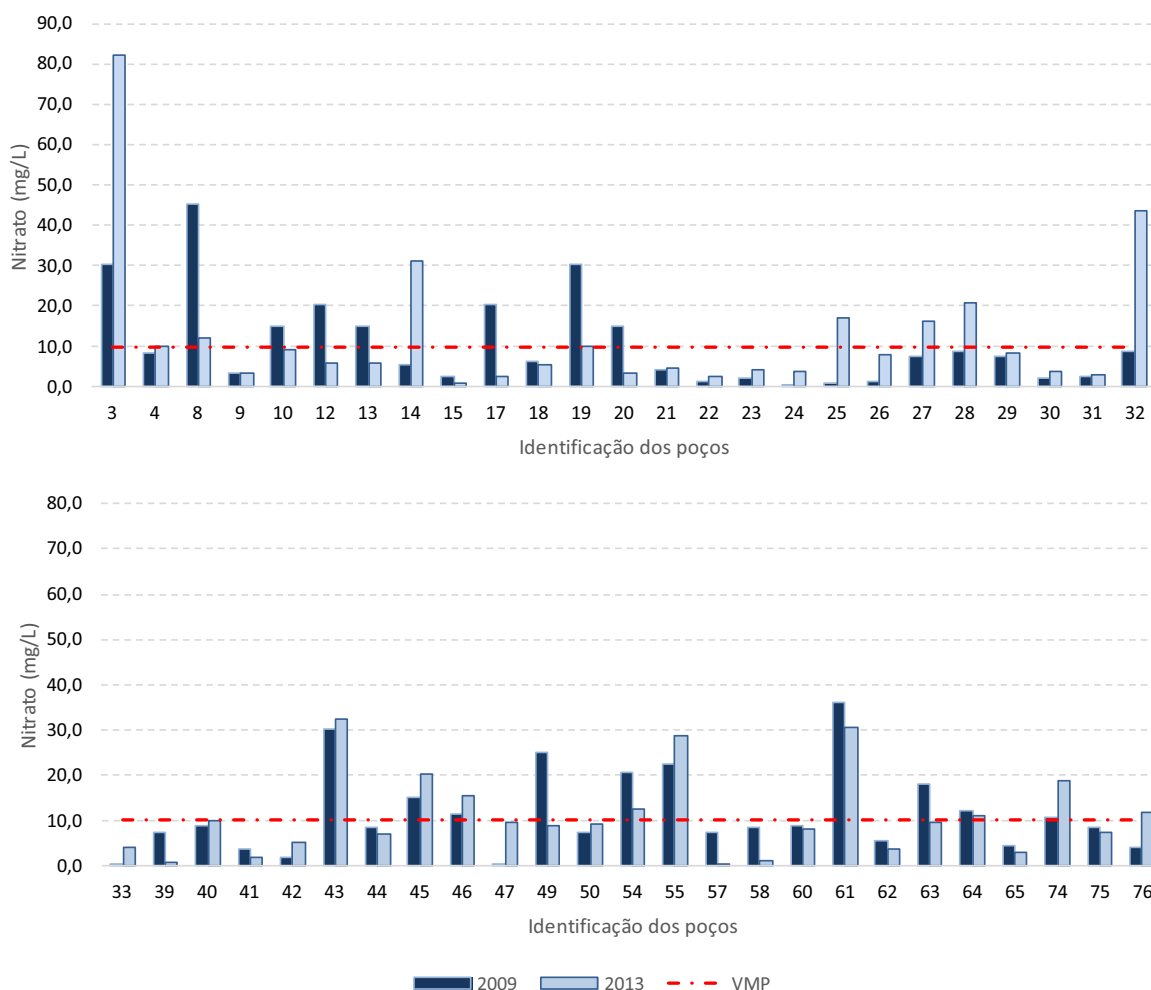


Figura 22 Gráfico comparativo da evolução das concentrações de Nitrato em 2009 e 2013.

As concentrações de nitrato observadas nos dois anos analisados foram plotadas no gráfico da Figura 23, em que o eixo das abscissas representa os dados referentes ao ano de 2009 e o eixo das ordenadas os dados do ano de 2013. Observou-se que, dos 50 poços analisados, 26 apresentaram valores de nitrato abaixo do valor máximo permitido nos dois anos; 8 tiveram valores acima do VMP em 2009 e abaixo em 2013; 6 apresentaram valores abaixo do VMP em 2009 e acima em 2013 e 10 apresentaram valores acima do VMP nos dois anos.

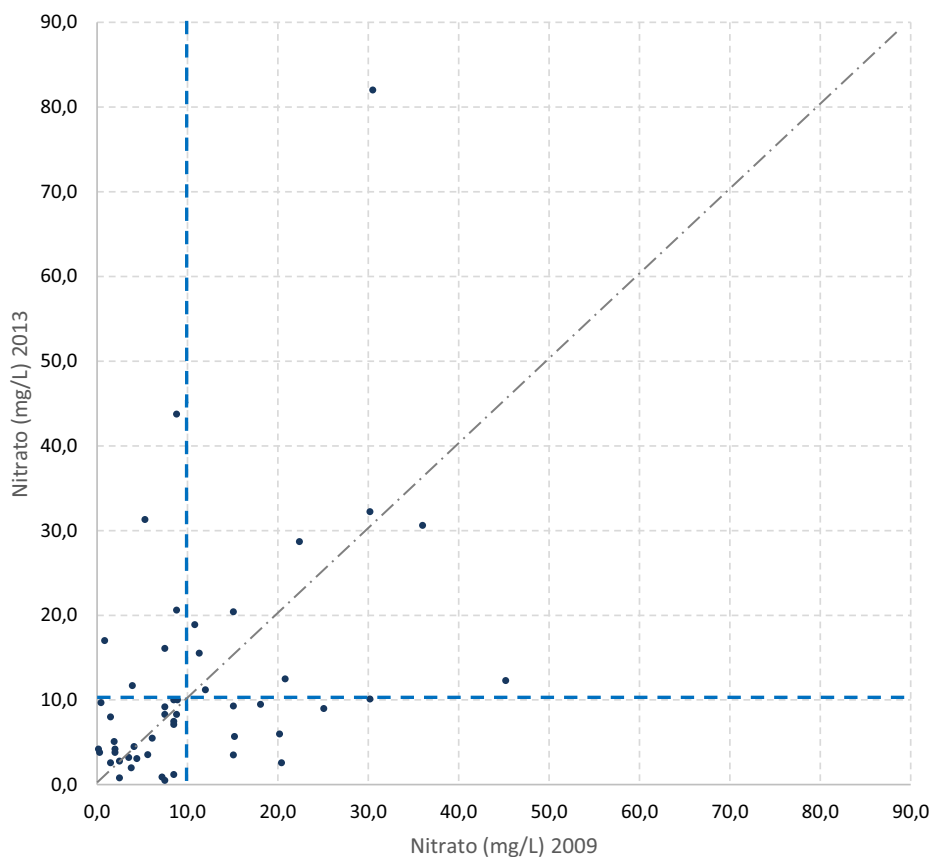


Figura 23 Variação das concentrações de nitrato em 2009 e 2013.

