UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE TRÊS LAGOAS
PROGRAMA DE PÓSGRADUAÇÃO MESTRADO EM GEOGRAFIA

ARIANE APARECIDA PELUCO

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA CIDADE DE ADAMANTINA/SP E AS ATIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINADORAS

TRÊS LAGOAS, MS
2020

ARIANE APARECIDA PELUCO

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA CIDADE DE ADAMANTINA/SP E CLASSIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINADORAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Geografia do Campus de Três Lagoas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Geografia, sob a orientação do Prof. Dr. André Luiz Pinto e coorientação do Prof. Dr. Denilson Burkert.

TRÊS LAGOAS, MS

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

ARIANE APARECIDA PELUCO

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA CIDADE DE ADAMANTINA/SP E AS ATIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINADORAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Geografia do Campus de Três Lagoas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Geografia, sob a orientação do Prof. Dr. André Luiz Pinto e coorientação do Prof. Dr. Denilson Burkert.

Resultado:_____

Três Lagoas, MS, 08 de setembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

_____

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Pinto

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

_____

Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

_____

Prof. Dr. César Gustavo Rocha Lima

Universidade Estadual Paulista

DEDICATÓRIA

Àquele que, apesar de tão novinho, entendeu minhas ausências e sempre me motivou a superar cada dificuldade: meu filho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me fortalecido e me guiado até aqui.

À minha família: meus pais e meus tios Carlos, Sandra e Fernando por terem construído meu alicerce sobre a rocha.

Aos meus avós Cida e Armandio (in memorian) por terem me ensinado a sempre perseguir meus sonhos, pautada na verdade e honestidade.

Ao meu filho, Luís Fernando, por quem eu não medi esforços para estar em constante superação e que soube compreender minhas ausências durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Dr. André Luiz Pinto, que foi muito mais que meu orientador acadêmico durante esse período, foi amigo, conselheiro, foi a calma nos momentos de desespero e a voz que não deixou titubear a fé de que tudo daria certo.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Denilson Burkert, que embarcou comigo nesse objetivo de pesquisa da Pós-Graduação, que me auxiliou nas coletas e análises laboratoriais e me ajudou a enxergar alternativas antes não vistas.

Ao Centro Universitário de Adamantina (UniFAI) em nome de seu pró-reitor de Pesquisa e Pós-Graduação Prof. Dr. José Aparecido dos Santos, pela colaboração no desenvolvimento dessa pesquisa através da autorização para utilização da estrutura do laboratório e equipamentos de análise de parâmetros de qualidade da água.

À minha ex-professora de graduação e grande amiga Soraya Butarelo pelo incentivo incansável para que eu desse o primeiro passo nessa trajetória.

Às minhas amigas Marcia Bento e Ângela Brasil, que além de queridas anfitriãs nos meus períodos de aulas foram também as responsáveis pelas risadas que me distraíram quando necessário, as donas dos ouvidos que me ouviram quando nem

eu entendia o que dizia e das vozes que conseguiram sempre me mostrar que o caminho estava certo.

Ao Anderson Hirata pela prestatividade e eficiência na elaboração dos mapas.

E, por fim e com especial apreço, ao meu namorado Marcelo, que nessa reta final esteve ao meu lado, me ajudou a superar momentos delicados e com toda paciência e sabedoria me conduziu na análise estatística de dados e na conclusão desse trabalho.

“Eu sou eu e o que me cerca. Se eu não preservar o que me cerca, eu não me preservo.”

(José Ortega y Gasset)

RESUMO

Inicialmente vista como uma fonte inesgotável de recursos, a natureza sofreu grandes impactos mediante os acontecimentos das últimas décadas como a explosão demográfica, a revolução industrial e o aumento desenfreado de consumo. O progresso propiciado pela exploração acelerada dos recursos naturais acarretou no comprometimento desses recursos. O crescimento mundial do consumo de água vem cada dia mais despertando na sociedade, interesse pelos recursos hídricos subterrâneos, porém, esse aumento na demanda associado a ação antrópica vem acentuando o consecutivo aumento no número de traços da presença de contaminantes nessas águas, o que é preocupante visto que as águas subterrâneas demoram em torno de 1400 anos para se reciclar. O contaminante que atualmente mais preocupa no mundo todo é o nitrato, por ser um íon de alta mobilidade e que se consumido pode causar efeitos adversos a saúde humana como a indução a metahemoglobinemia, a transposição das grandes artérias (TGA) em recém nascidos e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas podendo acentuar a ocorrência de câncer de estômago e câncer de mama. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru na cidade de Adamantina/SP, e classificar potenciais atividades contaminadoras, através do monitoramento de parâmetros físico-químicos que estão diretamente relacionados com a ação antrópica, como nitrato, nitrito, amônia e fosfato, complementadas pelo monitoramento da condutividade elétrica, salinidade, pH e sólidos dissolvidos totais (SDT) em 13 poços outorgados. Os resultados indicaram através das concentrações de salinidade e de fosfatos que ocorre contaminação antrópica, hipótese reforçada pelas concentrações de nitrato acima do permitido para potabilidade e balneabilidade em 5 poços, e bem próxima ao limite permitido em 1 poço. O pH estava abaixo do permitido para consumo em 3 poços e a condutividade apresentou resultados considerados de bom a excelente. O Bairro que apresentou as maiores concentrações de nitrato foi o Centro, área onde se iniciou a construção e expansão da cidade tendo sido atendido por fossas entre as décadas de 50 e 80. Esta pesquisa demonstrou a importância do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas que foram e estão sendo afetadas por ações antrópicas.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Nitrato. Contaminantes na água. Contaminação antrópica. Potabilidade. Sistema Aquífero Bauru.

ABSTRACT

Initially seen as an inexhaustible source of resources, nature has been hit hard by the events of recent decades such as the demographic explosion, the industrial revolution and the rampant increase in consumption. The progress made by the accelerated exploitation of natural resources has led to the commitment of these resources. The worldwide growth of water consumption is increasingly arousing in society, interest in groundwater resources, however, this increase in demand associated with anthropic action has accentuated the consecutive increase in the number of traces of the presence of contaminants in these waters, which is worrying as groundwater takes about 1400 years to recycle. The most worrying contaminant worldwide today is nitrate, as it is a highly mobile ion and if consumed can cause adverse effects on human health such as induction of methemoglobinemia, transposition of the great arteries (TGA) in newborns and Potential formation of carcinogenic nitrosamines and nitrosamides may accentuate the occurrence of stomach cancer and breast cancer. This research aimed to evaluate the socioeconomic and sanitary implications on the groundwater quality of Bauru Aquifer System, in the city of Adamantina / SP, Brazil, in 2019, through the monitoring of physicochemical parameters that are directly related to anthropic action, such as Nitrate, Nitrite, Ammonia and Phosphate, complemented by monitoring Conductivity, Salinity, pH and Total Dissolved Solids (SDT) at 13 uptake points (wells). The results indicated through salinity and phosphate concentrations that anthropogenic contamination occurs, a hypothesis reinforced by nitrate concentrations above the allowed for potability and bathing in 5 wells, and very close to the limit allowed in 1 well. The pH was below the allowable for consumption in 3 wells and the conductivity showed good to excellent results. The neighborhood with the highest nitrate concentrations was the Center, where the construction and expansion of the city began and was served by pits between the 1950s and 1980s. This research demonstrated the importance of monitoring the quality of groundwater that has been and is being affected by actions anthropic.

Keywords: Water resources. Nitrate. Contaminants in water. Anthropic contamination. Potability. Bauru aquifer system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do município de Adamantina/SP..... 22

Figura 2 - População de Adamantina entre 1980 e 2019..... 23

Figura 3 - Porcentagem de urbanização de 1980 a 2019..... 23

Figura 4 - Área de estudo, cidade de Adamantina..... 25

Figura 5 - Representação esquemática do ciclo hidrológico..... 27

Figura 6 - Divisão do estado de São Paulo em UGRHs e a localização das UGRHs 20 e 21..... 29

Figura 7 - Localização do Sistema Aquífero Bauru e suas respectivas formações no território nacional..... 32

Figura 8 - Perfil estratigráfico do Grupo Bauru no estado de São Paulo.. 33

Figura 9 - Área de ocorrência do Aquífero Bauru no estado de São Paulo..... 34

Figura 10 - Hidroestratigrafia do aquífero Bauru, no estado de São Paulo 36

Figura 11 - Perfil hidrogeológico do noroeste do estado de São Paulo..... 37

Figura 12 - Ciclo do Nitrogênio..... 47

Figura 13 - Resumo do processo de desnitrificação..... 49

Figura 14 - Localização dos 48 poços outorgados no município de Adamantina no ano de 2019..... 66

Figura 15 - Localização dos poços monitorados na cidade de Adamantina/SP, em 2019..... 68

Figura 16 - Equipamento Environmental Testing Photometer HI83206, reagentes e vidrarias..... 70

Figura 17 - Medidor multiparâmetros para qualidade de água HI9828..... 70

Figura 18 - Características do Sistema Aquífero Adamantina, na cidade de Adamantina/SP, em 2019..... 77

Figura 19 - Porosidade e permeabilidade das formações geológicas da cidade de Adamantina/SP..... 78

Figura 20 - Localização das possíveis atividades poluidoras e dos poços tubulares na cidade de Adamantina, em 2019..... 79
Figura 21 - Potabilidade conforme as concentrações de Nitrato nas águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina/SP, no verão (a) e inverno (b) de 2019..... 86
Figura 22 - Concentrações de salinidade nas águas subterrâneas dos poços tubulares da cidade de Adamantina, no verão (a) e inverno (b) de 2019..... 88
Figura 23 - Concentrações de Nitrito, Amônia e Fosfato, nas águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina/SP, no verão (a) e inverno (b) de 2019..... 89
Figura 24 - Concentrações de Condutividade Elétrica nas águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina/SP, no verão (a) e inverno (b) de 2019..... 90
Figura 25 - Concentrações de pH nas águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina/SP, no verão (a) e inverno (b) de 2019..... 90
Figura 26 - Concentrações de Sólidos dissolvidos totais nas águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina/SP, no verão (a) e inverno (b) de 2019..... 91
Figura 27 - Mapa de calor (heatmap) considerando os resultados dos ensaios realizados no verão de 2019..... 92
Figura 28 - Gráficos de correlação entre os resultados dos ensaios realizados no verão de 2019..... 93
Figura 29 - Mapa de calor considerando os resultados dos ensaios realizados no inverno de 2019..... 94
Figura 30 - Gráficos de correlação entre os resultados dos ensaios realizados no inverno de 2019..... 94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor de referência de qualidade das águas subterrâneas por aquífero do estado de São Paulo..... 41

Tabela 2 - Proposta de valores de referência de qualidade das águas subterrâneas para o estado de São Paulo..... 42

Tabela 3 - Motivação, parâmetros e limites para o enquadramento das águas subterrâneas no Brasil..... 42

Tabela 4 - Distribuição da participação dos empregos formais e respectivos rendimentos médios no município de Adamantina no ano de 2017..... 56

Tabela 5 - Parâmetros Monitorados e seus Limites nas Classes de Enquadramento das Águas Subterrâneas, Segundo Resolução 398/2008 do CONAMA..... 72

Tabela 6 - Parâmetros Monitorados, Classes de Uso das Águas Subterrâneas e Limites de Quantificação Praticável, Segundo Resolução CONAMA 396/2008..... 73

Tabela 7 - Parâmetros monitorados e Valor Máximo Permitido – VMP, para potabilidade das águas subterrâneas da cidade de Adamantina/SP, segundo Ministério da Saúde (2011) e CETESB (2014)..... 74

Tabela 8 - Tabela 8 - Classificação da água quanto aos valores de condutividade elétrica para águas subterrâneas, segundo Mestrinho (2013)..... 74

Tabela 9 - Localização dos poços tubulares monitorados na cidade de Adamantina/SP, em 2019..... 76

Tabela 10 - Características físico-químicas das águas em poços monitorados na cidade de Adamantina/SP, no verão de 2019 81

Tabela 11 - Características físico-químicas das águas em poços monitorados na cidade de Adamantina/SP, no inverno de 2019..... 82

Tabela 12 - Formação geológica, profundidade, vazão, concentrações de nitrato e enquadramento dos poços monitorados na cidade 85

de Adamantina em 2019.....
Tabela 13 - Classificação da condutividade elétrica das águas subterrâneas dos poços da cidade de Adamantina/SP, no verão de 2019, segundo Mestrinho (2013). 89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das fontes potenciais difusas de contaminação segundo o método POSH..... 62

Quadro 2 - Classificação das fontes de contaminação pontuais segundo o método POSH..... 63

Quadro 3 - Poços outorgados pelo DAEE, no município de Adamantina/SP, em 2018..... 65

Quadro 4 - Poços Cadastrados na Cidade de Adamantina/SP, em 2018.. 67

Quadro 5 - Classificação de correlação linear..... 75

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO.....**	**16**
1.1	Objetivos.....	19
1.1.1	Objetivo Geral.....	19
1.1.2	Objetivos Específicos.....	19
1.2	Localização da área de Estudo.....	20
2	**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....**	**26**
2.1	A Água e os Recursos Hídricos.....	26
2.2	Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH).....	28
2.2.1	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – 21.....	29
2.3	O Sistema Aquífero Bauru.....	30
2.3.1	O Aquífero Adamantina, no Noroeste do Estado de São Paulo.....	32
2.4	Sistema Aquífero Adamantina.....	35
2.5	Qualidade das Águas Subterrâneas.....	38
2.5.1	Potencial Hidrogeniônico – pH.....	43
2.5.2	Condutividade Elétrica.....	43
2.5.3	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).....	44
2.5.4	Salinidade.....	44
2.5.5	Fósforo e fosfato.....	45
2.5.6	Nitrato, Nitrito, Amônio e o Ciclo do Nitrogênio.....	45
2.5.7	Nitrato nas Águas Subterrâneas.....	49
2.5.8	Nitrato e a Saúde Humana.....	52
2.6	A Utilização do Aquífero Bauru no Estado de São Paulo.....	53
2.7	Condições Socioeconômicas, de Infraestrutura Sanitária da Cidade de Adamantina.....	55
3	**MATERIAIS E METODOS.....**	**60**
3.1	Levantamento de Dados Secundários.....	60
3.1.1	Levantamento de Dados Geológicos e Hidrogeológicos do Município e Cidade de Adamantina.....	60
3.1.2	Classificação das Atividades Poluidoras das Águas Subterrâneas	61

na Cidade de Adamantina, em 2019.....
3.2 Levantamento de Dados Primários..... 63
3.2.1 Dados do Monitoramento de Poços Tubulares da Cidade..... 63
3.2.1.1 Identificação das unidades prediais que possuem poços na cidade de Adamantina..... 63
3.2.1.2 Seleção dos pontos de coleta das amostras de água nos poços..... 66
3.2.1.3 Metodologia Operacional de monitoramento estacional da qualidade das águas dos poços urbanos de Adamantina..... 69
3.2.1.4 Análise dos Resultados por Poço e seu Enquadramento, Segundo CONAMA 398/2008 e Portaria de Consolidação N° 5, do Ministério da Saúde..... 71
3.2.1.5 Qualidade e enquadramento das águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina para as estações do verão e inverno de 2019, e média para o ano..... 75
4 **RESULTADOS..... 76**
4.1 Hidrogeologia do Aquífero Adamantina na Cidade de Adamantina/SP..... 76
4.2 Localização de Possíveis Atividades Poluidoras das Águas Subterrâneas na Cidade de Adamantina, em 2019..... 78
4.3 Qualidade Físico-Química, Enquadramento e Possíveis Contaminadores da Qualidade das Águas dos Poços Tubulares da Cidade de Adamantina, em 2019..... 79
4.4 Correlação de Pearson entre os Parâmetros Físico-Químicos de Qualidade das Águas dos Poços Monitorados..... 91
5 **CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 96**
REFERÊNCIAS..... 99

1 INTRODUÇÃO

Inicialmente vista como uma fonte infinita de recursos, a natureza sofreu grandes impactos com a explosão demográfica, a revolução industrial e o aumento desenfreado de consumo. Esse progresso propiciado pela exploração acelerada dos recursos naturais acarretou no comprometimento desses recursos (PHILIPPI JR; ALVES; 2005).

Estimativas apontam que 1/3 (um terço) da população da Terra sofram com deficiências no abastecimento de água, seja por conta da degradação ambiental ou por tratar-se de regiões naturalmente escassas desse recurso (CAMPOS, 2015).

Segurança alimentar, saúde humana, assentamentos urbanos e rurais, produção de energia, desenvolvimento industrial, crescimento econômico e ecossistemas são todos dependentes da água. O crescimento mundial do consumo de água vem cada dia mais despertando na sociedade, interesse pelos recursos hídricos subterrâneos, sobretudo por geralmente possuírem água de melhor qualidade natural e de menores custos, se comparados à captação e tratamento das águas superficiais. Porém, esse aumento na demanda influenciou diretamente na sua qualidade e, por conseguinte, na saúde das populações, visto que estes mananciais se encontram em crescente degradação (LIMA, 2008).

No Brasil, o interesse pelo consumo de águas subterrâneas também é relevante. Segundo a Agência Nacional de Águas (2012) as maiores vazões retiradas de águas subterrâneas são destinadas para irrigação, seguido pelo abastecimento urbano. Dentre estes, o maior consumidor de águas subterrâneas, para abastecimento urbano é o estado de São Paulo, que tem 320 municípios com captações totalmente subterrâneas, 250 com captações mistas (superficiais e subterrâneas) e em 71 municípios, é utilizado o sistema integrado para este uso (ANA, 2013).

As águas subterrâneas se tornaram um recurso fundamental para o abastecimento e outros usos no Brasil (ANA, 2012).

Nas últimas décadas o Brasil vem apresentando um constante aumento populacional. A densidade demográfica que em 1950 era de 6,10 habitantes por km², passou para 22,43 habitantes por km² de acordo com o Censo Demográfico

2010. A população que em 1950 era de aproximadamente 51 milhões de habitantes tem a projeção de alcançar 223 milhões de habitantes, em 2030 (IBGE, 2015).

A ação antrópica vem acentuando o consecutivo aumento no número de traços da presença de contaminantes em águas subterrâneas, levando a realização de diversos estudos para avaliar a sua qualidade (PINTO, 1998, ALVES OLIVEIRA; MARION; CAPOANE; SILVA; ATHAYDE *et al.*, 2007; ZAVOUDAKIS, 2007; ROCHA, 2008; FREITAS, 2009; COLVARA; LIMA; SILVA, 2009; COSTA *et al.*, 2010; ROSENBERGER, 2013).

Contudo a qualidade desses aquíferos depende do perigo de sua contaminação, perante a associação de suas características naturais, em ser afetado negativamente, ou seja, a vulnerabilidade, com a existência de alguma atividade ou ação poluente desenvolvida em superfície.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2019) o sistema aquífero Bauru, trata-se de um aquífero freático, sua recarga é feita diretamente pela precipitação pluvial e o fluxo regional da água subterrânea se dá em direção às drenagens principais dos rios Turvo, São José dos Dourados, Tietê, Aguapeí, Peixe e Santo Anastácio, Paraná e Paranapanema.

A CETESB (2019) salienta ainda que, ele se destaca dos demais aquíferos do estado de São Paulo, pela maior concentração de Cromo e Nitrato, com resultados pontuais elevados e não conformes em relação aos padrões nacionais de potabilidade que indicam risco à saúde humana.

Diversos fatores podem comprometer a qualidade da água subterrânea. O destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, os postos de combustíveis e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas, substâncias orgânicas e inorgânicas (SILVA et al., 2014).

Para Vetter e Simões (1981), existe uma estreita ligação entre o rendimento per capita mensal familiar, a mortalidade e um conjunto de bens e serviços coletivos como o acesso à adequadas instalações de água e esgoto sanitário, além de uma forte correlação entre o acesso à infraestrutura de saneamento básico e a mortalidade em regiões metropolitanas. Quanto menor a renda per capta da família, menor a possibilidade de acesso a moradias com acesso a infraestruturas adequadas e menor o conhecimento da necessidade de preservação ambiental.

Destarte, Ayach (2011) evidenciou uma interrelação entre as condições socioeconômicas domiciliares, sanitárias e a percepção ambiental com a qualidade da água, pois o setor do município estudado que obteve os melhores índices socioeconômicos também apresentou as melhores condições sanitárias e melhor qualidade da água subterrânea.

Um dos principais contaminantes e indicador de qualidade das águas subterrâneas é o nitrato (FREEZE; CHERRY, 1979 e DWIVEDI; MOHANTY, 2015). Nos países altamente desenvolvidos a principal fonte de poluição antropogênica é o nitrato proveniente do excesso de fertilizantes na agricultura, atividades industriais localizadas e/ou descarte inadequado ou impróprio de águas residuais e resíduos sólidos (KEENEY 1986, HALLBERG 1989, WEISKEL; HOWES 1992, JUST, 1994, LOWE et al. 2000, DRAKE; BAUDER 2005, REYNOLDS-VARGAS et al. 2006, XU et al., 2007, ANAYAH; ALMASRI, 2009). Atrelados ainda as suas propriedades físico-químicas, como alta solubilidade e mobilidade.

CETESB (2019) enfatiza que o nitrato é uma substância persistente e sua remoção da água para atender ao padrão de potabilidade é onerosa e, por vezes, tecnicamente inviável, prejudicando o abastecimento público e privado.

A contaminação dos aquíferos por nitrato encontra-se em acentuado crescimento em todo o território mundial, fato este que tem causado grande preocupação aos administradores de Recursos Hídricos.

Assim, dada à importância crescente que esse poluente adquiriu em todo o mundo, devido seus malefícios à saúde humana, o nitrato também se tornou uma preocupação de órgãos de vigilância sanitária e alvo de pesquisadores no estado de São Paulo, tais como, em Bauru (HIRATA, 2000), em São José do Rio Preto (BARCHA, 1981 e DAEE/SERVMAR/IG, 2011), em Presidente Prudente (GODOY et al. 2004, PROCEL, 2011) e em Marília (VARNIER et al., 2010), entre outros.

O aquífero Bauru por ser mais extenso superficialmente e vulnerável, apresenta tendência de aumento nas concentrações de nitrato verificadas em poços tubulares (CETESB, 2019).

Sobretudo do Sistema Aquífero Bauru (SAB), segundo Montanheiro (2014) e Montanheiro e Chang (2016) o Sistema Aquífero Adamantina (SAA) é o mais vulnerável deles, e essas alterações de sua qualidade química vem causando restrição do seu uso, sobretudo para abastecimento urbano. Torna-se vital o estudo

das influências das atividades potencialmente contaminantes na qualidade de suas águas subterrâneas.

O município paulista de Adamantina possui como maior usuário de suas águas subterrâneas o abastecimento público, com 84% do total ou 11.774 m³/d, seguido pelo uso industrial, com 1.218 m³/d, com 9% e, com menor percentagem o uso rural, com uma vazão de explotação de 882 m³/d ou 7% (PRATES; LOURENCETTI; BURKERT, 2013).

Informações estas, muito importantes para a gestão dos recursos hídricos, principalmente neste município onde a única fonte de abastecimento é a captação de água subterrânea por meio de poços tubulares profundos, como bem enfatizam (HIRATA, 1994; ERTEL, 2012). Diante deste desafio, o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas e identificação das possíveis fragilidades do meio frente à sua contaminação, mostra-se importante fonte de subsídio técnico-científico na gestão e conservação destes recursos (FIJANI, 2013; MENEZES, 2013; COELHO, 2013).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru na cidade de Adamantina/SP, e classificar potenciais atividades contaminadoras.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as unidades hidrogeológicas da Cidade de Adamantina-SP;
- Identificar e mapear os poços outorgados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica– DAEE, existentes na cidade de Adamantina, no ano de 2019;
- Analisar a qualidade das águas subterrâneas da cidade de Adamantina, no verão e no inverno de 2019, e enquadra-las nas classes de limitações de uso preponderantes, expressos da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 357/2005 e na potabilidade, Portaria de Consolidação Nº 5 do Ministério da Saúde;
- Correlacionar os parâmetros de qualidade das águas subterrâneas analisados;

- Identificar as atividades potencialmente contaminadoras das águas subterrâneas da cidade e analisar suas implicações na qualidade das águas subterrâneas da cidade de Adamantina, em 2019.

1.2 Localização da área de estudo

O município de Adamantina está localizado a noroeste do Estado de São Paulo, aproximadamente a 570 km da capital paulista. O acesso ao Município, a partir da capital, se dá pelas rodovias: SP-280 (Rodovia Castelo Branco), SP-225, SP-293 e SP- 294. O município está compreendido na Bacia Hidrográfica do Aguapeí/Peixe e na região de Administrativa de Presidente Prudente.

O município situa-se entre as coordenadas geográficas 21º 67’ 56” e 21° 40′ 32″ de latitude sul, e entre as longitudes 51º 06’ 03” e 51° 3′ 47″ oeste, que possui o mesmo nome, localiza-se entre a latitude 21° 40' 32" Sul e a longitude: 51° 03' 47" Oeste, posicionando-se no divisor de águas das bacias do rio Aguapeí e do Peixe (Figura 1).

Ocupa uma área territorial de 411 km², com uma população de 33.891 habitantes no censo 2010 (IBGE, 2017), fazendo divisa com os municípios de Mariápolis, Lucélia, Valparaiso e Flórida Paulista.

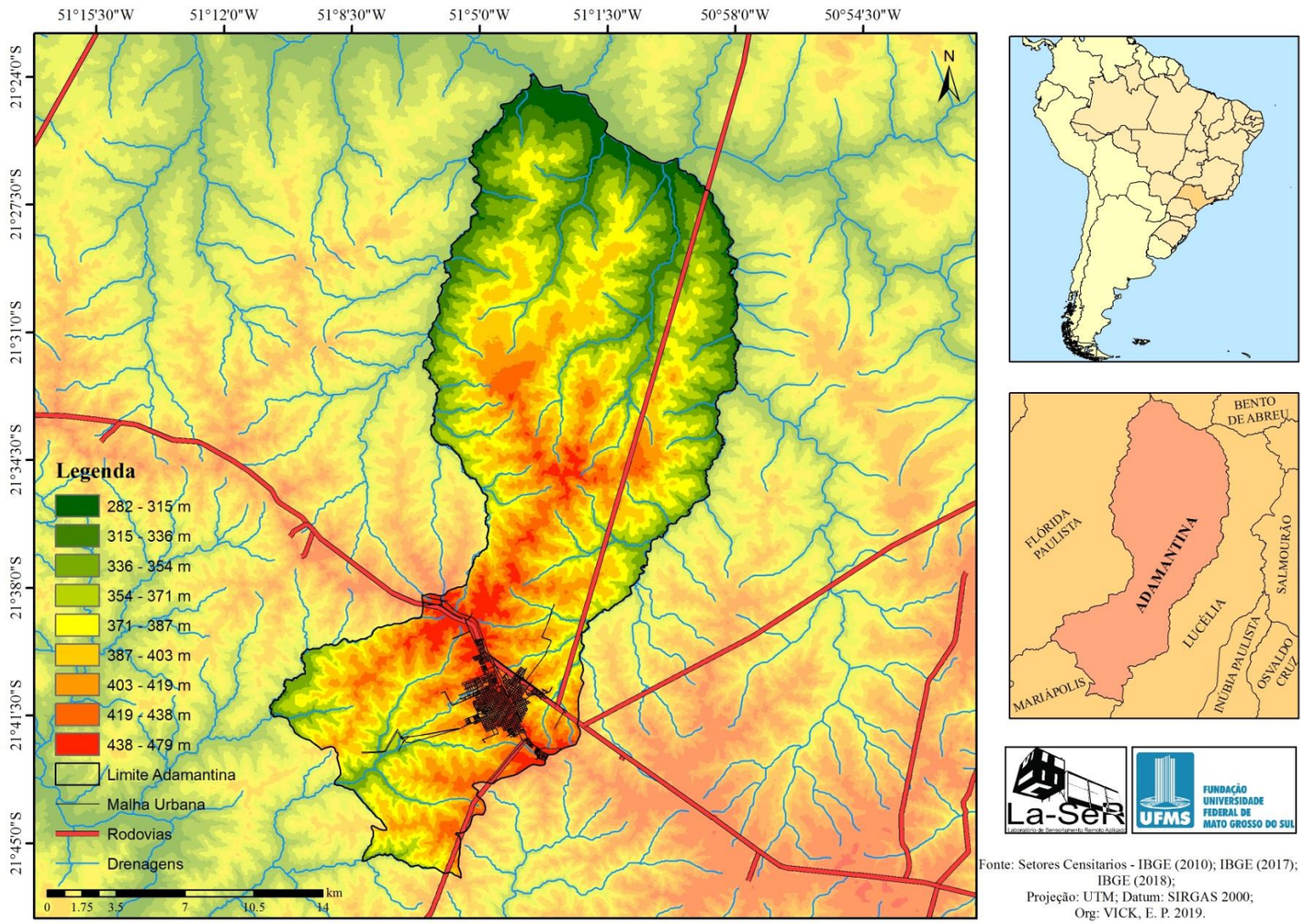
Encontra-se na região noroeste da Bacia Paleozoica do Paraná, sobre rochas cristalinas pertencentes à Formação Serra Geral, com cobertura de arenitos do Grupo Bauru – Formação Adamantina, nas áreas mais elevadas. A espessura desta na cota de 400 m está entre 140 e 150 m.

O crescimento e desenvolvimento do município de Adamantina e região estão ligados à proximidade com importantes sistemas de drenagem, nesse caso o espigão do Aguapeí-Peixe.

De acordo com dados disponibilizados pela Prefeitura Municipal, a Lei Estadual nº 233, que criou o município com território desmembrado do distrito sede de Lucélia e do distrito de Aguapeí do Alto, foi sancionada em 24 de dezembro de 1948, sendo a instalação do município efetivada em 02 de abril de 1949. O nome do município deve-se a um critério da Companhia Paulista de Estrada de Ferro, que determinava que os locais de parada deveriam ter nomes femininos, seguindo a ordem alfabética.

O rápido crescimento populacional, comercial e da agricultura do município foi favorecido por ser o ponto final da ferrovia, tendo o setor cafeeiro apresentado sua maior expansão à época.

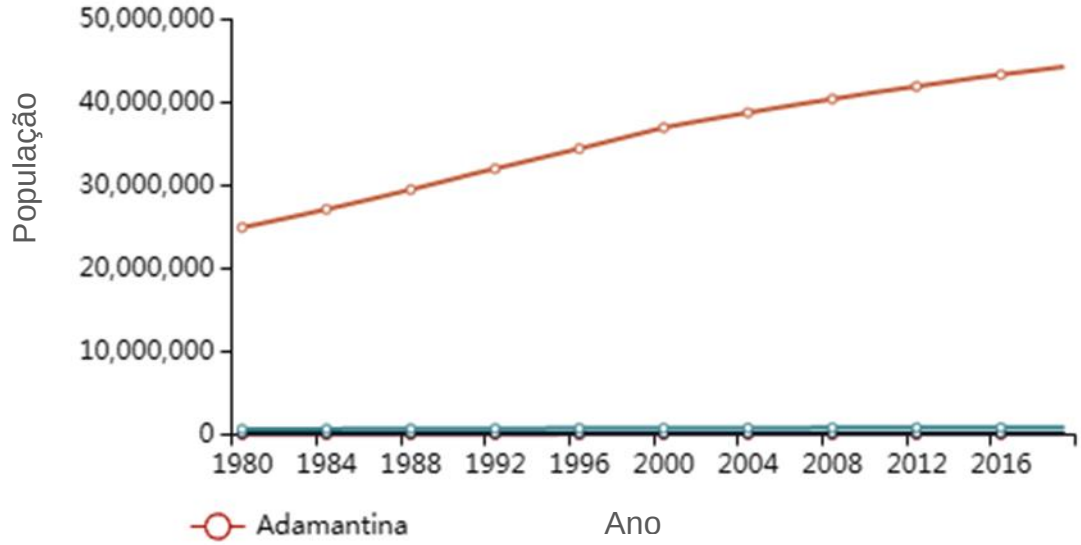
Figura 1 - Mapa de localização do município de Adamantina/SP.



Fonte: Vick (2019)

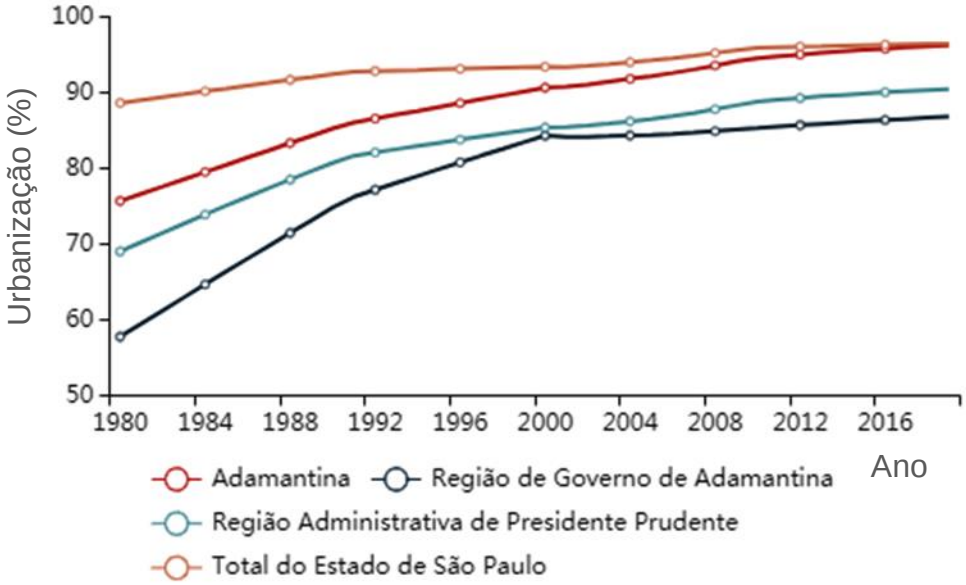
Dados do Portal de Estatísticas do Estado de São Paulo, da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados - SEADE (2019), reportam que dos 33.891 habitantes do município, apenas 3,74% vivem na zona rural, pois o Grau de Urbanização é de 96,26%, conforme mostram as Figuras 2 e 3.