O parâmetro cloreto não apresentou concentrações acima do VMP estipulado pelo Ministério da Saúde nos dois anos analisados. No entanto, relacionando os dados de 2009 e 2013 deste parâmetro com as concentrações de nitrato nos mesmos anos, observou-se que ocorrem variações proporcionais entre esses parâmetros, conforme pode ser observado nos gráficos das Figuras 24 e 25.

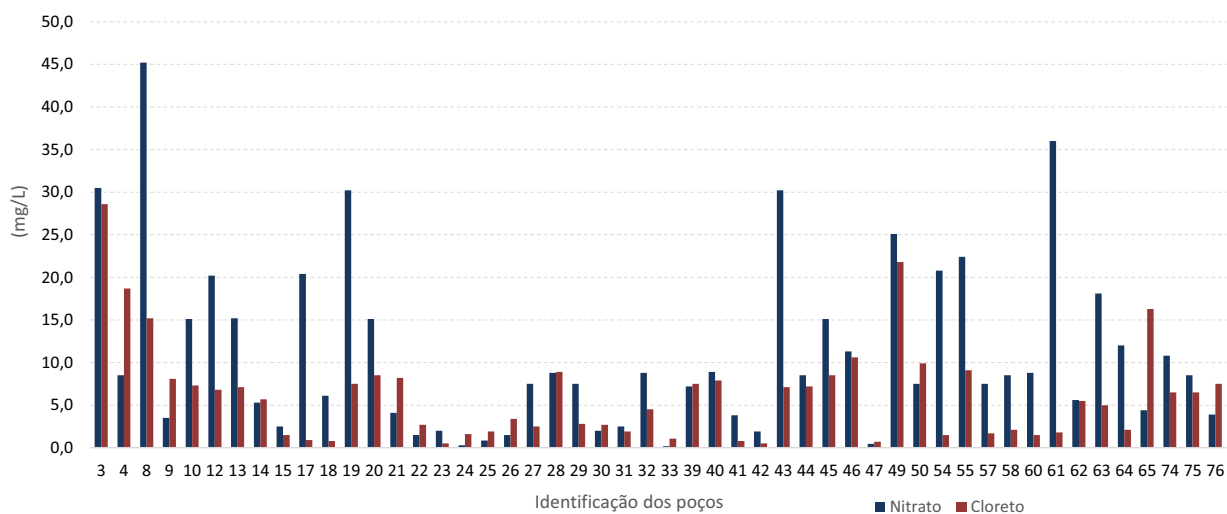


Figura 24 Concentrações de nitrato e cloreto no ano de 2009.

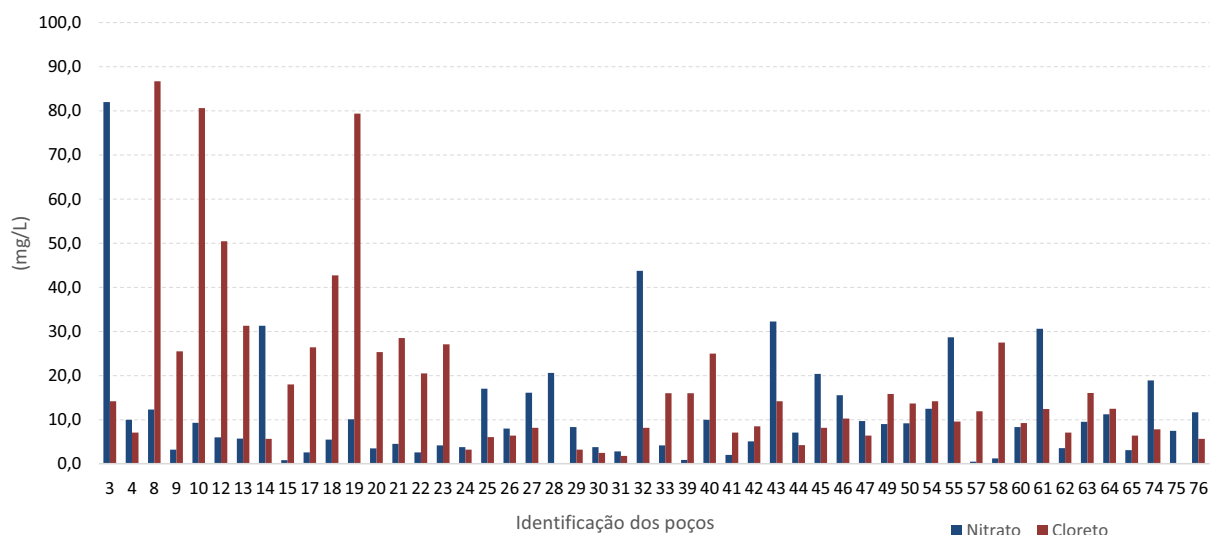


Figura 25 Concentrações de nitrato e cloreto no ano de 2013.

O cloreto é em geral muito solúvel e estável, não oxida e nem se reduz, o que favorece seu acúmulo em águas subterrâneas na direção do fluxo, sendo um bom indicador de contaminação (SANTOS, 2008, p. 336). Desta forma, a variação observada na relação entre o nitrato e o cloreto nos anos de 2009 e 2013, indicam que as alterações na qualidade da água do aquífero Bauru local estejam associadas a fontes de origem orgânica, pois tais parâmetros são associados a casos de contaminação por dejetos. Constatou-se também que no ano de 2013 as concentrações de cloreto foram maiores do que às observadas em 2009.

Através dos mapas gerados a partir das informações dos poços tubulares do município (Figuras 26 e 27), observa-se que ao redor da área urbana existem grandes áreas ocupadas por granjas, representadas por polígonos que foram identificados a partir de imagens aéreas, que foram obtidas da Prefeitura Municipal. Não é possível afirmar se todas essas granjas e barracões identificados nas imagens estão em funcionamento. No entanto, o fato de haver tais pontos de possíveis focos de poluição identificados juntamente com a posição dos poços, permite determinar que as maiores concentrações estão principalmente em áreas com grande quantidade de granjas, evidenciando o impacto desta atividade na qualidade do recurso hídrico subterrâneo.

As curvas potenciométricas indicam que o fluxo provável das águas subterrâneas pode induzir possíveis plumas no sentido da zona urbana, podendo atingir áreas onde existem poços de abastecimento público.