Figura 2 – População de Adamantina entre 1980 e 2019.



Fonte: SEADE (2019)

Figura 3 - Porcentagem de urbanização de 1980 a 2019



Fonte: SEADE (2019)

O município de Adamantina (Figura 1) possui, de acordo com o Censo Demográfico de 2010, uma taxa de analfabetismo na população com 15 anos ou mais de 6,35%, pouco acima dos 4,33% considerado no Estado de São Paulo. Em

contrapartida, a população de 18 a 24 anos com pelo menos o Ensino Médio completo é de 70,57%, bem acima da média estadual que é de 57,89% (SEADE, 2019).

Ainda de acordo com dados estatísticos do IBGE através da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua de 2015, a Renda Per Capita média do município é de R$778,44, abaixo da média estadual que é de R$853,75. Já nas faixas de até 1/4 e até 1/2 salário mínimo, o município apresenta um melhor cenário quando comparado aos valores do Estado. Em 3,03% dos domicílios particulares, a renda per capita é de até 1/4 do salário mínimo (equivalente a R$249,50), contra 7,42% do estado; e em 12,78% dos domicílios particulares a renda é de até 1/2 salário mínimo (equivalente a R$499,00), contra 18,86% no estado de São Paulo. O IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) é de 0,790 (SEADE, 2019).

O nível de atendimento da Coleta de Lixo no município é de 99,89%, nível de atendimento de Esgoto Sanitário é de 99,03% e o nível de atendimento no Abastecimento de Água é de 99,76% (IBGE, 2010).

Em 2019, Adamantina ficou em 6º lugar entre as cidades brasileiras de até 100 mil habitantes no que diz respeito a saneamento básico no ranking da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, que considera distribuição de água, coleta e tratamento de esgoto – que são serviços prestados pela concessionária Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, além de coleta e destinação correta de resíduos sólidos. De um total de 500 pontos, a cidade de Adamantina alcançou 499,59 pontos (ABES, 2019).

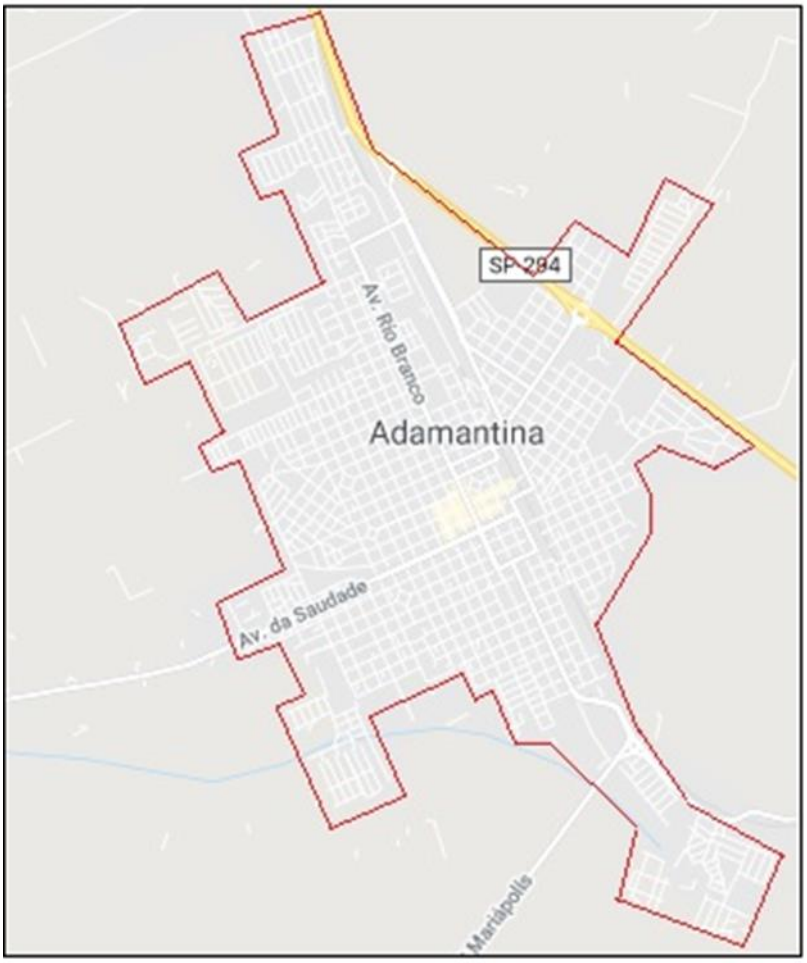
Adamantina está localizada dentro da área de abrangência das UGRHs (Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo) 20 e 21 (Aguapeí e Peixe, respectivamente). Essas unidades possuem registros de 3.186 poços que se destinam ao suprimento da demanda por água, sendo 283 destinados aos usuários do abastecimento público. Em uma pesquisa realizada por Prates et al. (2013) foi observado um aumento de 94% do volume de água subterrânea captada nessas duas UGRHs, entre os anos de 2007 a 2011, mostrando o aumento da utilização desses recursos hídricos e sua importância para a região.

A captação de água destinada ao abastecimento público, efetuado pela SABESP, provém exclusivamente de fonte subterrânea utilizando 11 poços tubulares, sendo explorados os aquíferos Serra Geral, com 10 poços e apenas um poço no Bauru.

Lourencetti (2015) constatou que haviam 74 perfurações cadastradas nos banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS e do DAEE, no município de Adamantina, em 2013, das quais 13 explotavam águas do Aquífero Serra Geral e Bauru, simultaneamente e 61 somente do Aquífero Bauru, assim como os 12 poços não cadastrados.

Para a presente pesquisa foram analisadas as concentrações de nitrato e outros parâmetros complementares, posteriormente apresentados, em 13 poços do aquífero Adamantina, na cidade de Adamantina/SP, outorgados no DAEE, cujos proprietários aceitaram fazer parte da pesquisa.

Figura 4 – Área de estudo, cidade de Adamantina.



Fonte: adaptado do Google Maps (2019)

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A Água e os Recursos Hídricos

A água é uma substância vital presente na natureza e dela depende a manutenção de diversas formas de vida na Terra, pois é indispensável às funções vitais de nutrição, reprodução e proteção do organismo (TELLES; COSTA, 2010).

O volume total de água doce estocados em rios e lagos existente na Terra são estimados em apenas 200 mil Km^3. O decréscimo de água limpa existente no planeta é a atual preocupação de cientistas do mundo inteiro, que estimam que essa reserva possa acabar em 30 ou 40 anos (TELLES; COSTA, 2010).

> Os mananciais do planeta estão secando rapidamente, problema esse que vai se somar ao crescimento populacional, à poluição e ao aquecimento global, com tendência a reduzir em um terço, nos próximos 20 anos, a quantidade de água disponível para cada pessoa no mundo (TELLES; COSTA, 2, 2010, P.6).

O consumo mundial de água aumentou em seis vezes nos últimos cem anos, e continua a crescer de forma constante a uma taxa de cerca de 1% ao ano como resultado do aumento populacional, do desenvolvimento econômico e das mudanças nos padrões de consumo (UNESCO, 2020).

Estudo publicado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO (2020) evidencia que a mudança climática terá impacto na qualidade da água, que será prejudicada em decorrência das temperaturas mais elevadas, redução do oxigênio dissolvido e, portanto, uma reduzida capacidade de autodepuração dos corpos de água doce. Diante do exposto, existem riscos adicionais de poluição hídrica e contaminação patogênica causadas por inundações ou por concentrações mais altas de poluentes durante os períodos de seca.

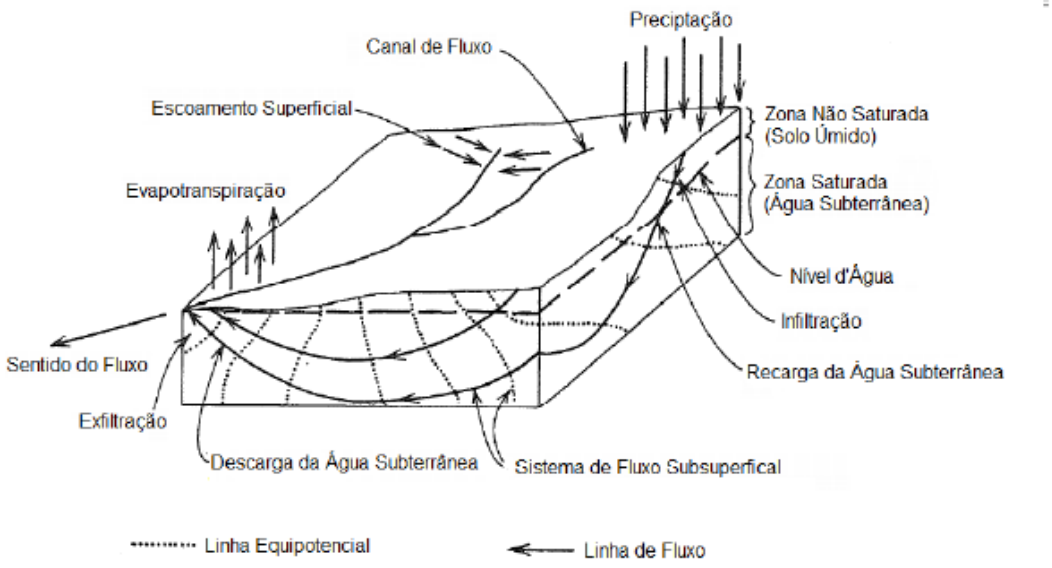
Os recursos hídricos superficiais estão se tornando cada vez mais escassos, tanto pelo aspecto de volume quanto pela decrescente qualidade da água, fator este que está acarretando em um aumento expressivo da utilização dos mananciais subterrâneos (TUNDISI, 2008).

As águas subterrâneas são uma importante fonte de água para uso doméstico, fins agrícolas e industriais em muitos países do mundo (HOSSEINIFARD; AMINIYAN, 2015; HUGGENBERGER et al. 2013; LI et al. 2010, 2013).

O ciclo das águas subterrâneas está diretamente ligado ao ciclo hidrológico, através da infinita circulação de água entre o oceano, a atmosfera e a terra, conforme Figura 5. A precipitação sob a forma de chuva ou derretimento da neve abastece os cursos d'água tanto pelo escoamento superficial como pelas rotas de fluxo subterrâneo, pelo interfluxo e escoamento após a infiltração no solo (FREEZE; CHERRY, 2017).

A Figura 5 deixa claro que o processo hidrológico subterrâneo é tão importante quanto o processo superficial. De fato, pode argumentar que eles são mais importantes, pois é a natureza dos materiais subterrâneos que controlam as taxas de infiltração e estas influenciam no tempo e na distribuição espacial do escoamento superficial (FREEZE; CHERRY, 2017).

Figura 5 – Representação esquemática do ciclo hidrológico.



Fonte: Freeze e Cherry (2017)

Pesquisas como as realizadas por NIU et al. (2014), CHEN et al.(2016), GALLARDO; MARUI (2016), LI (2016) e; LI et al.(2016a e 2017a) reportaram que atividades antropogênicas contínuas e a revolução industrial nas últimas décadas

representaram uma séria ameaça à qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos (NIU et al. 2014; CHEN et al. 2016; GALLARDO; MARUI 2016; LI 2016; LI et al. 2016a, 2017a). O nitrogênio entra nas águas subterrâneas através de várias fontes de superfície, como fertilizantes químicos (SUTHAR et al. 2009; SHALEV et al. 2015; MINET et al. 2017; NAKAGAWA et al. 2017; RE et al. 2017), resíduos animais como fezes e urina (NAKAGAWA et al. 2017), águas residuais e esgotos urbanos (SHALEV et al. 2015; LAPWORTH et al. 2017;. WANG et al 2017), a irrigação superficial com águas subterrâneas ricas em NO_3^- (BUVANESHWARI et al 2017), lixiviação de aterros sanitários (ZHANG et al. 2015) etc. Entretanto, atividades antropogênicas têm afetado a disponibilidade e a qualidade das águas subterrâneas (ELHATIP et al. 2003; KAC¸AROG˘LU; GUËNAY 2012). A população rural tende a ser mais frequentemente exposta a níveis de poluição ambiental, porque as águas subterrâneas por ela utilizadas não recebe tratamento adequado.

O Decreto Estadual nº 32.955/1991, que regulamenta a Lei, nº 6132/1991, define “Aquífero ou depósito natural de águas subterrâneas” como “solo, a rocha ou sedimento permeáveis que fornecem água subterrânea, natural ou artificialmente captada” (CETESB, 2018).

A compreensão das características litológicas, estratigráficas e estruturais dos solos, sedimentos e rocha é de fundamental importância no entendimento do processo de infiltração da água no subsolo, da forma como as unidades geológicas armazenam e transmitem a água subterrânea e das influências nos seus aspectos relativos à sua quantidade e qualidade (CETESB, 2018).

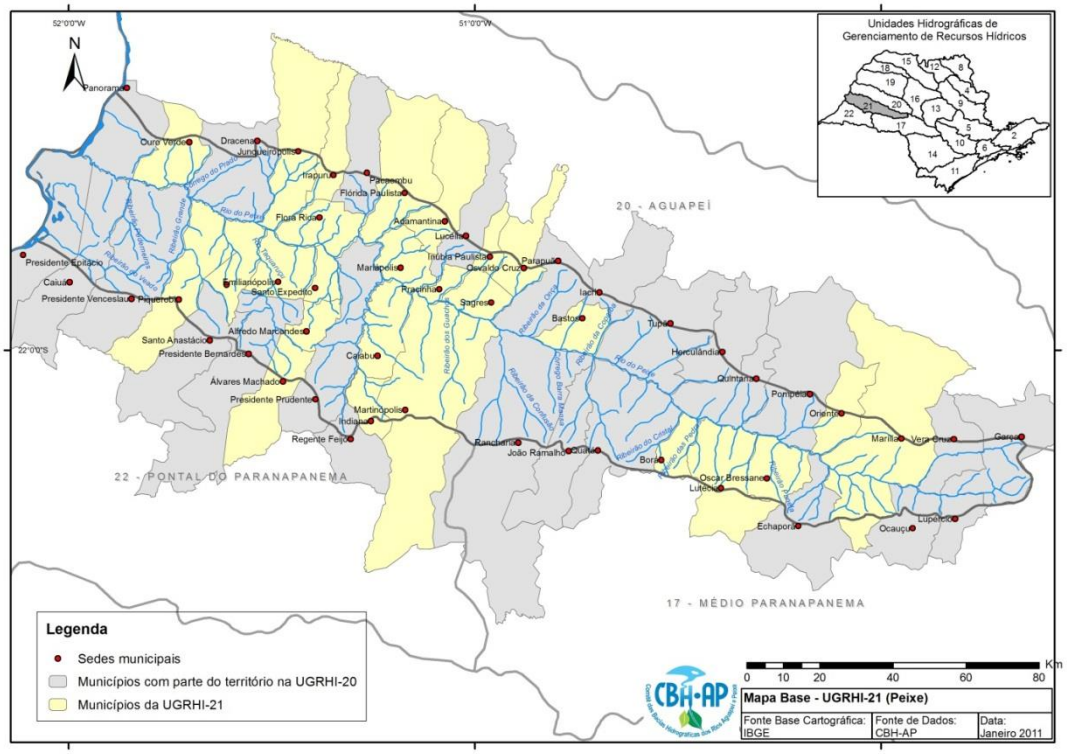
2.2 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH).

Para fins de planejamento, o Estado de São Paulo foi dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRH, as quais foram constituídas de acordo com os seguintes critérios: as características hidrológicas, ambientais, socioeconômicas, políticas e institucionais. Este recorte geográfico adota a bacia hidrográfica como a unidade físico territorial para planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. As UGRHs pertencem a grandes Regiões Hidrográficas que compartilham um curso d’água principal, sendo que na área de ocorrência da Bacia Sedimentar do Paraná, na região centro-oeste do Estado, é

possível verificar que há uma maior utilização de águas subterrâneas (PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2017).

Adamantina está localizada dentro da área de abrangência das UGRHs 20 e 21 (Aguapeí e Peixe, respectivamente), conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Divisão do estado de São Paulo em UGRHs e a localização das UGRHs 20 e 21.



Fonte: Comitê das bacias hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (2019)

2.2.1 Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – 21

Pertencem à UGRH-21 os municípios cujas sedes estejam inseridas na área da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, correspondendo estes a 26 municípios descritos a seguir: Adamantina, Alfredo Marcondes, Álvares Machado, Bastos, Borá, Caiabu, Emilianópolis, Flora Rica, Flórida Paulista, Indiana, Inúbia Paulista, Irapuru, Junqueirópolis, Lutécia, Mariápolis, Marília, Martinópolis, Oriente, Oscar Bressane, Osvaldo Cruz, Ouro Verde, Piquerobi, Pracinha, Ribeirão Dos Índios, Sagres e Santo Expedito.