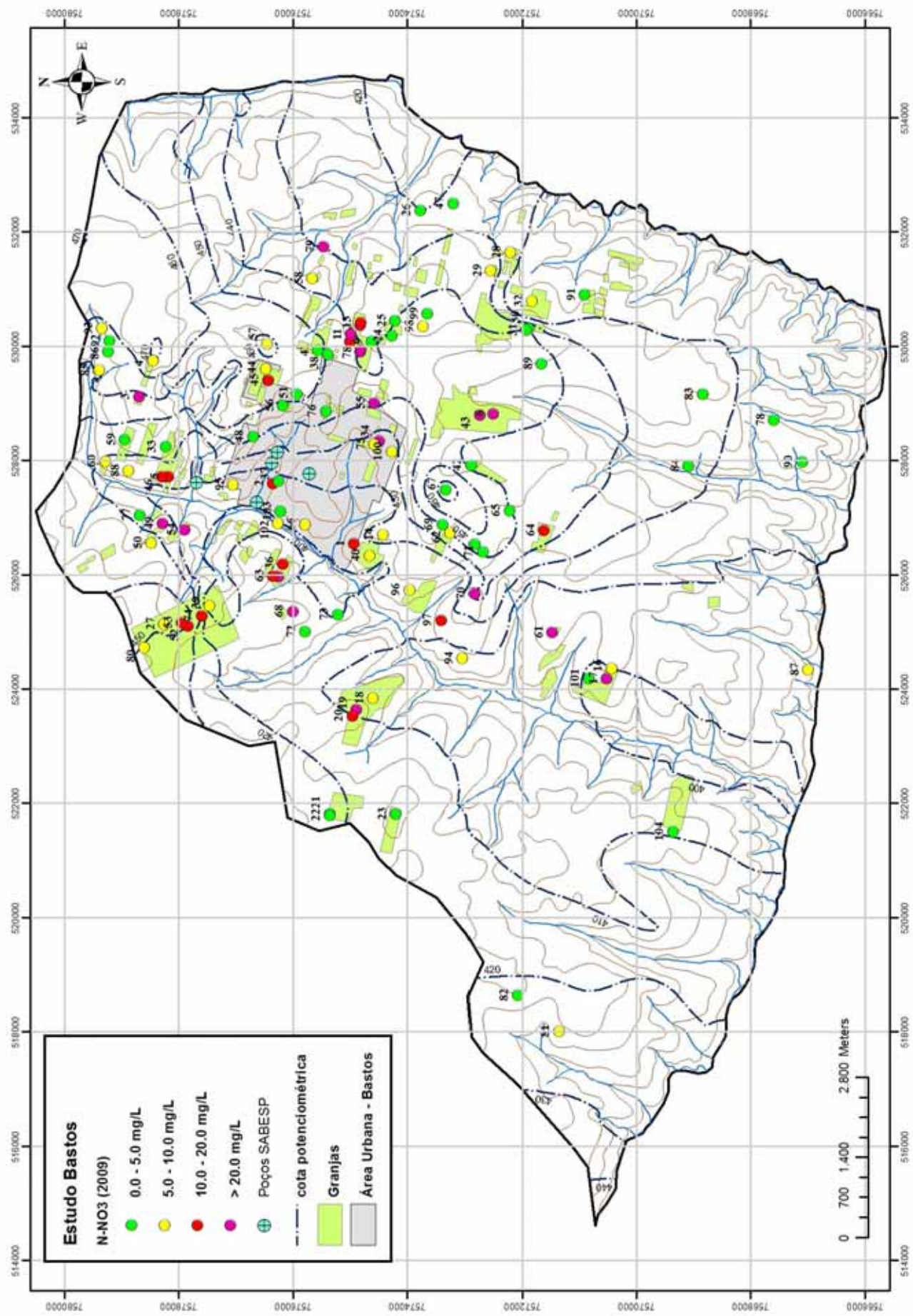


Figura 26 Mapa de distribuição das concentrações de nitrato no ano de 2009, localização das granjas, área urbana, poços de abastecimento e cotas potenciométricas.

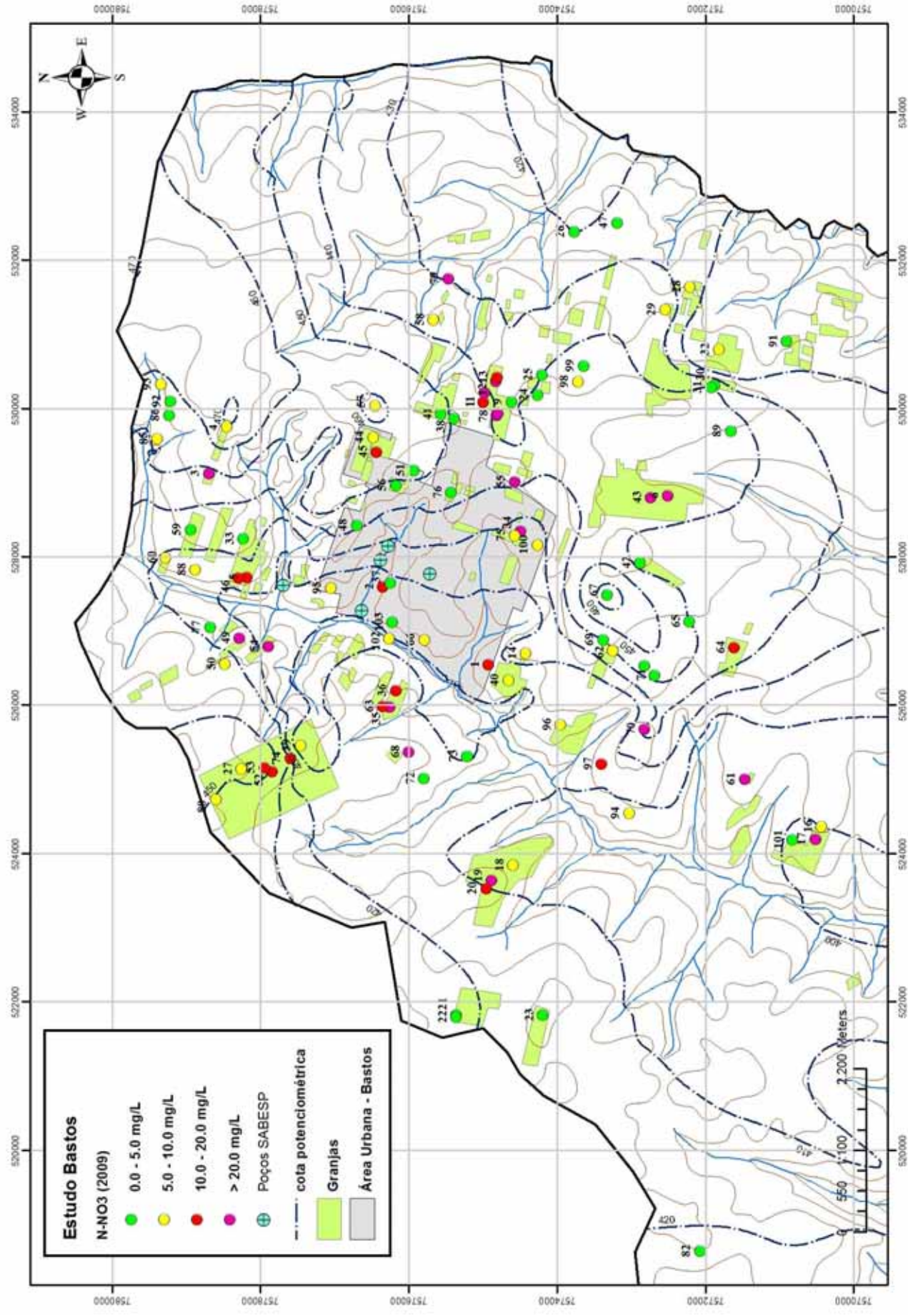


Figura 27 Mapa de distribuição das concentrações de nitrato no ano de 2009, localização das granjas, área urbana, poços de abastecimento e cotas potenciométricas, ampliado.

Em visitas técnicas realizadas em algumas granjas em Bastos, observou-se que muitos poços estão localizados próximos de fontes de contaminação, por terem sido executados em locais inadequados ou pela possível expansão das granjas ao redor desses poços, sendo que muitos foram executados provavelmente a mais de 30 anos. Isto pode influenciar significativamente as alterações encontradas nas análises de água desses poços, pois, uma vez que alguma fonte de poluição esteja dentro da Zona de Influência do poço em operação, devido ao cone de rebaixamento e o gradiente hidráulico formado, pode-se induzir o transporte de águas mais próximas da superfície com maiores concentrações de substâncias para dentro do poço e das camadas mais profundas do aquífero.

Um exemplo de poços instalados em locais inapropriados é ilustrado na Figura 28, que mostra a proximidade do poço aos barracões da granja. Este é um exemplo típico de poço instalado em local sem a devida preocupação quanto a distância das fontes de contaminação e a preservação de perímetro de proteção adequado, em desacordo com as normas técnicas.



Figura 28 Exemplo de poço próximo de fontes de contaminação.

Na Figura 28 é possível observar que além do poço estar próximo dos barracões, ele está localizado no centro de vias de circulação de veículos, sem respeitar o perímetro de proteção imediato e cercamento adequado.

Poços executados sem o perímetro de proteção adequado, bem como lajes de proteção contra intrusão de substâncias, podem favorecer a infiltração de água superficial

com altas concentrações de substâncias que são induzidas pelo bombeamento para dentro dos poços, provocando contaminação.

Entre 2009 e 2013, durante os processos de regularização das captações subterrâneas no município de Bastos, foram necessárias adequações físicas nos poços tubulares, em conformidade com a legislação estadual de recursos hídricos e as normas técnica adotadas pelo DAEE como delimitação dos perímetros de proteção dos poços e cercamento, além de construção de lajes de proteção sanitária. Tais adequações podem ter contribuído para a redução das concentrações observadas, em alguns casos, entre os dois anos estudados, uma vez que os poços apresentam, de certa forma, maior proteção contra intrusões de substâncias do meio externo.

O relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo publicado pela CETESB para o período entre 2010 e 2012 dedica especial atenção quanto aos indícios de concentrações de nitrato no estado, principalmente ao Aquífero Bauru. Neste relatório, constatou-se que, desde o início da série histórica da implantação da rede de monitoramento no estado, os dados atuais sugerem uma redução nos índices em que os valores de nitrato ultrapassam o VMP de 10,0 mg/L. Porém, considerando tais dados, observou-se que ocorreu aumento nos índices de nitrato até 5,0 mg/L, valor considerado de prevenção pela CETESB. A UGRHI 20 – Aguapeí é a sub-bacia hidrográfica com maior número de poços com concentrações elevadas de nitrato no território de afloramento do aquífero Bauru, estando o município de Bastos inserido nesta sub-bacia. Segundo tal relatório, considera-se que as principais fontes antrópicas difusas fornecedoras de compostos nitrogenados são: aplicação de fertilizantes orgânicos e sintéticos nitrogenados, utilização de fossas sépticas ou negras, vazamentos das redes coletoras de esgoto e influência de rios contaminados na zona de captação de poços.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O nitrato é uma substância comumente encontrada em análises de água de poços tubulares profundos que exploram o aquífero Bauru, sendo, muitas vezes, relacionado à falta de rede coletora de esgotos e a proximidade de fossas sépticas, podendo em alguns casos apresentar concentrações acima do Valor Máximo Permitido (VMP) segundo a Portaria do Ministério da Saúde nº 2414/2011.

A avaliação dos dados obtidos dos poços tubulares em operação no município de Bastos demonstra que ocorrem concentrações elevadas do íon nitrato, em alguns casos muito acima dos valores usuais para poços que exploram os aquíferos do Grupo Bauru.

Outro fator, no entanto, que deve ser considerado na análise das distribuições é que o nitrato é uma substância persistente neste meio devido a presença de oxigênio, que atenua o processo natural de conversão para nitrogênio gasoso (N_2).

Os diferentes gradientes hidráulicos formados pela operação dos poços tubulares em conjunto podem deslocar plumas de contaminação em sentidos adversos ao movimento natural das águas subterrâneas do aquífero, além de induzir o deslocamento de água mais próxima da superfície com maiores concentrações de substâncias para camadas mais profundas. Todas essas variáveis dificultam a análise desses dados e uma avaliação da evolução das concentrações no espaço e no tempo, bem como a localização de possíveis plumas de contaminação.

Os dados de monitoramento do aquífero Bauru realizado pela CETESB em todo o estado de São Paulo entre 2010 e 2012 (Anexo 4) demonstram que, para o parâmetro nitrato, as concentrações mínimas e máximas encontradas foram respectivamente $<0,03$ e $19,0$ mg/L, sendo que o Valor de Referência de Qualidade - VRQ para tal parâmetro é de $1,5$ mg/L. Comparando esses dados com aqueles existentes em Bastos, muitos poços apresentaram valores muito acima do valor de referência para o aquífero Bauru.

Isto indica que a avicultura de postura, principal atividade econômica do município, pode estar contribuindo para o aumento nas concentrações de nitrato no aquífero Bauru

local, podendo comprometer poços de abastecimento público, uma vez que plumas podem migrar nessa direção e sentido.

Este estudo evidencia que algumas atividades humanas não consideradas como potencial de risco de contaminação das águas subterrâneas merecem maior atenção, devendo os órgãos competentes agir no sentido de orientar e melhorar a sua operação, como é o caso de criação animal por confinamento, que deve ter um melhor controle e disposição dos resíduos, evitando assim a contaminação difusa das águas superficiais e subterrâneas.

Algumas recomendações são importantes para um maior detalhamento do caso estudado, quais sejam:

- Avaliar a distribuição das concentrações no espaço e no tempo, com coletas e análises de amostras em período seco e chuvoso e em diferentes profundidades;
- Fazer uma avaliação hidroquímica do aquífero, adotando parâmetros da série nitrogenada e análises de cátions e ânions complementares, bem como ensaios *in situ* de parâmetros físicos de alguns poços selecionados;
- Avaliar como a influência da falta de proteção adequada dos poços e a proximidade em relação às fontes de contaminação (barracões de granjas, fossas e aterros de resíduos) podem contribuir para o aumento nas concentrações de nitrato;

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, B, et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 1. ed.: Prentice Hall, São Paulo, 2002.

BRASIL. Conama. **Resolução nº 396**, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). **Manual de Segurança e Qualidade para Avicultura de Postura** – Série Qualidade e Segurança dos Alimentos – Projeto PAS Campo, Brasília, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, Brasília, 2011.

BRASIL. **Decreto de Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, Brasília, 1981.

CABRAL, N.M.T. et al. **Comportamento do nitrato em poços do aquífero Dunas/Barreiras nas explorações Dunas e Planalto**, Natal, RN, Brasil. Eng. Sanit. Ambient. Rio de Janeiro, V.14, n.3, 2009.

CAGNON, F.A.; HIRATA, R. **Source of nitrate in the groundwater of Adamantina Aquifer in Urânia, SP – Brazil**. In: XXXIII IAH Congress / VII ALHSUD, 2004, Zacatecas City. Anais do XXXIII IAH Congress, 2004.

CAMPOS, H.C.N.S. **Contribuição ao estudo hidrogeoquímico do grupo Bauru no estado de São Paulo**. 1987. 158 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CLEARY, R.W. **Águas subterrâneas**: Princeton Groundwater Inc., 1989.

COLIN, B.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4.ed.: Bookman, 2011.

Comitê Das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe – CBH AP. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe**: 1997. CETEC, 202p.

Comitê Das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe – CBH AP. **Plano das Bacias Hidrográficas das Bacias Aguapeí e Peixe**: 2008. CETEC, 314 p.