Outros 25 municípios possuem parte de seu território inserido na Unidade, embora tenham as sedes fora da área da UGRH-21. Esses municípios são denominados “municípios com área contida” e possuem o direito de integrarem o CBH-AP, processo que acontece por meio da aprovação do Plenário do Comitê,

sendo eles: Caiuá, Dracena, Echaporã, Garça, Herculândia, Iacri, João Ramalho, Lucélia, Lupércio, Ocauçu, Pacaembu, Panorama, Parapuã, Pompéia, Presidente Bernardes, Presidente Epitácio, Presidente Prudente, Presidente Venceslau, Quatá, Quintana, Rancharia, Regente Feijó, Santo Anastácio, Tupã e Vera Cruz.

Existem quatro Unidades Aquíferas nas Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe, ocorrendo predominantemente, as Unidades Aquíferas Bauru Médio/Superior (Formações Adamantina e Marília) e a Bauru Inferior/Caiuá (Formação Santo Anastácio e Caiuá). Outro Sistema Aquífero que ocorre na região é o sistema Aquífero Botucatu que, apesar de não aflorar, encontra-se subjacente às rochas basálticas, a profundidades que variam de 1.000 a 1.800 metros (UGRH-20, 2019).

Segundo o Relatório de Situação (2010), a demanda por água subterrânea em relação às reservas explotáveis é de 6,76%. Enquanto a demanda por água superficial em relação à vazão mínima (Q7,10) é de 5,47%. Os diferentes usos da água variam de 0,49 m³/s para uso rural, 1,12 m³/s para uso industrial e 0,57 m³/s para uso urbano.

2.3 O Sistema Aquífero Bauru

Sistema Aquífero é um conjunto de unidades aquíferas contínuas e ligadas hidraulicamente. Os sistemas aquíferos podem ser análogos aos grupos de rochas.

Quando ainda prevaleciam condições desérticas, no início do Cretácio, a Bacia do Paraná foi afetada por intenso vulcanismo da Formação Serra Geral: sucessivos derrames de lavas basálticas recobriram quase todo o deserto Botucatu, chegando a atingir cerca de 2000 m de espessura em Cuiabá Paulista. Depois, durante o Neo-Cretáceo, já em clima semi-árido, depositaram-se sobre os basaltos sequências de arenitos calcíferos (Grupo Bauru), com espessura média de 150 m. Sendo assim, os sedimentos que constituem o Sistema Aquífero Bauru (SAB) recobre grande parte do Aquífero Serra Geral (DAEE; IG; IPT; CPRM, 2005).

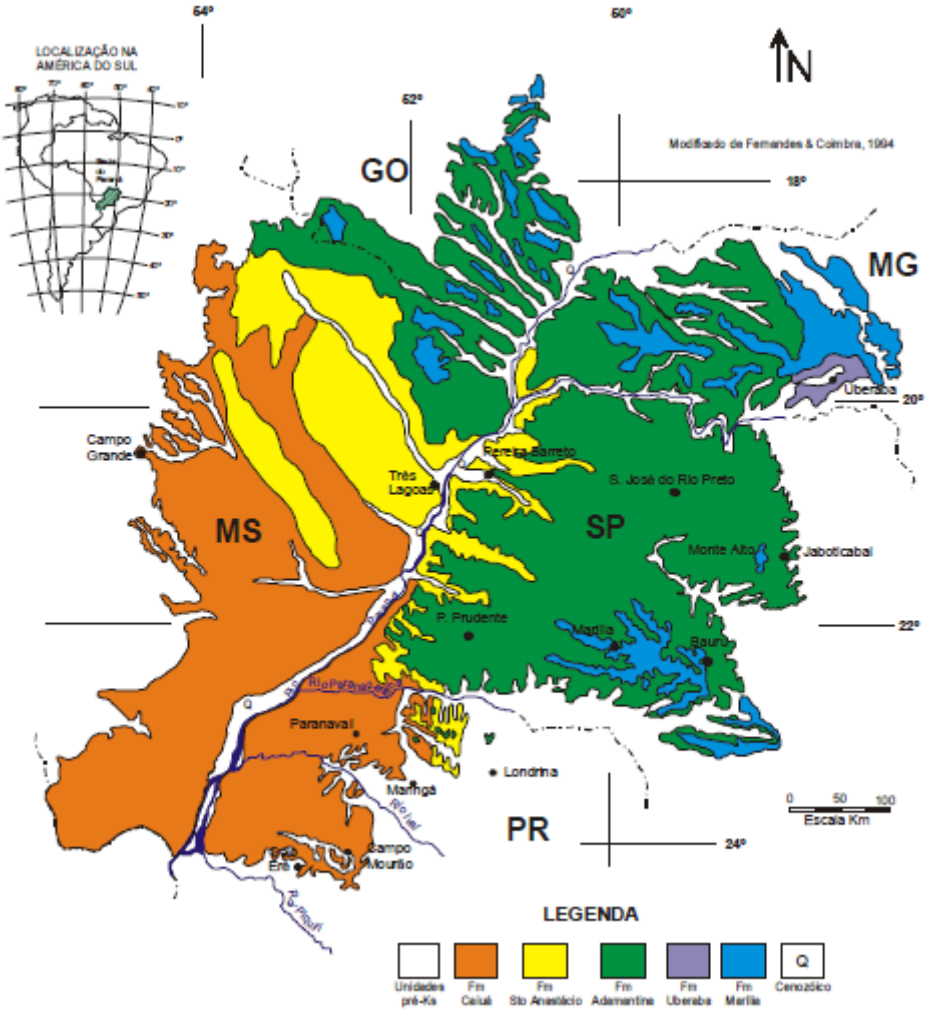
Os sedimentos do Grupo Bauru estão distribuídos sobre, aproximadamente, 370.000 km^2 do território brasileiro, entre o Planalto Ocidental de São Paulo, noroeste do Paraná, sudeste de Mato Grosso do Sul, triangulo mineiro e sul de Goiás (Figura 7). No estado de São Paulo, dados da CETESB (2016) mostram que esses sedimentos ocupam 47% da área do Estado, tendo portanto uma importância

grande como manancial. A média de espessura desses sedimentos é de em torno de 100 metros, sendo a espessura máxima preservada de 300 metros. Segundo o DAEE (1979), sua composição é, principalmente, de arenitos de granulometria variando de fina a grossa, pouco argiloso, esparsamente conglomerático, e contendo cimento calcítico, podendo estar intercalados por siltitos, folhelhos e calcários arenosos.

Existe ainda, no Estado de São Paulo, segundo Coimbra et al. (1981, *apud* SILVA, 2009), um corpo de rochas analcimíticas, representando atividade de vulcanismo alcalino contemporâneo.

Dentre as diversas propostas de subdivisão do Grupo Bauru no estado de São Paulo destacam-se a de Soares et al. (1980) e a de Fernandes (1992). Soares et al. (1980) apresentam quatro unidades distintas, classificadas como formação e uma quinta definida como litofácies: Formação Cauiá, Formação Santo Anastácio, Formação Adamantina, Formação Marília e litofácies Itaqueri. Contrapondo-se a este modelo clássico, Fernandes (1992) apresentou concepção de modelo de fácies cronocorrelatas, geneticamente associadas, constituindo um trato de sistemas deposicionais. A “sequência neocretácea suprabasáltica” foi subdividida por Fernandes (1998) em dois grupos: Caiuá (formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio) e Bauru (formações Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília e Uberaba, com extinção da Formação Adamantina) (CPRM, 2012).

Figura 7 – Localização do Sistema Aquífero Bauru e suas respectivas formações no território nacional.



Fonte: Silva (2003)

2.3.1 O Aquífero Adamantina, no Noroeste do Estado de São Paulo.

O substrato geológico aflorante nas Bacias dos Rios do Peixe e Aguapeí, onde insere-se o município de Adamantina, no estado de São Paulo é constituído por rochas vulcânicas e sedimentares da Bacia do Paraná, de idade mesozoica, e por depósitos aluvionares cenozoicos (IPT, 1980).

> No final dos eventos deposicionais e vulcânicos generalizados na Bacia do Paraná ocorreram, segundo IPT (1980), um soerguimento epirogênico em toda a Plataforma Sul-Americana em território brasileiro. A porção norte da Bacia do Paraná, entretanto, comportou-se como área negativa relativamente aos soerguimentos marginais e à zona central da bacia,

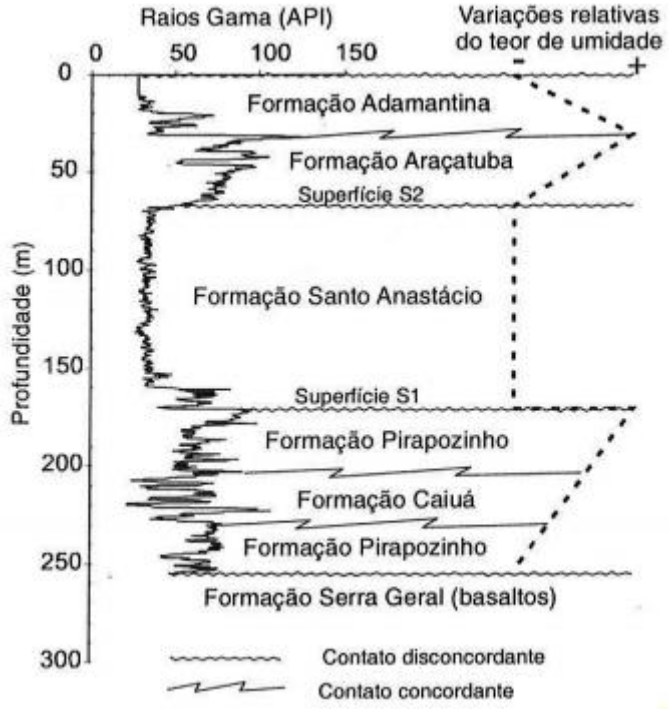
> marcando o início de uma fase de embaciamentos localizados em relação à área da bacia como um todo. Nessa área deprimida, acumulou-se o Grupo Bauru, no Cretáceo Superior, que aparece em grande parte do Estado de São Paulo recobrindo as lavas basálticas do Planalto Ocidental (PRANDI, 2010, p.27).

A não ser por pequenas áreas de ocorrência de basaltos nos médios cursos dos Rios Aguapeí e Peixe, em toda a área afloram os sedimentos do Grupo Bauru (PRANDI, 2010).

O aquífero Adamantina, no estado de São Paulo é formado pela intercalação frequente entre fácies pelíticas e psamíticas, é contínuo e considerado de livre a semiconfinado. Segundo o mapa geológico do Estado de São Paulo (DAEE/UNESP, 1980), o subsolo do município de Adamantina é composto por rochas sedimentares da Formação Adamantina do Grupo Bauru, sobrepostas às rochas da Formação Araçatuba, que têm como substrato as rochas basálticas da Formação Serra Geral na região.

Porém na divisão estratigráfica adotada por Silva et al. (2005), nota-se que a formação Adamantina, recobre as demais formações do grupo Bauru, não apenas a formação Araçatuba, com profundidade media entre 20 a 22 metros, Figura 8.

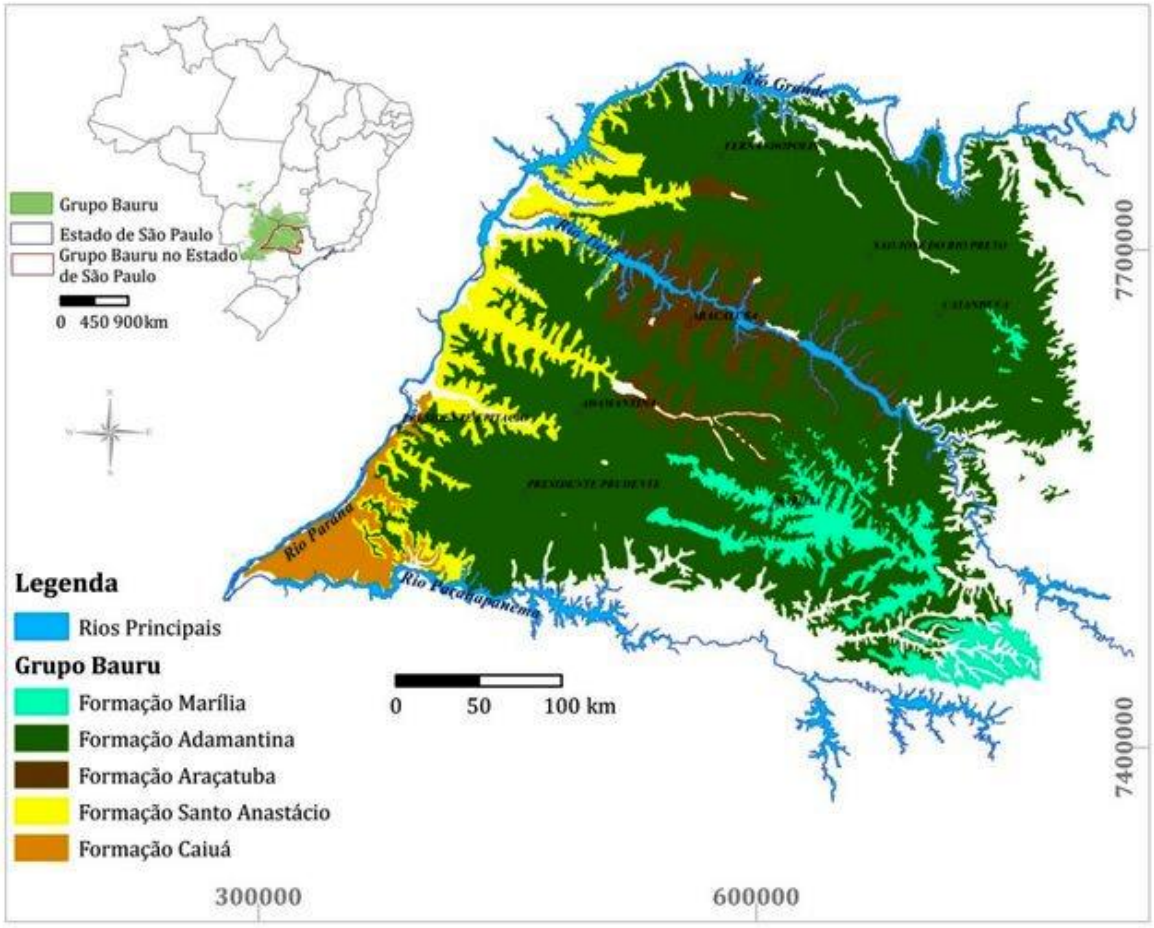
Figura 8 - Perfil estratigráfico do Grupo Bauru no estado de São Paulo.



Fonte: Silva et al. (2005)

Segundo Prandi (2010), a Formação Adamantina é a de mais ampla distribuição em área nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe, dentre as formações do Grupo Bauru, estendendo-se pela superfície de quase toda a área, estando sobreposta apenas pela Formação Marília, na porção leste dessas bacias (Figura 9).

Figura 9 - Área de ocorrência do Aquífero Bauru no estado de São Paulo.



Fonte: IPT (1981)

Sua máxima espessura ocorre na região central, chegando a ter mais de 100 metros de espessura no município paulista de Iacri. Nos vales dos principais rios e no extremo oeste dessas bacias, esta formação foi suprimida pela erosão, onde afloram os sedimentos da Formação Araçatuba no Vale do Rio do Peixe (PRANDI, 2010).

A Formação Adamantina é composta por bancos de arenitos róseos a castanhos, de espessura variando entre 2 e 20 m, de granulação fina a muito fina, com estratificação cruzada, intercalados por bancos de lamitos, siltitos e arenitos

lamíticos de cor castanho avermelhada a cinza castanho, maciços ou com acamamento plano-paralelo, com marcas de onda e microestratificação cruzada (SOARES et al.,1980).

Segundo o Centro Tecnológico da Fundação Paulista – CETEC (1997), a Formação Adamantina apresenta variação faciológica no município de Adamantina. Possui uma área caracteristicamente mais arenosa composta por arenitos finos a muito finos, siltitos arenosos, arenitos argilosos, e subordinadamente arenitos com granulometria média, quartzosos, localmente arcoseanos, e outra área que é mais enriquecida em sedimentos finos e presença moderada de cimentação carbonática, composta por arenitos finos a muito finos, quartzosos, com frequentes intercalações de argilitos e siltitos, formando bancos espessos, e localmente, arenitos com pelotas de argila.

2.4 Sistema Aquífero Adamantina

O aquífero Adamantina é caracterizado como uma unidade hidrogeológica contínua, livre a semiconfinada, de extensão regional, constituído de arenitos finos e mal selecionados na base, de arenitos argilosos e calcíferos no topo. Apresenta vazão média de produção dos poços igual a 8 m^3/h (DAEE, 2005). Segundo Rocha et al. (1979), os valores médios de transmissividade predominantes da porção inferior do Bauru estão entre 30 m^2/h e 50 m^2/h e correspondem ao domínio de ocorrência da Formação Adamantina.