DAEE/IG/IPT/CPRM – Departamento de Águas e Energia Elétrica / Instituto Geológico / Instituto de Pesquisas Tecnológicas / Serviço Geológico Do Brasil. 2005. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. DAEE, IG, IPT, CPRM. São Paulo.

DANIEL, M. H. B. **Caracterização do perfil do nitrato na água para consumo humano do município de Natal-RN no ano de 2007**. Monografia (especialização) Universidade de Brasília. 2008.

ESRI. Arcgis Resource Center: How Topo to Raster Works?. Disponível em: < <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z0000007m000000.htm> >. Acesso em: 14 jun. 2014.

ELIS, V.R. **A Geofísica como ferramenta para detectar e mapear contaminação: material básico – principais métodos geofísicos e aplicações**: Departamento de Geofísica – IAG/USP.

FEITOSA, F.A.C.; DEMETRIO, J.G.A. Hidráulica de aquíferos e eficiência de poços. In: GIAMPÁ, C.E.Q.; GONÇALES, V.G. **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos**: Signus Editora. São Paulo, 2006. Cap. 10, p. 326-327.

FEITOSA, F.A.C.; FEITOSA, E.C.; FILHO, J.M. Análise de Fluxo para poços em meios homogêneos. In: FEITOSA, A.C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008. 3.ed. Cap 6.4, p. 525-530.

FERNÍCOLA, N.G.G., AZEVEDO, F.A.A. Metemoglobinemia e nitrato nas águas. **Revista de Saúde Pública**, 15, p.242-248, 1981.

FILHO, J.M. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, A.C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008. 3.ed. Cap 5.3, p.381-404.

FOSTER, S. et al. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Banco Mundial. Washington D.C, 2006.

HIRATA, R.C.A. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudo de caso no estado de São Paulo**. 1994. 195 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo.

HIRATA R., FERNANDES, A. J. Vulnerabilidade à Poluição de Aquíferos . In: FEITOSA, A.C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008. 3.ed. Cap 5.4, p.405-424.

LIMA, J.C.; PEDROSA, V.A.; ROCHA, W.J.S. **Avaliação da concentração de nitrato nas águas subterrâneas no bairro do farol, em Maceió-AL**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, n. 9, 2008, Salvador.

MANAHAN, S.E. **Fundamentals of environmental chemistry**. 2.ed.: Lewis Publishers, 2000.

MANTOVANI, J.R. et al. Comparação de procedimentos de quantificação de nitrato em tecido vegetal. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, v.40, n.1, p.53-59, 2005.

MARIANO, I.B. Projeto de Poços. In: GIAMPÁ, C.E.Q.; GONÇALES, V.G. **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos**: Signus Editora. São Paulo, 2006. Cap. 7, p. 187-194.

NISHIHARA, L.; ALABURDA, J. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, v. 32, n. 2, 1998.

ODUM, E.P.; BARRETT, G.W. **Fundamentos de Ecologia**. 5.ed.: Cengage Learning, 2013.

PRANDI, E. C. **Gestão integrada das águas do sistema aquífero Bauru nas bacias hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe / SP**. 2010. 144 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Rio Claro.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BASTOS (SP). foto aérea. Bastos. 2011. SF-22-X-C-I-V-3-SE, SF-22-X-C-I-V-3-SO, SF-22-X-A-I-1-NE, SF-22-X-A-I-2-NO, Escala 1:50000.

REBOUÇAS, A.C. Importância da Água Subterrânea. In: FEITOSA, A.C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008. 3.ed. Cap 1.2, p.13-29.

REYNOLDS, J.M. **An introduction to applied and environmental geophysics**: Wiley, 1997.

SANTOS, A.C. Noções de Hidroquímica In: FEITOSA, A.C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008. 3.ed. Cap 5.1, p. 325-357.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 6.134**, de 2 de junho de 1998. Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Diretoria de Procedimentos de Outorga. **Instrução Técnica DPO nº 006**, São Paulo, 2013.

SÃO PAULO (Estado). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo – 2010-2012**, São Paulo, 2013.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, UNESP. DAEE. IG. **Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Diretrizes de utilização e proteção**, São Paulo, 2013.

SILVA, F.P. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. 167 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de

Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Rio Claro.

SPIRO, T.G.; STIGLIANI, W.M. **Química Ambiental**. 2.ed.: Pearson Prentice Hall, 2009.

VARNIER, C.; GUERRA, S.P; HIRATA, R. **Metodologia de avaliação dos padrões de ocupação urbana e contaminação por nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, centro-oeste do Estado de São Paulo**. In: Congr. Intern. Meio Ambiente Subterrâneo, 1, 2009. Anais. São Paulo: ABAS, 8p.

VARNIER, C. et al. **Nitrato nas águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru, na área urbana do município de Marília (SP)**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 31. n. 1-2, 2010.

WICANDER, R.; MONROE, J.S. **Fundamentos de geologia**: Cengage Learning, 2011.

ANEXOS

ANEXO 1 – Dados dos 104 poços cadastrados – ano de 2009

Identificação poços	Coordenadas UTM		Nível Est. (m)	Cota Pot. (m)	Nitrato (mg/L)	
	Km N	Km E			2009	2009
1	7574,932	526,556	-	-	10,7	8,9
2	7576,349	527,605	-	-	15,5	3,8
3	7578,699	529,127	37	447	30,5	1,9
4	7578,455	529,757	35	470	8,5	30,2
5	7578,183	527,729	16	429	20,0	8,5
6	7572,508	528,831	-	-	25,2	15,1
7	7574,820	529,914	36	437	51,2	11,3
8	7574,810	529,941	37	438	45,2	0,5
9	7574,620	530,093	41	439	3,5	2,8
10	7575,000	530,093	21	446	15,1	25,1
11	7574,988	530,218	19	442	20,5	7,5
12	7574,828	530,374	33	432	20,2	2,5
13	7574,816	530,425	32	433	15,2	15,2
14	7574,427	526,703	17	427	5,3	12,4
15	7572,830	526,537	11	447	2,5	20,8
16	7570,436	524,368	21	400	7,4	22,4
17	7570,520	524,195	17	398	20,4	3,1
18	7574,600	523,848	-	-	6,1	7,5
19	7574,890	523,644	-	-	30,2	8,5
20	7574,960	523,535	-	-	15,1	5,0
21	7575,360	521,824	-	-	4,1	8,8
22	7575,360	521,800	-	-	1,5	36,0
23	7574,200	521,824	-	-	2,0	5,6
24	7574,273	530,188	42	441	0,3	18,1
25	7574,213	530,456	40	440	0,9	12,0
26	7573,776	532,383	12	420	1,5	4,4
27	7578,260	525,147	30	452	7,5	5,3
28	7572,212	531,648	16	424	8,8	2,5
29	7572,546	531,337	24	435	7,5	31,2
30	7571,884	530,318	32	439	2,0	2,1
31	7571,925	530,288	33	440	2,5	34,4
32	7571,825	530,797	23	390	8,8	4,6
33	7578,233	528,254	33	434	0,2	3,8
34	7574,497	528,349	18	427	40,8	3,2
35	7576,255	525,981	-	-	21,0	10,8
36	7576,172	526,199	-	-	15,0	8,5
37	7576,249	527,651	-	-	1,5	3,9
38	7575,385	529,871	-	-	0,6	3,8
39	7577,463	525,463	35	368	7,2	0,8

ANEXO 1 – Dados dos 104 poços cadastrados – ano de 2009 (continuação)

Identificação poços	Coordenadas UTM		Nível Est. (m)	Cota Pot. (m)	Nitrato (mg/L)	
	Km N	Km E			2009	2009
79	7575,465	531,757	-	-	-	22,7
80	7578,603	524,739	-	-	-	5,1
81	7571,354	518,010	-	-	-	6,6
82	7572,078	518,650	-	-	-	0,7
83	7568,841	529,170	-	-	-	0,6
84	7569,091	527,918	-	-	-	3,8
85	7579,394	529,595	-	-	-	5,3
86	7579,235	529,910	-	-	-	1,9
87	7566,992	524,342	-	-	-	10,0
88	7578,880	527,830	-	-	-	5,7
89	7571,660	529,703	-	-	-	0,7
90	7567,099	527,981	-	-	-	1,8
91	7570,906	530,907	-	-	-	5,0
92	7579,219	530,103	-	-	-	4,0
93	7579,345	530,328	-	-	-	9,9
94	7573,034	524,548	-	-	-	7,4
95	7577,050	527,587	-	-	-	8,1
96	7573,960	525,745	-	-	-	6,7
97	7573,406	525,210	-	-	-	13,1
98	7573,724	530,361	-	-	-	7,9
99	7573,648	530,577	-	-	-	0,9
100	7574,270	528,164	-	-	-	9,4
101	7570,834	524,189	-	-	-	1,6
102	7576,261	526,905	-	-	-	7,5
103	7576,221	527,121	14	408	-	0,6
104	7569,361	521,513	-	-	-	0,8

ANEXO 2 – Dados de qualidade referentes aos 50 poços – anos 2009 e 2013.

Identificação poços	Coordenadas UTM Km N Km E		2009						2013							
			Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Cloreto (mg/L)	pH	Fluoreto (mg/L)	Escherichia Coli	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Cloreto (mg/L)	pH	Fluoreto (mg/L)	Escherichia Coli
03	7578,699	529,127	0,46	30,50	0,07	28,60	6,09	Ausente	<0,05	82,000	<0,05	14,180	5,100	0,150	Ausente	Ausente
04	7578,455	529,757	0,47	8,50	<0,05	18,70	6,78	Ausente	<0,05	10,000	<0,05	7,090	6,040	<0,05	Ausente	Ausente
08	7574,81	529,941	<0,05	45,20	0,06	15,20	7,25	Ausente	<0,05	12,300	<0,05	86,700	6,260	0,480	Ausente	Ausente
09	7574,62	530,093	<0,05	3,50	<0,05	8,10	7,45	Ausente	<0,05	3,200	<0,05	25,480	6,030	0,100	Ausente	Ausente
10	7575,00	530,093	<0,05	15,10	<0,05	7,30	6,91	Ausente	<0,05	9,300	<0,05	80,620	6,120	0,470	Ausente	Ausente
12	7574,828	530,374	<0,05	20,20	<0,05	6,80	7,36	Ausente	<0,05	6,000	<0,05	50,460	6,120	0,230	Ausente	Ausente
13	7574,816	530,425	0,06	15,20	<0,05	7,10	7,56	Ausente	<0,05	5,700	<0,05	31,290	5,980	0,190	Ausente	Ausente
14	7574,427	526,703	<0,05	5,30	<0,05	5,70	6,00	Ausente	<0,05	31,300	<0,05	5,670	4,950	0,090	Ausente	Ausente
15	7572,83	526,537	0,1	2,50	<0,05	1,50	7,70	Ausente	<0,05	0,800	<0,05	18,000	6,000	0,080	Ausente	Ausente
17	7570,52	524,195	<0,05	20,40	<0,05	0,90	6,81	Presente	<0,05	2,600	<0,05	26,430	6,100	0,400	Ausente	Ausente
18	7574,600	523,848	<0,05	6,10	<0,05	0,80	8,23	Ausente	<0,05	5,500	<0,05	42,700	6,910	<0,05	Ausente	Ausente
19	7574,890	523,644	<0,05	30,20	<0,05	7,50	7,42	Ausente	<0,05	10,100	<0,05	79,400	6,910	0,620	Ausente	Ausente
20	7574,960	523,535	<0,05	15,10	<0,05	8,50	8,05	Ausente	<0,05	3,500	<0,05	25,300	6,230	<0,05	Ausente	Ausente
21	7575,360	521,824	<0,05	4,10	<0,05	8,20	7,30	Ausente	<0,05	4,500	<0,05	28,500	6,360	<0,05	Ausente	Ausente
22	7575,360	521,800	<0,05	1,50	<0,05	2,70	7,70	Ausente	<0,05	2,600	<0,05	20,500	6,050	<0,05	Ausente	Ausente
23	7574,200	521,824	<0,05	2,00	<0,05	0,50	8,17	Ausente	<0,05	4,200	<0,05	27,100	6,280	<0,05	Ausente	Ausente
24	7574,273	530,188	<0,05	0,30	<0,05	1,60	6,68	Ausente	<0,05	3,800	<0,05	3,190	6,400	0,070	Presente	Presente
25	7574,213	530,456	<0,05	0,85	<0,05	1,90	6,29	Ausente	<0,05	17,000	<0,05	6,030	6,010	<0,05	Ausente	Ausente
26	7573,776	532,383	<0,05	1,50	<0,05	3,40	6,05	Ausente	<0,05	8,000	<0,05	6,380	6,000	<0,05	Presente	Presente
27	7578,260	525,147	0,13	7,50	<0,05	2,50	7,08	Ausente	<0,05	16,100	<0,05	8,150	6,000	<0,05	Ausente	Ausente
28	7572,212	531,648	0,22	8,80	<0,05	8,90	7,45	Ausente	<0,05	20,600	<0,05	-	6,020	0,090	Ausente	Ausente
29	7572,546	531,337	<0,05	7,50	<0,05	2,80	7,41	Ausente	<0,05	8,300	<0,05	3,190	6,060	<0,05	Ausente	Ausente
30	7571,884	530,318	<0,05	2,00	<0,05	2,70	7,62	Ausente	<0,05	3,800	<0,05	2,480	6,010	<0,05	Ausente	Ausente
31	7571,925	530,288	<0,05	2,50	<0,05	1,90	7,37	Ausente	<0,05	2,800	<0,05	1,770	6,020	<0,05	Presente	Presente
32	7571,825	530,797	0,22	8,80	<0,05	4,50	6,81	Ausente	<0,05	43,750	<0,05	8,150	6,000	0,090	Ausente	Ausente
33	7578,233	528,254	0,24	0,17	<0,05	1,065	6,73	Ausente	<0,05	4,190	<0,05	16,000	6,750	0,080	Ausente	Ausente
39	7577,463	525,463	<0,05	7,20	<0,05	7,50	7,69	Ausente	<0,05	0,890	<0,05	16,000	5,820	<0,05	Ausente	Ausente
40	7574,662	526,343	<0,05	8,90	<0,05	7,90	6,00	Ausente	<0,05	10,000	<0,05	25,000	4,070	0,430	Ausente	Ausente
41	7575,564	529,93	<0,05	3,80	<0,05	0,80	6,54	Ausente	<0,05	2,000	<0,05	7,090	6,060	<0,05	Ausente	Ausente
42	7572,886	527,929	<0,05	1,90	<0,05	0,50	6,38	Ausente	<0,05	5,100	<0,05	8,510	6,050	0,060	Ausente	Ausente
43	7572,74	528,805	<0,05	30,20	0,06	7,10	5,21	Ausente	<0,05	32,240	<0,05	14,180	6,000	0,070	Ausente	Ausente
44	7576,478	529,617	0,13	8,50	<0,05	7,20	7,25	Ausente	<0,05	7,100	<0,05	4,250	6,010	0,060	Ausente	Ausente
45	7576,434	529,416	0,23	15,10	<0,05	8,50	7,14	Ausente	<0,05	20,400	<0,05	8,150	6,000	<0,05	Ausente	Ausente
46	7578,291	527,724	<0,05	11,30	<0,05	10,60	6,00	Ausente	<0,05	15,520	<0,05	10,280	5,530	<0,05	Ausente	Ausente

ANEXO 2 – Dados de qualidade referentes aos 50 poços – anos 2009 e 2013 (continuação).