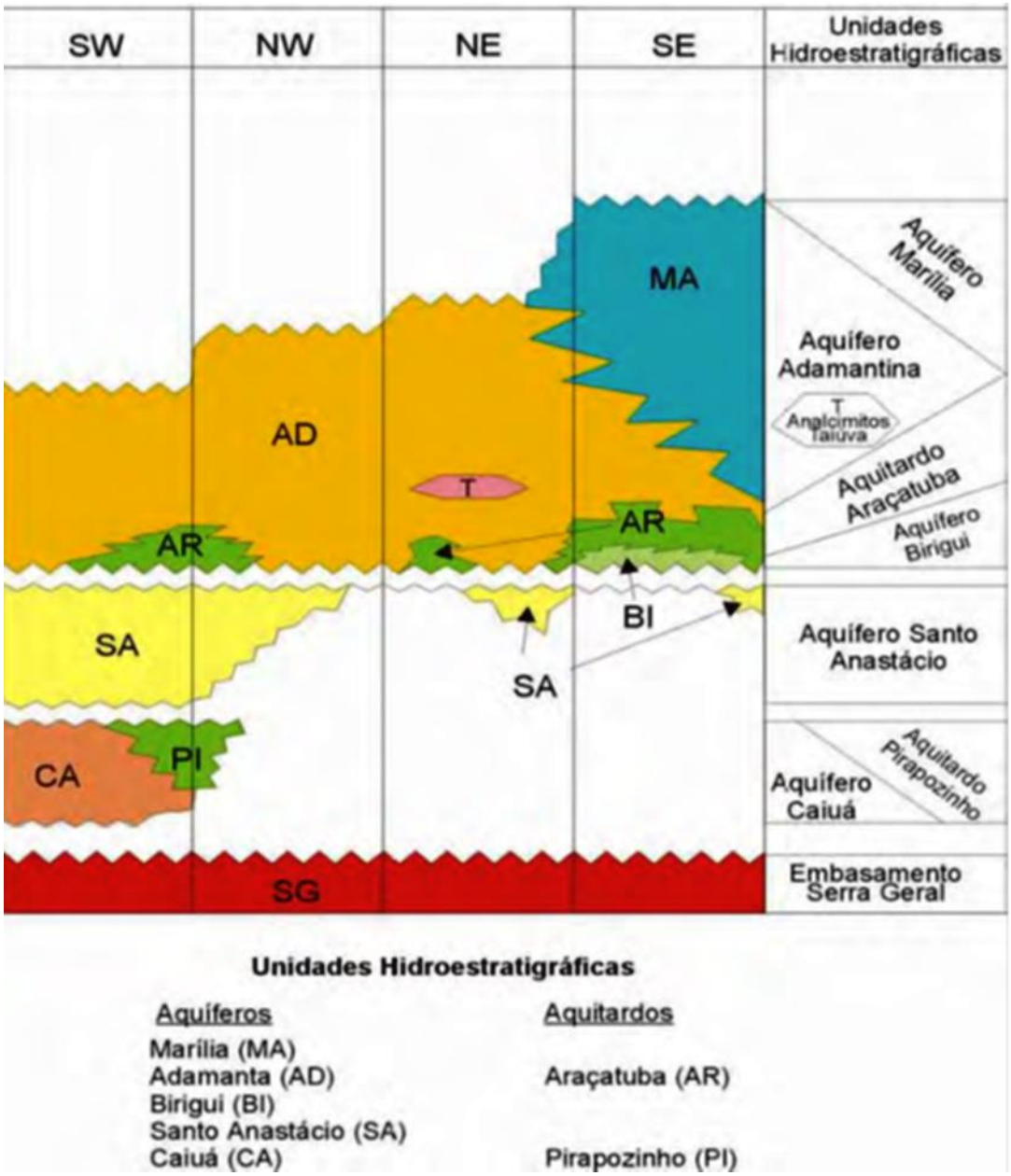
Em função de sua constituição litológica, na qual bancos de arenitos intercalam-se com bancos de siltitos ou arenitos lamíticos, constitui um aquífero que fornece, em geral, baixos valores hidrodinâmicos, tendo a sua produtividade relacionada à espessura das camadas arenosas atravessadas (TAVARES et al., 2016).

Por ser muito extenso e ocupar aproximadamente a metade oeste do Estado de São Paulo, Silva (2003), enfatiza que as características hidrodinâmicas do Grupo Bauru devem ser avaliadas a partir do arcabouço litoestratigráfico de subsuperficie. As particularidades litológicas presentes em cada unidade e usadas para determinar a litoestratigrafia governam as propriedades hidráulicas das unidades que compõem o Grupo Bauru. Com isto, Silva (2003) admitiu uma correspondência entre unidades litoestratigráficas e hidroestratigráficas e subdividiu o Sistema Aquífero Bauru em

unidades hidroestratigráficas regionais, distinguidas em perfis geofísicos de poços tubulares profundos perfurados para captação de água subterrânea no Estado de São Paulo. Assim, conforme Figura 10, subdividiu o Sistema Aquífero Bauru nos aquíferos Marília, Adamantina, Birigui, Santo Anastácio e Caiuá, e aquitardos Araçatuba e Pirapozinho (PRANDI, 2010).

As vazões obtidas em perfurações no SAB são extremamente variáveis. Silva, Chang e Caetano-Chang (2005, p. 20) relatam que isso ocorre em virtude da diversidade litofaciológica existente, que coloca em contato lateral e vertical sedimentos com diferentes características de porosidades e permeabilidades.

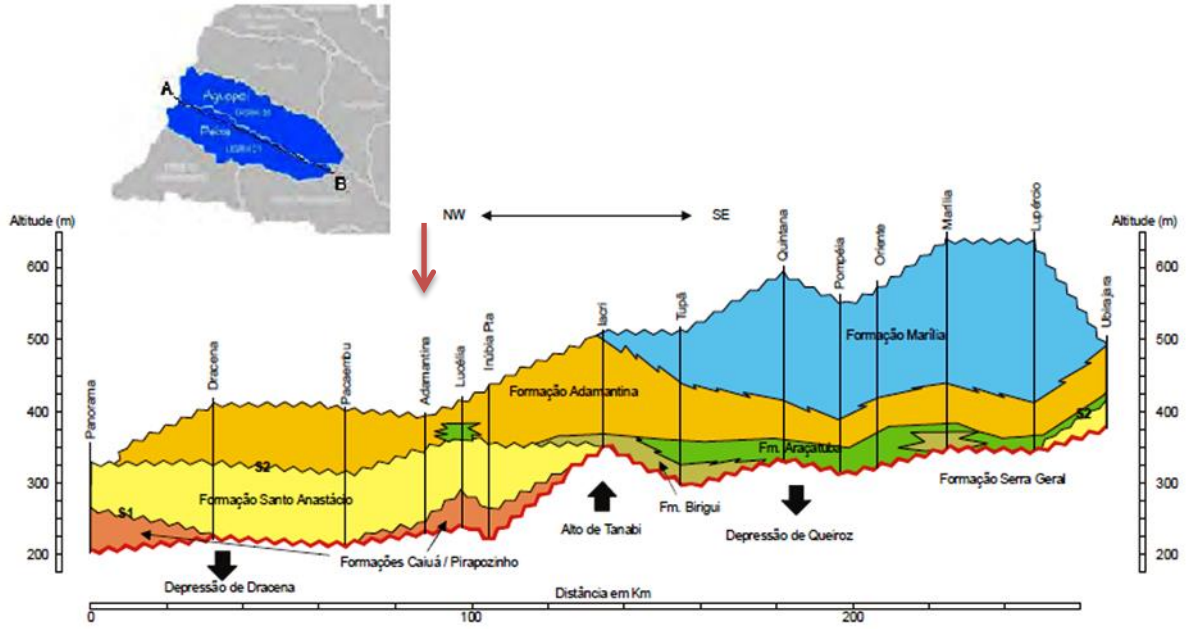
Figura 10 - Hidroestratigrafia do aquífero Bauru, no estado de São Paulo.



Fonte: Silva (2003)

Apesar da cidade de Adamantina/SP estar localizada, segundo Tavares et al. (2016) sobre domínio hidrogeológico da formação Adamantina, sobreposta a formação Santo Anastácio e esta a Serra Geral, Figura 11, os perfis do poços outorgados no DAEE até dezembro de 2018, não evidenciam a Formação Santo Anastácio, de maneira que formação Adamantina assenta-se sobre o Serra Geral.

Figura 11 - Perfil hidrogeológico do noroeste do estado de São Paulo.



Fonte: Prandi (2010)

De acordo com O Mapa das Águas Subterrâneas elaborado pelo DAEE, IG, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT e Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2005, p.38):

> “as águas do Aquífero Bauru apresentam, de modo geral, baixa concentração salina, com valores de resíduo seco raramente atingindo 300 mg/L. As águas com menor concentração salina ocorrem nos vales baixos, especialmente a jusante dos principais rios interiores, enquanto as águas com concentração salina mais elevada ocorrem ao longo dos espigões de Pompéia - Adamantina e Valparaíso - Mirandópolis. Segundo CAMPOS (1993), o pH varia de ácido (4,59) a básico (9,64), com predominância de águas bicarbonatadas cálcicas (58%), nas áreas de planaltos e espigões, e

> bicarbonatadas cálcico-magnesianas (11%), nas áreas próximas aos vales. No extremo oeste do Estado e nas regiões de Pirapozinho e Bastos, ocorrem águas bicarbonatadas sódicas.”

O pH das águas subterrâneas do aquífero Adamantina, varia de 5,3 a 10,3, ou seja de águas ácidas para alcalinas. De uma maneira geral, a qualidade das águas dos aquíferos pertencentes ao Grupo Bauru é classificada como excelente para o consumo humano e animal, se corrigido seu pH para 6,5 a 9,0 e para os usos industrial e agrícola, com algumas exceções localizadas. Das análises físico-químicas e bacteriológicas encaminhadas para o processo de outorga do direito de uso do recurso hídrico, como documento obrigatório, constatou-se que, principalmente nas regiões de São José do Rio Preto e Catanduva, a maioria apresenta níveis de nitratos elevados, evidenciando que os poços não possuem uma proteção sanitária eficiente, e também, possivelmente em função de contaminação de águas superficiais (MENDONÇA; GUTIERRE, 2000).

2.5 Qualidade das Águas Subterrâneas.

A qualidade da água subterrânea do ponto de vista da hidrogeologia é tão importante quanto o aspecto quantitativo, visto que o fator físico químicos, biológico e radiológico dessa água influencia diretamente no tipo de uso ao qual será destinado. O estudo hidrogeoquímico tem por finalidade a identificação e quantificação das principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico (CETESB, 2018).

As águas subterrâneas apresentam variações naturais pequenas em sua qualidade, de maneira que características diferentes ou extremas daquelas esperadas indicam a presença de anomalias (metamorfismo de rochas, corpos de minério, ação antrópica) (CETESB, 2018).

No Estado de São Paulo, 320 municípios são abastecidos por captações totalmente subterrâneas, 250 municípios possuem captações mistas (superficiais e subterrâneas), e, em 71 municípios, é utilizado o sistema integrado para este uso (PRATES, et al., 2013). Devido à poluição cada vez mais crescente das águas superficiais, grande parte dos municípios depende parcialmente ou exclusivamente

de águas subterrâneas para o abastecimento dessa crescente população, bem como para suprir a demanda dos setores agropecuários e alimentícios que utilizam uma grande quantidade de água para irrigação e em processos industriais.

De acordo com dados da CETESB (2010), aproximadamente 80% dos municípios são abastecidos total ou parcialmente por águas subterrâneas, sendo que a mesma realiza semestralmente o monitoramento da qualidade da água dos poços.

Ao se discorrer sobre poluição de recursos hídricos, traz-se a subjetividade do critério de poluição, pois o mesmo está relacionado à aplicabilidade dessa água. A Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de 12/12/2011 (BRASIL, 2011), que substituiu a Portaria MS nº 518/04, estabelece os padrões de qualidade da água para o consumo humano, fixados com base em risco à saúde humana e, em alguns casos, em características organolépticas da água, conforme orientação da Organização Mundial da Saúde – OMS. Sendo esta novamente atualizada pela Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017, Anexo XX, os procedimentos de controle e de vigilância de qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, determina os valores/parâmetros permitidos, e destaca que “água potável é aquela que atende ao padrão de potabilidade e não oferece riscos à saúde”. Em seu Anexo 7 do Anexo XX - Padrão de Potabilidade para Substâncias Químicas que Representam Risco à Saúde, a portaria estabelece como Valor Máximo Permitido uma concentração de até 10 mg/L de Nitrato (como N). A mesma concentração é permitida pelas resoluções do Ministério do Meio Ambiente, através de suas resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente, números 396/2008 e 420/2009.

A Resolução CONAMA nº 396 de 03/04/2008 (BRASIL, 2008), que dispõe sobre a classificação e diretrizes para enquadramento das águas subterrâneas, definiu seis classes para enquadramento das águas subterrâneas segundo os usos preponderantes: Classe Especial; e Classe 1 até Classe 5. A Classe Especial é destinada à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e que contribuam para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial. A Classe 5 representa as águas de qualidade alterada por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não possuem requisitos de qualidade de uso. Para cada classe foram estabelecidos valores

máximos permitidos para as substâncias de interesse de forma a garantir água com qualidade adequada a cada uso específico.

Em 2009, a Resolução CONAMA nº 420 de 28/12/2009 (BRASIL, 2009) publicou uma lista de valores orientadores para proteção da qualidade dos solos e águas subterrâneas visando o gerenciamento de áreas contaminadas em todo o Território Nacional. Os valores de intervenção do estado de São Paulo, com algumas alterações, serviram de base para definição dos valores.

Os Valores de Referência de Qualidade para águas subterrâneas foram publicados no Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas 2004–2006, para cada um dos sistemas aquíferos do estado de São Paulo. Definiu-se como valor de referência para as substâncias inorgânicas o terceiro quartil (75%) da série de dados obtidos pela Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas no período de 1994 a 2006, expurgados aqueles resultados com valores superiores à soma da mediana e três vezes o desvio padrão (CETESB, 2007 e 2016).

Esses valores, especificados na Tabela 1, devem ser considerados como valores-base (background) para o estado de São Paulo, de forma a orientar ações de prevenção e controle de contaminação das águas subterrâneas.

Tabela 1 - Valor de referência de qualidade das águas subterrâneas por aquífero do 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	160	240	410	145	160	170	240	--
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	120	200	375	155	150	145	190	1000
Sólidos Totais	mg/L	135	215	360	165	130	170	200	--
Dureza Total	mg $CaCO_3$/L	60	100	60	40	30	55	90	500
Alcalinidade Bicarbonato	mg $CaCO_3$/L	80	110	150	70	75	75	105	--
Alcalinidade Carbonato	mg $CaCO_3$/L	0	0	<2	0	0	0	<2	--
Alcalinidade Hidróxido	mg $CaCO_3$/L	0	0	<2	0	0	0	<2	--
Alumínio Total	mg Al/L	0,03	0,05	0,04	<0,15	0,04	0,04	0,07	0,2
Antimônio Total	mg Sb/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	--
Arsênio Total	mg As/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Bário Total	mg Ba/L	0,08	0,25	0,08	0,10	0,15	0,08	0,08	0,7
Boro Total	mg B/L	<0,03	<0,03	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	--
Carbono Orgânico Dissolvido	mg C/L	5,5	8,5	6,5	5,0	3,5	6,0	4,5	--
Cálcio Total	mg Ca/L	18,5	25	18,5	8,0	10	15,5	28,5	--
Cádmio Total	mg Cd/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	--	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,005
Cianeto	mg CN/L	<0,01	<0,01	<0,01	--	<0,01	<0,01	<0,01	
Cloreto Total	mg Cl/L	1,5	5	10	1,5	1,5	1,5	5	250
Chumbo Total	mg Pb/L	<0,002	<0,002	<0,002	--	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Cobre Total	mg Cu/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2
Cobalto Total	mg Co/L	<0,01	<0,01	<0,01	--	<0,01	<0,01	<0,01	0,07
Crômio Total	mg Cr/L	0,003	0,04	<0,001	<0,005	0,002	0,002	0,002	0,05
Ferro Total	mg Fe/L	0,09	0,04	0,12	0,12	0,20	0,04	0,12	0,3
Fluoreto Total	mg F/L	0,2	0,3	0,6	0,3	0,5	0,2	0,6	1,5
Magnésio Total	mg Mg/L	3,5	8,0	4,0	1,0	2,5	4,0	5,5	--
Manganês Total	mg Mn/L	0,01	<0,005	0,02	0,03	0,10	<0,005	0,03	0,1
Mercúrio Total	mg Hg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001
Nitrogênio Nitrato	mg N/L	0,3	1,5	0,2	0,02	0,2	0,5	0,4	10
Nitrogênio Nitrito	mg N/L	0,005	<0,002	0,005	<0,001	<0,004	<0,002	0,005	0,1
Nitrogênio amoniacal	mg N/L	0,005	0,04	0,07	0,05	0,06	0,05	0,06	1,25 (c)
Nitrogênio Kjeldhal Total	mg N/L	0,2	0,1	0,4	0,2	0,4	0,1	0,4	--
Níquel Total	mg Ni/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,07
Potássio Total	mg K/L	4,0	4,5	2,0	5,0	4,5	2,0	2,5	--
Selênio Total	mg Se/L	<0,002	<0,002	<0,002	--	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Sódio Total	mg Na/L	7,0	15	25	20	20	14,5	14,5	200
Sulfato	mg SO_4/L	<10	<10	20	<10	<10	<10	10	250
Vanádio Total	mg V/L	<0,02	<0,02	<0,02	--	<0,02	<0,02	<0,02	0,05 (d)

(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 NH_3/L) expresso em mg N/L;
(d) VMP para consumo humano da Resolução CONAMA 396/08;
(e) Valor de intervenção (CETESB, 2014).
Fonte: CETESB (2016)

Para as substâncias com baixas concentrações na água subterrânea foi definido um único Valor de Referência de Qualidade – VRQ – para todos os aquíferos (Tabela 2), conforme metodologia detalhada por Barbour et al. (2006).

Tabela 2 - Proposta de valores de referência de qualidade das águas subterrâneas para o estado de São Paulo.

Substância	Valor de Referência de Qualidade para Água Subterrânea mg/L
Antimônio	<0,002
Arsênio	<0,002
Boro	<0,03
Cádmio	<0,0001
Chumbo	<0,002
Cobalto	<0,01
Cobre	<0,02
Mercúrio	<0,0001
Níquel	<0,02
Selênio	<0,002

Fonte: CETESB (2016)

Segundo a resolução CONAMA 396 de 2008, os padrões por classe para parâmetros selecionados de acordo com o art. 12, que estabelece que os parâmetros a serem selecionados para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes deverão ser escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente. E no seu parágrafo único, estabelece que dentre os parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, SDT, nitrato e coliformes termotolerantes, Tabela 3.

Tabela 3 - Motivação, parâmetros e limites para o enquadramento das águas subterrâneas no Brasil.

Motivação da inclusão	Parâmetros de origem antrópica	Classes 1 e 2 (VRQ)	Classe 3*	Classe 4**
Uso intensivo na Região	Aldicarb	AUSENTE	/10	54,9
	Carbofuran	AUSENTE	7	45
	Pentaclorofenol	AUSENTE	9	10
Possível influencia de Posto de gasolina	Benzeno	AUSENTE	5	10
	Etilbenzeno	AUSENTE	200	200
	Tolueno	AUSENTE	24	24
	Xileno	AUSENTE	300	300
Parâmetros mínimos Obrigatórios	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	Se VRQ<1.000.000 Classe 1	1.000.000	1.000.000
		Se VRQ>1.000.000 Classe 2		
	Coliformes termotolerantes	Ausentes em 100 ml	Ausentes em 100 ml	4000 em 100ml
	Nitrato (expresso em N)	Se VRQ<10.000 Classe 1	10.000	90.000

Legenda:
VRQ - valor de referencia de qualidade, definido pelos órgãos competentes, de acordo com artigo 6º desta Resolução.

*Para a Classe 3, quando o VRQ for superior ao $VMPr^{+}$ o primeiro será adotado como padrão da classe.
** Para a Classe 4, quando o VRQ for superior ao $VMPr^{-}$ o primeiro será adotado como padrão da classe.
Fonte: CONAMA (2008)

Portanto, a classificação leva em consideração para o seu enquadramento o uso preponderante da água subterrânea, como a presente pesquisa, monitora poços urbanos de Adamantina e se encontram alojados em residências, o seu uso predominante é para abastecimento humano, por essa razão as analises darão ênfase exigências de potabilidade para consumo humano, expressos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de 12/12/2011 (BRASIL, 2011).

Alguns parâmetros dentre os vários abordados pela resolução CONAMA 396/2008 e pela Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017 são importantes para o entendimento da potabilidade das águas subterrâneas para consumo humano e serão as seguir apresentados, enfatizando suas implicações na qualidade.

2.5.1 Potencial Hidrogeniônico - pH

A presença ou não de uma série de substâncias dissolvidas na água e as condições morfológicas do solo faz com que ocorram alterações na qualidade das águas subterrâneas. O potencial hidrogeniônico (pH) é um parâmetro muito importante, pois influencia reações de equilíbrio químico na natureza, como a solubilidade. Grande parte dos íons metálicos formarão cátions se a água for ácida, e precipitarão na forma de hidróxido ou sais básicos se a água for alcalina (CAMPOS, 2015).

Para os ecossistemas aquáticos naturais, o pH apresenta grande importância devido aos seus efeitos sobre a fisiologia das espécies. Destarte, na fisiologia humana sua importância não é diferente, motivo pelo qual esse parâmetro é abordado na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, que estabelece como potável a água que apresente o pH entre 6,0 a 9,5.

2.5.2 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade de transmitir corrente elétrica através de substâncias dissolvidas, quanto maior o valor para este parâmetro maior é o grau de mineralização da água É influenciada pela presença de íons, tipo de concentração, valência e mobilidade da espécie iônica e temperatura. Os valores encontrados para água doce estão compreendidos entre 5 µS/cm e 50 µS/cm, e para água do mar entre 50 µS/cm e 50.0000 µS/cm (MESTRINHO, 2013).

A Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017, do Ministério da Saúde, não estabelece valores máximos para este parâmetro.

2.5.3 Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

O SDT é a presença de sais dissolvidos e ionizados que transforma água em um eletrólito capaz de conduzir corrente elétrica. Através da relação de proporcionalidade entre a condutividade elétrica e o teor de sais dissolvidos, é possível, em uma dada temperatura, estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água (CPRM, 2011).

A Resolução CONAMA 396 de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, estabelece que para consumo humano o valor máximo de concentração desse parâmetro deverá ser de 1.000 mg/L.

2.5.4 Salinidade

A salinidade das águas está relacionada tanto a fatores naturais como antrópicos, que de forma isolada ou interagindo, são decisivos na qualidade da água para diferentes usos. Assim, identificar os principais fatores que influenciam na salinidade das águas auxiliará na definição de medidas de prevenção e/ou conservação das águas em função de seus respectivos usos, melhorando a qualidade e aumentando sua disponibilidade.

Segundo o art. 2º da resolução CONAMA 357/2005, são adotadas as seguintes definições:

I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰;

II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰;

III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰;

2.5.5 Fósforo e Fosfato

O fosfato pode ocorrer naturalmente em águas subterrâneas, pois está relacionado a processos naturais como a dissolução de rochas, decomposição de matéria orgânica e carreamento dos solos. Porém, pode também estar relacionado a processos antrópicos como lançamento de esgoto sanitário, fertilizantes, detergentes e pesticidas. As descargas diretas ou indiretas de águas residuais contendo fosfato podem prejudicar a qualidade das águas residuais, principalmente através do lançamento de detergentes fosfatados empregados no uso doméstico em larga escala (SANTOS, 2011).

São importantes para todas as formas de vida, porém em excesso nas águas tornam-se responsáveis pela eutrofização, isto é, provocam o crescimento acumulado de algas e bactérias heterótrofas, modificadoras do caráter físico-químico da água, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido (FOPPA et al., 2004).

Fosfato é uma das formas, dentre outros sais, em que o fósforo é encontrado na natureza e pode ser orgânico ou inorgânico. As plantas assimilam principalmente o fosfato inorgânico enquanto os animais assimilam as duas formas. Os dois tipos de fosfatos podem estar presentes na água, tanto dissolvidos quanto suspensos (CAMPOS, 2015).

Uma vez que a presença de fósforo em sua forma elementar é rara na natureza, sua presença em águas naturais indicam contaminação de origem antrópica, sendo a principal fonte delas as descargas de esgotos sanitários, visto que além da matéria orgânica fecal, detergentes líquidos e em pó são amplamente utilizados domesticamente. Outras fontes que geram efluentes com concentrações excessivas de fósforo que acarretam na presença desse componente em águas naturais é a aplicação de produtos agroquímicos como fertilizantes e pesticidas, conservas alimentícias, indústrias químicas, laticínios e frigoríficos (CETESB, 2014).

2.5.6 Nitrato, Nitrito, Amônio e o Ciclo do Nitrogênio

Visando um melhor entendimento sobre a ocorrência do nitrato em águas subterrâneas e sua correlação com as ações antrópicas, faz-se necessário uma prévia abordagem referente ao ciclo do nitrogênio (N).

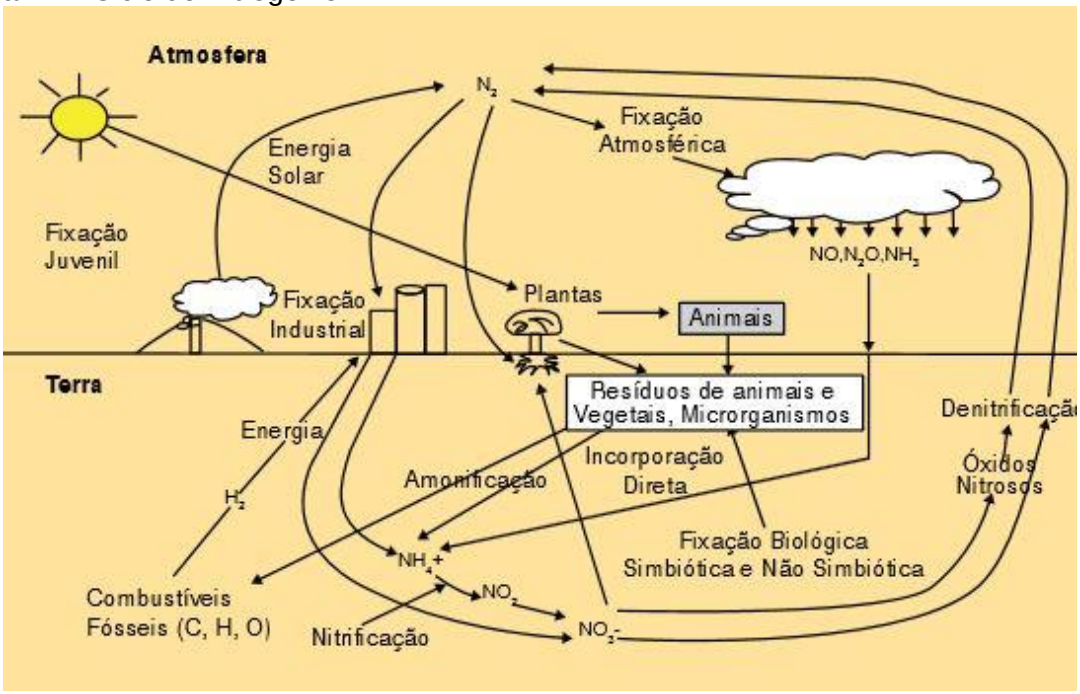
O Ciclo Biogeoquímico do Nitrogênio é de extrema importância para a manutenção da vida e dos ecossistemas, pois o N é necessário em grandes quantidades para a produção e funcionamento de moléculas complexas estando presente em ácidos nucleicos, proteínas e outros constituintes celulares.

Conforme Vieira (2017), o N na litosfera está presente nas rochas, nos sedimentos e no fundo dos oceanos. Na atmosfera ele existe na forma de gás (N_2) e seu estoque é de aproximadamente 1 milhão de vezes maior que o nitrogênio total contido nos organismos vivos. No solo estão presentes duas formas de N, a orgânica e a inorgânica, sendo que as formas inorgânicas minerais mais importantes para o ciclo são o amônio (NH_4^+), o nitrito (NO_2^-) e o nitrato (NO_3^-).

As plantas necessitam de alguns elementos que são obtidos da atmosfera e da água do solo, como carbono, hidrogênio e oxigênio. Desses elementos necessários, Bernice (2010) destaca que apenas um não provém da desintegração das rochas, que é o N, pois o embora as rochas constituam também a fonte primária desse elemento químico, é através da absorção indireta do N da atmosfera pelo solo que o mesmo é utilizado pelas plantas.

Quimicamente, o N é pouco reativo, sendo necessário que algumas bactérias e algas azuis convertam o nitrogênio assimilado da atmosfera em uma forma na qual ele poderá ser utilizado pelas células. Esse processo de circulação do N através do solo e das plantas pela ação de organismos vivos é conhecido como Ciclo do Nitrogênio, exemplificado na Figura 12.

Figura 12 – Ciclo do Nitrogênio.



Fonte: Vieira (2017)

Conforme Bernice (2010), embora os mecanismos de transporte e transformação (precipitação, sedimentação, vento, movimento das águas subterrâneas e superficiais e volatilização) sejam considerados processos individuais, no caso dos compostos nitrogenados ocorre uma dinâmica contínua onde comumente não é possível identificar os limites desse processo.

A amônia corresponde a forma inorgânica mais reduzida do nitrogênio, sendo que sua presença na água subterrânea é indicadora de poluição recente por matéria orgânica em decomposição, e por contaminação bacteriana (LAFUENTE, 1989).

Amonificação: também conhecida como mineralização do nitrogênio orgânico, é o processo onde o N orgânico é convertido em formas inorgânicas, ou seja, os materiais orgânicos complexos (aminoácidos, proteínas, nucleotídeos e ácidos nucleicos) mortos presentes no solo são transformados em substâncias mais simples pelos organismos presentes no solo, como bactérias saprófitas e diversas espécies de fungos. Ao utilizar os aminoácidos e as proteínas como fontes para as suas próprias proteínas, esses microrganismos liberam o excesso de nitrogênio sob forma de amônio (NH_4^+) (VIEIRA, 2017).

Apesar de o nitrogênio também ser fornecido como gás amoníaco quando ocorre o processo de decomposição de quantidades elevadas de materiais ricos em

nitrogênio como fertilizantes ou adubos, de maneira geral a amônia produzida nesse processo de amonificação é dissolvida na água do solo, combinando-se com prótons para formar o íon amônio (BERNICE, 2010).

É importante salientar que esse processo de mineralização está relacionado à Temperatura. Segundo Cantarella (2007), um aumento na temperatura dentro da faixa de 10 a 40ºC acelera significativamente a mineralização do N orgânico.

Nitrificação: é o processo de oxidação do amônio para nitrito e em seguida para nitrato através de bactérias nitrificantes.

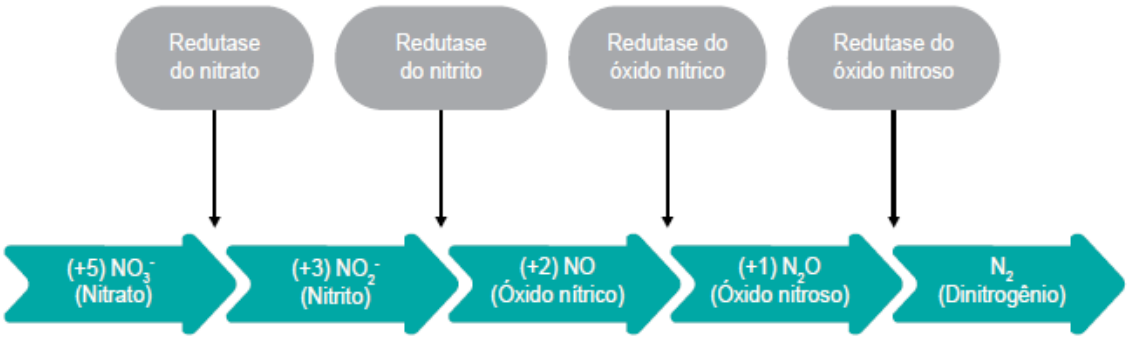
Primeiramente ocorre a oxidação da amônia para nitrito pelas bactérias nitrificadoras primárias, cuja etapa é chamada de nitritação; e posteriormente as bactérias nitrificadoras secundárias convertem os nitritos em nitratos, cuja etapa é chamada nitratação.

Na oxidação do nitrito em nitrato ocorre um baixo ganho energético, demonstrando então que as bactérias nitrificadoras secundárias precisam processar maiores quantidades de substrato. Destarte, essa oxidação ocorre em maior velocidade, de maneira que o nitrito raramente se acumula no solo (VIEIRA, 2017).

Desnitrificação: classicamente, é o processo onde ocorre a redução de nitrato em óxido nitroso (N_2O) ou em N molecular (N_2).

Porém, essa definição hoje é considerada insatisfatória, visto que os óxidos gasosos de N também resultam da nitrificação e da redução do nitrato para amônio, prevalecendo para a maioria dos microbiologistas o entendimento de que “a desnitrificação (Figura 13) é uma redução respiratória do nitrato ou nitrito para as formas gasosas de NO, N_2O ou N_2, acoplada à fosforilação durante o transporte de elétrons” (VIEIRA, 2017).

Figura 13 – Resumo do processo de desnitrificação.



Fonte: Vieira (2017)

2.5.7 Nitrato nas Águas Subterrâneas

As atividades humanas exercem crescente influência sobre o ciclo do nitrogênio em escala global (BUROW et al., 2010; MASTROCICCO et al., 2011; STUART et al., 2014). Essa influência antropogênica é principalmente atribuída à aplicação generalizada de fertilizantes, com até 60% do nitrogênio perdido como nitrato (NO_3^-) para águas subterrâneas (BUROW et al., 2010; CANFIELD et al., 2010). Nos EUA, a aplicação de fertilizantes nitrogenados aumentou mais de dez vezes a quantidade aplicada na década de 1950 (ROBERTSON; VITOUSEK, 2009) e as concentrações de NO_3^- em muitas bacias hidrográficas excedem o nível máximo permitido de 10 mg/L (BUROW et al., 2010).