Identificação poços	Coordenadas UTM		2009						2013							
	Km N	Km E	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Cloreto (mg/L)	pH	Fluoreto (mg/L)	Escherichia Coli	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Cloreto (mg/L)	pH	Fluoreto (mg/L)	Escherichia Coli
47	7573,196	532,51	0,30	0,45	<0,05	0,71	7,52	<0,05	Ausente	<0,05	9,700	<0,05	6,380	7,970	0,110	Ausente
49	7578,283	526,913	0,11	25,10	<0,05	21,80	7,87	<0,05	Ausente	<0,05	9,000	<0,05	15,830	6,420	0,100	Ausente
50	7578,481	526,565	0,07	7,50	<0,05	9,90	7,98	<0,05	Ausente	<0,05	9,200	<0,05	13,680	5,850	0,120	Presente
54	7577,894	526,799	<0,05	20,80	<0,05	1,50	6,73	<0,05	Ausente	<0,05	12,500	<0,05	14,180	6,000	0,080	Ausente
55	7574,578	529,014	<0,05	22,40	<0,05	9,10	6,62	<0,05	Ausente	<0,05	28,700	<0,05	9,570	6,480	<0,05	Ausente
57	7576,456	530,043	<0,05	7,50	<0,05	1,70	7,65	<0,05	Ausente	<0,05	0,500	<0,05	11,900	5,550	<0,05	Ausente
58	7575,664	531,204	<0,05	8,50	<0,05	2,10	8,06	<0,05	Ausente	<0,05	1,200	<0,05	27,500	6,000	0,170	Ausente
60	7579,284	527,991	<0,05	8,80	<0,05	1,50	8,51	<0,05	Ausente	<0,05	8,300	<0,05	9,230	7,350	0,180	Ausente
61	7571,474	525,005	<0,05	36,00	<0,05	1,80	6,02	<0,05	Presente	<0,05	30,600	<0,05	12,410	6,000	0,100	Ausente
62	7573,252	526,739	<0,05	5,60	<0,05	5,50	6,37	<0,05	Ausente	<0,05	3,560	<0,05	7,090	6,550	0,100	Ausente
63	7576,349	525,99	<0,05	18,10	<0,05	5,00	7,42	<0,05	Ausente	<0,05	9,500	<0,05	16,030	6,250	0,160	Ausente
64	7571,615	526,783	0,24	12,00	<0,05	2,10	7,19	<0,05	Ausente	<0,05	11,200	<0,05	12,500	4,750	<0,05	Ausente
65	7572,221	527,134	<0,01	4,40	<0,05	16,30	6,70	0,20	Ausente	<0,05	3,100	<0,05	6,380	5,750	<0,05	Ausente
74	7577,596	525,29	<0,05	10,80	<0,05	6,50	6,87	<0,05	Ausente	<0,05	18,900	<0,05	7,800	6,030	<0,05	Ausente
75	7574,577	528,29	<0,01	8,50	<0,05	6,50	6,00	<0,05	Ausente	<0,05	7,470	<0,05	-	7,400	<0,05	Ausente
76	7575,428	528,875	0,08	3,9	<0,05	7,5	7,89	<0,05	Ausente	<0,05	11,700	<0,05	5,670	6,470	0,070	Ausente

ANEXO 3 – Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas 2010 – 2012 - Valores de Referência de Qualidade (CETESB, 2013, p. 34).

Tabela 3.2.1 – Valores de Referência de Qualidade – VRQ das águas subterrâneas no Estado de São Paulo

Parâmetro	Unidade	Valor de Referência de Qualidade por Aquífero							VMP ^(a)
		Guarani	Bauru	Tubarão	Taubaté	São Paulo	Serra Geral	Pré-Cambriano	
pH	--	7,5	7,5	9,0	7,0	7,5	8,0	7,5	6,0-9,5 ^(b)
Temperatura	°C	28	26	26	26	26	26	24	--
Condutividade Elétrica	µS cm ⁻¹	160	240	410	145	160	170	240	--
Sólidos Dissolvidos Totais	mg L ⁻¹	120	200	375	155	150	145	190	1000
Sólidos Totais	mg L ⁻¹	135	215	360	165	130	170	200	--
Dureza Total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	60	100	60	40	30	55	90	500
Alcalinidade Bicarbonato	mg CaCO ₃ L ⁻¹	80	110	150	70	75	75	105	--
Alcalinidade Carbonato	mg CaCO ₃ L ⁻¹	0	0	<2	0	0	0	<2	--
Alcalinidade Hidróxido	mg CaCO ₃ L ⁻¹	0	0	<2	0	0	0	<2	--
Alumínio Total	mg Al L ⁻¹	0,03	0,05	0,04	<0,15	0,04	0,04	0,07	0,2
Antimônio Total	mg Sb L ⁻¹	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	--
Arsênio Total	mg As L ⁻¹	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Bário Total	mg Ba L ⁻¹	0,08	0,25	0,08	0,10	0,15	0,08	0,08	0,7
Boro Total	mg B L ⁻¹	<0,03	<0,03	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	--
Carbono Orgânico Dissolvido	mg C L ⁻¹	5,5	8,5	6,5	5,0	3,5	6,0	4,5	--
Cálcio Total	mg Ca L ⁻¹	18,5	25	18,5	8,0	10	15,5	28,5	--
Cádmio Total	mg Cd L ⁻¹	<0,0001	<0,0001	<0,0001	--	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,005
Cianeto	mg CN L ⁻¹	<0,01	<0,01	<0,01	--	<0,01	<0,01	<0,01	--
Cloreto Total	mg Cl L ⁻¹	1,5	5	10	1,5	1,5	1,5	5	250
Chumbo Total	mg Pb L ⁻¹	<0,002	<0,002	<0,002	--	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Cobre Total	mg Cu L ⁻¹	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2
Cobalto Total	mg Co L ⁻¹	<0,01	<0,01	<0,01	--	<0,01	<0,01	<0,01	--
Cromo Total	mg Cr L ⁻¹	0,003	0,04	<0,001	<0,005	0,002	0,002	0,002	0,05
Ferro Total	mg Fe L ⁻¹	0,09	0,04	0,12	0,12	0,20	0,04	0,12	0,3
Fluoreto Total	mg F L ⁻¹	0,2	0,3	0,6	0,3	0,5	0,2	0,6	1,5
Magnésio Total	mg Mg L ⁻¹	3,5	8,0	4,0	1,0	2,5	4,0	5,5	--
Manganês Total	mg Mn L ⁻¹	0,01	<0,005	0,02	0,03	0,10	<0,005	0,03	0,1
Mercurio Total	mg Hg L ⁻¹	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001
Nitrogênio Nitrato	mg N L ⁻¹	0,3	1,5	0,2	0,02	0,2	0,5	0,4	10
Nitrogênio Nitrito	mg N L ⁻¹	0,005	<0,002	0,005	<0,001	<0,004	<0,002	0,005	0,1
Nitrogênio amoniacal	mg N L ⁻¹	0,005	0,04	0,07	0,05	0,06	0,05	0,06	1,25 ^(c)
Nitrogênio Kjeldhal Total	mg N L ⁻¹	0,2	0,1	0,4	0,2	0,4	0,1	0,4	--
Níquel Total	mg Ni L ⁻¹	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	--
Potássio Total	mg K L ⁻¹	4,0	4,5	2,0	5,0	4,5	2,0	2,5	--
Selênio Total	mg Se L ⁻¹	<0,002	<0,002	<0,002	--	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Sódio Total	mg Na L ⁻¹	7,0	15	25	20	20	14,5	14,5	200
Sulfato	mg SO ₄ L ⁻¹	<10	<10	20	<10	<10	<10	10	--
Vanádio Total	mg V L ⁻¹	<0,02	<0,02	<0,02	--	<0,02	<0,02	<0,02	0,05 ^(d)
Zinco Total	mg Zn L ⁻¹	<0,01	0,03	<0,01	0,02	0,02	0,02	<0,01	1,05 ^(e)