O nitrato foi reconhecido pela primeira vez como um problema ambiental na década de 1970 com riscos à saúde. Entre as preocupações ambientais da contaminação por NO_3^- está a eutrofização das águas superficiais e as alterações na geoquímica das águas subterrâneas a partir de interações água-rocha (ATEKWANA; GEYER, 2018).

Com a finalidade de identificar e quantificar os limites planetários que não podem ser transgredidos pelas atividades humanas de forma a ajudar a impedir mudanças ambientais inaceitáveis, Rockström et al. (2009) selecionou nove limites planetários interligados e concluiu que três deles já foram ultrapassados, apresentando a taxa de perda de biodiversidade e a interferência no ciclo do nitrogênio como limites já transgredidos.

> Para as duas últimas, as variáveis de controle são a taxa de perda de espécies e a taxa na qual o N_2 é removido da atmosfera e convertido para nitrogênio reativo para uso humano, respectivamente. Estas são taxas de mudança que não podem continuar sem erodir significativamente a resiliência dos principais componentes do funcionamento do sistema da Terra (ROCKSTRÖM et al., 2009).

Em diversas regiões, a quantidade de N oriundo da aplicação de fertilizantes sintéticos e cultivo de leguminosas, excede a quantidade de nitrogênio natural resultante do aumento populacional associada à necessidade de produção de alimentos. Esses insumos tem impactado diretamente o ciclo do nitrogênio nos ecossistemas terrestres e aquáticos (SEBILO et al.,2013).

A contaminação dos aquíferos por nitrato encontra-se em acentuado crescimento em todo o território mundial, fato este que tem causado grande preocupação aos administradores de recursos hídricos, dada à alta mobilidade e persistência desse contaminante inorgânico (CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2019).

Estudos hidrogeológicos desenvolvidos pelo Instituto Geológico/SMA, Universidade de São Paulo e CETESB têm detectado esse contaminante extensivamente nos aquíferos paulistas (VARNIER, 2011).

Existe ainda nos dias de hoje uma falsa premissa de que as águas subterrâneas estão protegidas de contaminação. Essas águas não apenas podem ser facilmente contaminadas como possuem o agravante do tempo que demora para se renovar, pois o tempo médio de renovação das águas subterrâneas é de 1.400 anos (AYACH, 2011). O nitrato é um dos poluentes mais comuns em lençóis freáticos. Pode facilmente passar pelo solo e atingir as águas subterrâneas (CHEN et al., 2016).

Keeney (1987) estabelece que concentrações acima de 10 mg/L de nitrato (N-NO_3^-) são uma forte indicação de contaminação, e Follet (1989) é mais maleável ao considerar concentração de 14 mg/L de nitrato como indício de contaminação por atividades antrópicas.

Feitosa e Manoel Filho (2000) sugerem que concentrações acima de 5 mg/L de N-NO_3^- são indicativas de contaminação, enquanto que os teores maiores que 10 mg/L podem causar riscos à saúde humana. Nesse sentido, a concentração de 5,0

mg/L de $N\text{-}NO_3^-$ nas águas subterrâneas tem sido utilizada pela CETESB como limite para definir ações preventivas.

O íon NO_3^- é atualmente o contaminante inorgânico de maior preocupação em águas subterrâneas. Este se origina principalmente de quatro fontes: aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica (BAIRD; CANN, 2011). Os referidos autores apontam ainda que aquíferos mais profundos são menos contaminados. O nitrato que entra no ciclo do N do solo através de fertilizantes possui um tempo médio de permanência estimado em cerca de três décadas. De acordo com Sebillo (2013), “o nitrato disponível para absorção pelas plantas e para exportação para a hidrosfera possuem proporções aproximadamente iguais” necessitando então que seja feito um manejo da matéria orgânica do solo a fim de minimizar a exportação de nitratos derivados dessa atividade para a hidrosfera.

No Estado de São Paulo ainda não foram apontadas rochas capazes de fornecer nitrato, podendo então dizer que o nitrato evidenciado nas águas subterrâneas resulta do ciclo bioquímico do nitrogênio na natureza, incluindo as atividades humanas (CETESB, 2006).

Segundo Hallberg et al. (1984), o aumento das concentrações de nitrato em águas subterrâneas rasas em Iowa, Estados Unidos, entre os anos de 1975 a 1983, estava relacionado ao aumento da aplicação de fertilizantes químicos.

O aumento dos níveis de íon nitrato na água potável, particularmente em água de poços em localidades rurais, trouxe uma preocupação recente para órgãos de controle. Segundo Modesto et al. (2009), durante o período monitorado, cerca de 10% dos poços ultrapassaram a concentração de 10 mg/L $N\text{-}NO_3^-$, que é também considerado o Valor de Intervenção proposto atualmente pela CETESB. Dentre as principais fontes antrópicas relacionadas, destacam-se os efluentes líquidos domésticos dispostos em fossas e as práticas agrícolas adotadas de adubação nitrogenada.

Em 2013, a Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo em parceria com o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE e a Universidade Estadual Paulista – UNESP, publicou um relatório da Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de SP, considerando o nitrato como principal indicador de qualidade, pois é crescente a quantidade de amostras com resultados

acima dos padrões de potabilidade, podendo essa contaminação ser antrópica ou natural. O relatório mostra que foram amostrados 370 poços em todo o Estado de SP, com resultados que variaram entre 0,1 mg/L e 62,7 mg/L de NO_3^-.

No ano de 2015, a CETESB realizou no estado de São Paulo, análises em 27 amostras de águas; em 21 pontos de monitoramento, a concentração de Nitrato estava entre 5 e 10 mg/L (valor de prevenção e indicador da influência das atividades antrópicas) e 8 amostras, de 6 pontos diferentes, apresentaram concentração acima do padrão de potabilidade (de 10 mg/L).

Uma das preocupantes contaminações de nitrato em áreas urbanas está ligado a precariedade das infraestruturas domiciliares e públicas de saneamento básico, sobretudo de esgotamento sanitário, como bem enfatiza Godoy (2004), através de pesquisas realizadas no Reino Unido que mostraram que as concentrações de nitrato em águas subterrâneas estão relacionadas ao crescimento das cidades, a lixiviação de aterros sanitários e de depósitos de resíduos industriais, Estações de Tratamento de Esgotos inadequadas ou até mesmo vazamentos na rede de coleta de esgotos.

Bernice (2010) salienta que mesmo os sistemas de saneamento bem construídos e corretamente operados geram poluição por fósforo e nitrato. Daí a importância de mais estudos a esse respeito.

2.5.8 Nitrato e a Saúde Humana

A toxicidade do nitrato nos seres humanos é decorrente da redução química do nitrato para nitrito, uma reação química que ocorre na saliva dos humanos de todas as idades, bem como no trato gastrointestinal de bebês de até três meses de idade, causando riscos à saúde humana, como o aparecimento de doenças dos tipos metahemoglobinemia (cianose) e câncer gástrico.

Os efeitos dessa doença são reversíveis em humanos de todas as idades. Nos bebês de até três meses, no entanto, há necessidade de maiores cuidados médicos, uma vez que 10% do nitrato ingerido é transformado em nitrito. Esta quantidade pode levar o bebê ao sofrimento por falta de oxigênio nas células.

Baird e Cann (2011) relatam que o excesso desse íon em água potável pode causar em recém-nascidos a transposição das grandes artérias, também conhecida

como a síndrome do bebê azul; e em adultos, pode acentuar a ocorrência de câncer de estômago e câncer de mama.

O consumo de nitratos está associado a efeitos adversos a saúde humana como a indução a metahemoglobinemia, quando convertido a nitrito no estômago pela ação bacteriana, especialmente em crianças com idade até três meses e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (BOUCHARD et al., 1992).

Beber água com alto teor de NO_3^- pode acarretar em inúmeros riscos à saúde humana, sendo as crianças recém-nascidas geralmente as mais vulneráveis, mas os adultos também podem ter efeitos negativos como disfunções da glândula tireoide em mulheres grávidas atingindo também crianças, porém não é apenas a ingestão direta de água subterrânea contaminada que pode afetar adversamente a saúde dos seres humanos, o contato dérmico a longo prazo também pode gerar efeitos negativos pois o NO_3^- é cumulativo (AHADA; SUTHAR, 2018).

O nitrito não é apenas diretamente tóxico, ele também reage com aminas secundárias e terciárias e amidas para formar compostos N-nitroso carcinogênicos. Destarte, Ruckart (2008) relaciona os níveis elevados de nitrato na água potável com a metahemoglobinemia, câncer, defeitos do tubo neural e abortos espontâneos, observando que em pesquisas com animais, os compostos de N-nitroso foram também associados ao câncer.

A metahemoglobinemia é a doença mais amplamente reconhecida associada à ingestão de água contaminada com nitrato. É uma doença aguda e potencialmente fatal que afeta principalmente bebês (RUCKART et al., 2008).

2.6 A Utilização do Aquífero Bauru no Estado de São Paulo

Apesar dos Sistemas Aquíferos Guarani, Taubaté e Serra Geral, serem considerados os melhores reservatórios de água subterrânea do estado de São Paulo, o Sistema Aquífero Bauru, embora não figure entre os de vazões potenciais mais generosas, tem importância estratégica por ocupar quase toda a metade oeste do território paulista, e por abastecer, total ou parcialmente, a maioria dos municípios de pequeno a médio porte, situados em sua área de ocorrência (DAEE/LEBAC, 2013).

A análise dos requerimentos de outorgas de direito de uso mostra que o uso sanitário/doméstico (residências, condomínios, escolas e hospitais), é o mais solicitado, vindo a seguir os usos urbano (prefeituras, serviços de água e empresas de loteamento), comércio e serviços (postos de gasolina, hotéis, lavagem de carros), industrial/sanitário (processamento, manutenção e limpeza geral), lazer e paisagismo (clubes, chácaras de recreio e termas) e, finalmente, o uso solicitado para irrigação e dessentação de animais foi o que apresentou menor quantidade de solicitação de outorgas.

De acordo com este levantamento, verifica-se que as UGRHs de números 08, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21, localizadas na área de ocorrência do Grupo Bauru, são as que apresentam as maiores utilizações do recurso hídrico subterrâneo,

Aproximadamente 240 municípios do interior paulista captam água do aquífero Bauru, o que torna ainda mais preocupante os resultados de monitoramento apresentados pela CETESB, onde em 75 poços de monitoramento instalados no Sistema Aquífero Bauru, as concentrações variaram de 0,13 mg/L a 84,5 mg/L de Nitrato ($NO_3^{-)}$ entre os anos de 2010 e 2012 (SSRH, 2013).

O Grupo Bauru, constituído pelas Formações Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá, representa um Sistema Aquífero de ocorrência extensiva e contínua em todo o Planalto Ocidental do Estado de São Paulo, ocupando pouco mais de 40% da área do Estado e daí sua grande importância como manancial.

Iritani (2012) define o Aquífero Bauru como um aquífero sedimentar, de extensão regional que ocupa a metade oeste do Estado de São Paulo. Possui uma área de 96.900 km², indo de Barretos a Bauru e estendendo-se até o Pontal do Paranapanema; é totalmente aflorante em superfície, sendo considerado um aquífero livre. A recarga se faz por toda a sua extensão, o que facilita a entrada de contaminantes ao seu interior.

A permeabilidade do aquífero varia bastante, considerando-se a heterogeneidade da estrutura das rochas do aquífero, apresentando um valor médio de 0,5 m/dia que, multiplicado pela espessura do aquífero, fornece valores da transmissividade da ordem de 10 m^2/dia a 100 m^2/dia (CETESB, 2007). É um aquífero freático e sua recarga ocorre diretamente pela precipitação pluvial, sendo sua base de drenagem os rios Paranapanema, Tietê, Grande e Paraná, e suas malhas de afluentes em toda a área de afloramento. E segundo a CETESB (2007) o

aquífero funciona, em geral, como reservatório regulador do escoamento dessa rede fluvial.

Segundo Modesto et al. (2009) fato do Aquífero Bauru ser vulnerável à poluição, com elevação das concentrações de nitrato na água, tem levado alguns municípios do oeste paulista, com condições financeiras, a perfurar poços com mais de 1.000m de profundidade, atravessando extensa camada de rocha basáltica, para captar água do Sistema Aquífero Guarani - SAG.

2.7 Condições Socioeconômicas, de Infraestrutura Sanitária da Cidade de Adamantina

O nível de escolaridade de um município comumente está relacionado com ao município de Adamantina possui uma taxa de analfabetismo na população acima de 15 anos 6,35%, pouco acima dos 4,33% considerado no Estado de São Paulo. Em contrapartida, na população de 18 a 24 anos com pelo menos o Ensino Médio completo apresenta um cenário bem melhor que a média estadual, tendo 70,57% em face de 57,89 (SEADE, 2019).

Ainda de acordo com dados estatísticos do IBGE através da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua de 2015, a Renda Per Capita média do município é de R$778,44, abaixo da média estadual que é de R$853,75. O IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) é de 0,790 (SEADE, 2019).

A mesma pesquisa mostrou ainda que 3,03% da população adamantinense possui uma renda per capita de até ¼ do salário mínimo, quantitativo abaixo da média estadual que é de 7,42%; e 12,78% da população possui uma renda per capita de até ½ salário mínimo, também com um quantitativo abaixo da média estadual que é de 18,86%.

Com relação ao mercado de trabalho, a maioria da população atua no ramo de Serviços, seguido do comércio varejista, e com exceção dos que atuam na área da agricultura e pecuária, a média salarial do município está abaixo da média estadual, conforme esquematizado na Tabela 4.

Tabela 4 – Distribuição da participação dos empregos formais e respectivos rendimentos médios no município de Adamantina no ano de 2017.

	Adamantina	**Estado de São Paulo**
Participação dos Empregos Formais da Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura no Total de Empregos Formais (Em %) -2017	7,35	2,51
Participação dos Empregos Formais da Indústria no Total de Empregos Formais (Em %) – 2017	17,31	17,72
Participação dos Empregos Formais da Construção no Total de Empregos Formais (Em %) – 2017	2,46	4,04
Participação dos Empregos Formais do Comércio Atacadista e Varejista e do Comércio e Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas no Total de Empregos Formais (Em %) – 2017	28,63	20,21
Participação dos Empregos Formais dos Serviços no Total de Empregos Formais (Em %) – 2017	44,24	55,52
Rendimento Médio dos Empregos Formais da Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura (Em reais correntes) – 2017	2.450,29	2.006,99
Rendimento Médio dos Empregos Formais da Indústria (Em reais correntes) -2017	1.984,57	3.796,28
Rendimento Médio dos Empregos Formais da Construção (Em reais correntes) – 2017	2.077,40	2.719,49
Rendimento Médio dos Empregos Formais do Comércio Atacadista e Varejista e do Comércio e Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas (Em reais correntes) – 2017	1.995,31	2.509,24
Rendimento Médio dos Empregos Formais dos Serviços (Em reais correntes) – 2017	2.221,05	3.507,50
Rendimento Médio do Total de Empregos Formais (Em reais correntes) – 2017	2.123,85	3.287,67

Fonte: adaptado do SEADE (2019)

O nível de atendimento da Coleta de Lixo no município é de 99,89%, nível de atendimento de Esgoto Sanitário é de 99,03% e o nível de atendimento no Abastecimento de Água é de 99,76% (IBGE, 2010).

Com relação a coleta de resíduos sólidos, o município possui coleta seletiva, com dias específicos para a coleta de lixos orgânicos, recicláveis e um dia semanal apenas para coletar galhos e folhas de árvores e outras plantas.

Em 29 de junho de 2019, a prefeitura de Adamantina encerrou a operação do aterro sanitário do município, que devido a problemas com a gestão por longo tempo, falhas na metodologia de operação e baixo aproveitamento de materiais recicláveis, teve sua vida útil abreviada, pois o volume de lixo se tornou bastante relevante. A determinação de fechamento do aterro foi da CETESB, e o lixo do município passou a ser destinado a um aterro sanitário privado no município de Quatá, distante 110 km.

Quanto ao Saneamento Básico no segmento de Água e Esgoto, o município é atendido pela SABESP, e atingiu a universalização no ano de 2012, com 100% de distribuição de água tratada, 100% de esgoto coletado e 100% de esgoto tratado. Os poucos imóveis que não estão conectados à rede de coleta de esgoto apresentam soleira negativa, ou seja, estão abaixo do nível da rede, impossibilitando sua ligação.

A cidade possui aproximadamente 120 km de rede de esgoto que coletam 6,5 milhões litros de esgoto/dia, atuando na maior parte por gravidade. A topografia da cidade exige a operação de cinco estações elevatórias que bombeiam o esgoto coletado para as Estações de Tratamento de Esgoto – ETE Leste ou Oeste. Na ETE Leste, localizada na bacia do Córrego Lambari – a mais antiga, em operação, são processados 1.970.000 litros de esgoto/dia, o que corresponde a 30% do total de esgoto coletado na cidade. Já na ETE Oeste, na Bacia do Córrego dos Ranchos, inaugurada em 2012, o volume de esgoto processado é de 4.590.000 L/dia, equivalente a 70% do esgoto coletado.