(a) VMP – valor máximo permitido, maioria definida pelo Padrão de Potabilidade da Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde;

(b) quanto ao pH, não se trata de um padrão, mas de recomendação de uma faixa de pH a ser mantida no sistema de distribuição de água para abastecimento;

(c) Valor do Padrão Organoléptico de Potabilidade para Amônia (1,5 mg NH₃ L⁻¹) expresso em mg N L⁻¹;

(d) VMP para consumo humano da Resolução CONAMA 396/08; (e) VMP da Resolução CONAMA 420/09.

ANEXO 4 – Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas – Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – Aquífero Bauru (CETESB, 2013, p. 38).

Tabela 4.1.1 – Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas para o Aquífero Bauru no período 2010 a 2012

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido	Aquífero Bauru (75 pontos)			
			Mínimo	Máximo	Mediana	3º Quartil
pH	--	6,0-9,5 ¹	5	9,4	7	7,1
Temperatura	°C	--	18	32,5	25	26
Condutividade Elétrica	µS cm ⁻¹	--	27	628	201	252
Sólidos Dissolvidos Totais	mg L ⁻¹	1000 ¹	32	504	150	184
Sólidos Totais	mg L ⁻¹	--	36	562	164	203,5
Dureza Total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500 ¹	1,23	321	69,22	101,5
Alcalinidade Bicarbonato	mg CaCO ₃ L ⁻¹	--	3	268	83	105
Alcalinidade Carbonato	mg CaCO ₃ L ⁻¹	--	0	78	<2	<2
Alcalinidade Hidróxido	mg CaCO ₃ L ⁻¹	--	0	<2	<2	<2
Carbono Orgânico Dissolvido	mg C L ⁻¹	--	<1	3	<1	1
Alumínio	mg Al L ⁻¹	0,2 ¹	<0,01	0,325	<0,01	<0,02
Arsênio	mg As L ⁻¹	0,01 ¹	<0,001	<0,005	--	--
Bário	mg Ba L ⁻¹	0,7 ¹	<0,005	0,972	0,15	0,24
Bérblio	mg Be L ⁻¹	4 ⁴	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01
Boro	mg B L ⁻¹	0,5 ¹	0,007	0,372	<0,1	<0,1
Cádmio	mg Cd L ⁻¹	0,005 ¹	<0,001	<0,003	<0,003	<0,003
Cálcio	mg Ca L ⁻¹	--	0,082	98,6	18,9	27,6
Chumbo	mg Pb L ⁻¹	0,01 ¹	<0,001	0,0875	<0,005	<0,005
Cloreto	mg Cl L ⁻¹	250 ¹	0,18	44,61	2,25	5,2
Cobre	mg Cu L ⁻¹	2 ¹	<0,005	0,066	<0,005	0,006
Crômio	mg Cr L ⁻¹	0,05 ¹	<0,002	0,094	0,017	0,03
Estanho	mg Sn L ⁻¹	--	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Estrôncio	mg Sr L ⁻¹	--	0,0114	3,22	0,185	0,4363
Ferro	mg Fe L ⁻¹	0,3 ¹	<0,005	4,72	<0,02	<0,02
Fluoreto	mg F L ⁻¹	1,5 ¹	<0,02	1,57	0,13	0,22
Lítio	mg Li L ⁻¹	--	<0,003	0,022	<0,01	0,01
Magnésio	mg Mg L ⁻¹	--	<0,05	24,1	5,37	8,14
Manganês	mg Mn L ⁻¹	0,1 ¹	<0,003	0,03	<0,02	<0,02
Mercúrio	mg Hg L ⁻¹	0,001 ¹	<0,0002	<0,0006	<0,0005	<0,0006
Níquel	mg Ni L ⁻¹	0,07 ¹	<0,001	0,013	<0,005	<0,005
Nitrogênio Nitrato	mg N L ⁻¹	10 ¹	<0,03	19	2,07	4,445
Nitrogênio Nitrato	mg N L ⁻¹	1 ¹	<0,001	0,61	<0,01	<0,01
Nitrogênio Amoniacal	mg N L ⁻¹	1,25 ^{1a}	<0,05	0,18	<0,1	<0,1
Nitrogênio Kjeldhal Total	mg N L ⁻¹	--	<0,3	1,81	<0,5	<0,5
Potássio	mg K L ⁻¹	--	0,085	10,9	4,02	5,6
Sódio	mg Na L ⁻¹	200 ¹	<0,1	73,4	9,26	17,3
Sulfato	mg SO ₄ L ⁻¹	250 ¹	0,11	16,5	<2	<2
Titânio	mg Ti L ⁻¹	-	<0,002	0,017	<0,005	<0,005
Vanádio	mg V L ⁻¹	0,05 ⁴	0,0015	0,123	<0,01	0,02
Zinco	mg Zn L ⁻¹	1,05 ³	<0,005	0,84	<0,02	0,04
Bactérias Heterotróficas	UFC mL ⁻¹	500 ¹	0	1600	2	8
Coliformes Totais	P/A 100 mL ⁻¹	ausente ¹	presente em 5 das 354 amostras		ausente	ausente
<i>Escherichia coli</i>	P/A 100 mL ⁻¹	ausente ¹	presente em 2 das 354 amostras		ausente	ausente

VMP – (1) Padrão de Potabilidade da Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde; (2) Valor Orientador de Intervenção estabelecido pela CETESB; (3) Resolução CONAMA 420/09; (4) VMP para Consumo Humano da Resolução CONAMA 396/08; (a) Valor do Padrão Organoléptico de Potabilidade para Amônia (1,5 mg NH₃ L⁻¹) expresso em mg N L⁻¹.