Um problema relatado pela SABESP é o grande volume de resíduos sólidos retirados mensalmente da rede de coleta e tratamento de esgotos, chegando a 16 toneladas por mês.

O volume produzido de água é de aproximadamente 8,2 milhões L/dia, explotados de poços profundos conforme já relatado anteriormente, que abastece aproximadamente 15.000 ligações de água, entre residências, comércios e indústrias.

Apesar de apresentarem uma proteção natural relativamente maior à contaminação, as águas subterrâneas estão em risco crescente, devido à urbanização e desenvolvimento econômico, paradoxalmente por elas sustentados. (TAVARES, 2009). Segundo Foster et al. (2006), qualquer área urbana ou rural apresenta uma complexa ocupação, com a presença de várias atividades potencialmente poluentes. Programas de proteção das águas subterrâneas que

tentam controlar ou monitorar todas as atividades são economicamente pouco consistentes e sua implantação apresenta restrições econômicas, administrativas e sociais.

Então a melhor estratégia para estes programas deve considerar:

a) a identificação de áreas que necessitam de maior atenção ambiental ou atividades que representem maior ameaça à qualidade das águas subterrâneas, com a finalidade de dirigir a elas os recursos técnicos e financeiros de órgãos de controle, em estudos de detalhe, e aplicação de programas de monitoramento;

b) a capacidade que a zona não saturada apresenta de degradação dos contaminantes, uma vez que o conhecimento desta característica pode resultar em redução de custos e das exigências ambientais para a instalação de novas atividades;

c) o controle da ocupação em áreas que são mais sensíveis à contaminação de aquíferos;

d) a proteção de mananciais importantes que são ou serão utilizados para o abastecimento público.

Foster et al. (2006) esclarece que risco é definido como o produto de perigo vezes escala do impacto, havendo portanto, a indexação da avaliação do impacto sobre a saúde humana que uma determinada atividade ou poluente represente.

A CETESB (2001b) define risco de contaminação de uma área, como a probabilidade de ocorrência de um efeito adverso aos bens a proteger, em decorrência da sua exposição aos contaminantes presentes em uma área contaminada.

Perigo de contaminação de aquíferos num dado local, por sua vez, segundo Foster et al. (2006), pode ser obtido a partir da interação entre:

a) a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, consequência das características naturais dos estratos que o separam da superfície da terra;

b) a carga contaminante que é, será, ou poderá ser aplicada no meio como resultado da atividade humana.

Com o intuito de simplificar o cadastro e caracterização da carga contaminante, Foster et al (2006) propõem o método de avaliação das atividades potencialmente contaminantes chamado POSH (Pollutante Origin, Surcharge Hydraulically), que consiste em trabalhar com suposições simplificadoras baseadas

no tipo de atividade e a probabilidade de existir substância poluente e a sobrecarga hidráulica com base no uso da água pela atividade analisada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a operacionalização da pesquisa fez-se necessário a realização de diversos procedimentos metodológicos, tais como, levantamento e mapeamento de dados secundários sobre o município e a cidade de Adamantina, nos temas físicos de geologia, hidrogeologia, poços subterrâneos existentes, perfis geológicos, vazão, tratamento, qualidade, distribuição das águas subterrâneas. E dos dados primários de qualidade das águas subterrâneas da cidade, com base em monitoramento de poços, realizados nas estações de verão e inverno de 2019.

3.1 Levantamento de Dados Secundários

3.1.1 Levantamento de Dados Geológicos e Hidrogeológicos do Município e Cidade de Adamantina

A geologia e hidrogeologia do município e cidade de Adamantina foram obtidas através de dados do IPT, CPRM, CETESB e DAEE, utilizando-se dos sites:

a) https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2005/01/mapa-hidrogeologico-do-estado-de-sao-paulo-11-000-000/;
b) https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/publicacoes/mapas/;
c) http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Cartografia-Geologica-Regional-624.html;
d) https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24015;
e) http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=106%3Amapa-de-aguas-subterraneas-do-estado-desaopaulo&catid=53%3Aestudo&Itemid=55;
f) http://site.sabesp.com.br/site/interna/resultado-busca.aspx?q=adamantina;
g) https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/programa-de-monitoramento/consulta-por-aquiferos-monitorados/sao-paulo/
h) http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhap/apresentacao.

E dos trabalhos publicados, tais como por Prandi (2010), Lourencetti et al. (2015), Silva (2003), IPT (2008).

O mapa geológico foi gerado a partir dos levantamentos do CPRM (2006) e para sua análise recorreu-se as contribuições dos trabalhos: do Parecer Técnico Nº 15.713 do IPT (2008), CETESB (2015), do Lexo estratigráfico do Brasil (1984) e do DAEE - SP (2005).

As informações sobre a hidrogeologia dos aquíferos que englobam ao município foram retiradas também das obras citadas acima; Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos; Universidade Estadual Paulista (2015).

Neste trabalho, será utilizado a subdivisão do Grupo Bauru apresentada por Soares et al. (1980), que é a que tem melhor aceitação por parte dos geocientistas, com inclusão da Formação Araçatuba, conforme proposto por Silva (2003).

3.1.2 Classificação das Atividades Poluidoras das Águas Subterrâneas na Cidade de Adamantina, em 2019

Para a classificação das atividades poluidoras das águas subterrâneas foi utilizado o método POSH que permite, de forma direta e simples, de acordo com o potencial de gerar carga contaminante, em três categorias: Elevado, Moderado e Reduzido. De forma a facilitar a classificação das atividades com potencial contaminante segundo sua distribuição espacial, é comum separá-las em fontes difusas e pontuais. As fontes potenciais difusas de contaminação são aquelas que podem contaminar áreas extensas como as áreas agrícolas, sistemas de saneamento (rede coletora), aglomerados urbanos com tratamento in situ (fossas negras), rios e canais contaminados, entre outros. No Quadro 1, adaptado de Foster et al. (2006), são apresentadas a classificação para as fontes difusas propostas.

Quadro 1 – Classificação das fontes potenciais difusas de contaminação segundo o método POSH.

Potencial de carga contaminante no subsolo	Saneamento *in situ*	Práticas agrícolas
Elevado	Cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha	Culturas comerciais intensivas, geralmente monoculturas em solos bem drenados, em climas úmidos com baixa eficiência de irrigação, pasto intensivo em campos intensamente fertilizados.
Moderado	Intermediário entre elevado e reduzido	
Reduzido	Cobertura da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 550 pessoas/ha	Rotação das culturas, terra para pasto extensivo, sistemas de cultivo ecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semiáridas.

Fonte: adaptado de Foster et al. (2006)

As fontes potenciais pontuais de contaminação são aquelas cujas descargas de poluentes são facilmente delimitadas no espaço, como as unidades industriais, os locais de disposição de lixo, cemitérios, lagoas de tratamento de esgoto, tanques de armazenamento de poluentes, entre outros.

No Quadro 2, adaptado de Foster et al. (2006), são apresentadas a classificação para as fontes pontuais propostas.

Quadro 2 – Classificação das fontes de contaminação pontuais segundo o método POSH.

Potencial de gerar carga contaminante no subsolo	Fontes de Contaminação				
	Deposição de resíduos sólidos	Áreas industriais*	Lagoas de águas residuais	Outras (urbanas)	Mineração e exploração de petróleo
Elevado	Resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	Tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos	Todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial se a área >5 ha)	-	Operações em campos de petróleo, mineração de metais
Moderado	Chuva >500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1, ou todos os demais casos	Tipo 2	Esgoto residencial se a área > 5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	Postos de gasolina, vias de transporte com tráfico regular de produtos perigosos	Algumas atividades de mineração/ extração de materiais inertes
Reduzido	Chuva < 500 mm/a com resíduos residenciais / agroindustriais / indústrias tipo 1	Tipo 1	Águas residuais residentes, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração de não metálicos	Cemitérios	
*Solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria. **Tipo 1:** madeiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos; **Tipo 2:** fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão; **Tipo 3:** oficinas de engenharia, refinarias de gás/ petróleo, fábricas de produtos químicos / farmacêuticos / plásticos / pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal.					

Fonte: adaptado de Foster et al. (2006)

3.2 Levantamento de Dados Primários

3.2.1 Dados do Monitoramento de Poços Tubulares da Cidade

3.2.1.1 Identificação das Unidades Prediais que Possuem Poços na Cidade de Adamantina/SP

Para levantamento dos poços existentes na cidade, foram utilizados os dados fornecidos pelo DAEE de poços outorgados no município (Quadro 3) com suas respectivas coordenadas de localização, sem endereços ou dados referente a proprietários, sendo um total de 48 poços outorgados em todo o município de Adamantina.

A partir dessas coordenadas e com auxílio do softawe ArcGIS 10.2, foi possível identificar a localização aproximada dos poços dentro do mapa do município, para posteriormente fazer o recorte da área de delimitação da cidade de Adamantina, com a sobreposição do mapa com locação das quadras da cidade, conforme Figura 3.

A localização in loco foi feita através do aplicativo Avenza Maps com auxílio do Google Earth. Em razão da indicação dos pontos não serem exatas, foi necessário verificar o entorno dos locais, conversar com os proprietários até a correta localização dos pontos.

Quadro 3 - Poços outorgados pelo DAEE, no município de Adamantina/SP, em 2018.

QUANT	Aquífero	Profundidade	UTM Norte(Km)	UTM Leste(Km)	UTM MC
1	FORMACAO ADAMANTINA	150,00	7.603,91	492,07	51
2	FORMAÇÃO ADAMANTINA	90,00	7.687,75	460,73	51
3	FORMACAO ADAMANTINA	150,36	7.623,63	497,33	51
4	FORMACAO ADAMANTINA	150,80	7.623,72	497,12	51
5	FORMACAO ADAMANTINA	152,00	7.623,72	498,12	51
6	FORMAÇÃO ADAMANTINA	120,40	7.622,30	496,30	51
7	FORMAÇÃO SERRA GERAL	215,60	7.682,40	492,20	51
8	FORMACAO SERRA GERAL	300,00	7.599,90	486,00	51
9	FORMACAO SERRA GERAL	220,00	7.599,30	487,20	51
10	FORMACAO SERRA GERAL	220,00	7.681,30	487,00	51
11	FORMACAO SERRA GERAL	220,00	7.601,20	489,50	51
12	FORMACAO SERRA GERAL	250,00	7.681,50	490,00	51
13	FORMACAO SERRA GERAL	246,00	7.683,10	488,60	51
14	FORMACAO SERRA GERAL	301,00	7.599,75	492,50	51
15	FORMACAO SERRA GERAL	300,80	7.600,00	493,00	51
16	FORMACAO ADAMANTINA	176,00	7.601,00	491,50	0
17	FORMACAO ADAMANTINA	140,00	7.602,67	491,96	51
18	FORMACAO ADAMANTINA	100,00	7.603,25	492,75	51
19	FORMACAO ADAMANTINA	--	7.601,87	492,48	51
20	FORMACAO ADAMANTINA	--	7.602,22	492,48	51
21	FORMAÇÃO ADAMANTINA	154,00	7.600,40	488,45	51
22	FORMAÇÃO SERRA GERAL	300,00	7.600,39	488,46	51
23	FORMACAO ADAMANTINA	50,00	7.600,32	492,00	51
24	FORMACAO ADAMANTINA	--	7.597,19	489,35	51
25	FORMACAO ADAMANTINA	--	7.605,11	487,99	51
26	FORMAÇÃO ADAMANTINA	--	7.603,20	483,86	51
27	FORMAÇÃO ADAMANTINA	--	7.598,97	487,14	0
28	FORMAÇÃO ADAMANTINA	--	7.599,13	487,29	0
29	FORMAÇÃO SERRA GERAL	300,00	7.598,93	487,20	51
30	FORMAÇÃO SERRA GERAL	300,00	7.599,17	487,22	51
31	FORMACAO ADAMANTINA	--	7.599,59	493,38	51
32	FORMAÇÃO ADAMANTINA	--	7.603,36	491,92	51
33	FORMACAO ADAMANTINA	--	7.602,46	491,71	51
34	FORMACAO ADAMANTINA	150,00	7.603,40	492,20	51
35	FORMACAO ADAMANTINA	108,00	7.603,86	492,24	51
36	FORMAÇÃO ADAMANTINA	--	7.600,21	488,97	51
37	FORMACAO ADAMANTINA	--	7.599,43	493,33	51
38	FORMAÇÃO ADAMANTINA	--	7.598,30	481,94	51
39	FORMACAO ADAMANTINA	55,00	7.603,87	492,44	51
40	FORMACAO ADAMANTINA	--	7.602,29	494,11	51
41	FORMACAO ADAMANTINA	--	7.603,46	491,69	51
42	FORMAÇÃO ADAMANTINA	--	7.599,55	492,10	51
43	FORMAÇÃO ADAMANTINA	29,00	7.601,33	492,51	51
44	FORMACAO ADAMANTINA	--	7.600,16	490,83	51
45	FORMAÇÃO ADAMANTINA	--	7.603,13	486,13	51
46	FORMACAO ADAMANTINA	54,00	7.607,14	489,66	51
47	FORMACAO SERRA GERAL	300,00	7.599,92	486,70	51
48	FORMAÇÃO ADAMANTINA	--	7.603,80	484,95	51

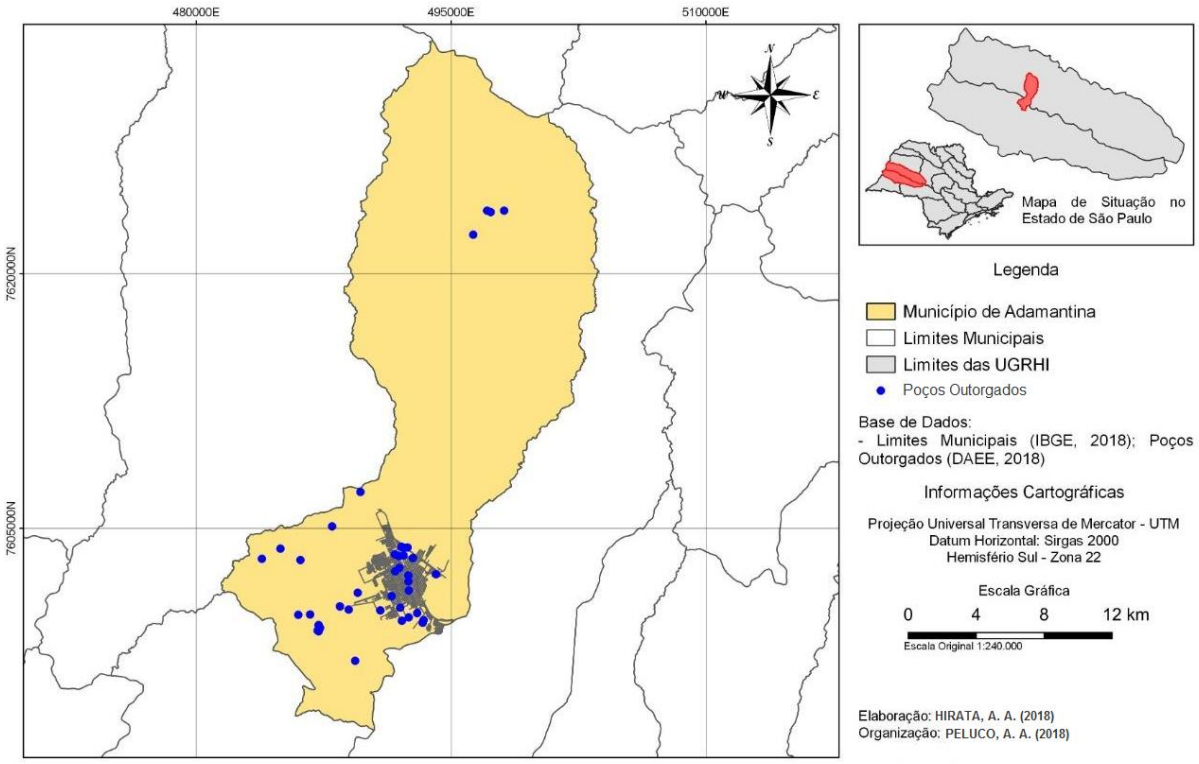
-- : Dado não cadastrado

Fonte: DAEE (2018)

Portanto os 48 poços tubulares que perfuram a superfície do município de Adamantina, no Estado de São Paulo, outorgados pelo DAEE até 2018, possuem a seguinte caracterização estratigráfica, de 0 até 200 m formação Adamantina e de 200 a 300 m, formação Serra Geral (Quadro 3). Sendo o primeiro em rochas sedimentares, muito porosas e o segundo em ambiente de basaltos de médio a muito fraturados. Todos os poços no Serra Geral, localizados na área estudada, são de propriedade da SABESP e servem para o abastecimento urbano.

Destes 48 poços do município de Adamantina, 22 deles, se localizam na cidade (Figura 14). Nota-se que na área rural a grande maioria dos poços concentra-se na sua porção sul e na cidade, ao longo da rodovia SP 294 e ferrovia, que corta a cidade e na sua porção sul e sudoeste.

Figura 14 - Localização dos 48 poços outorgados no município de Adamantina no ano de 2019.



Fonte: Hirata e Peluco (2018)

3.2.1.2 Seleção dos Pontos de Coleta das Amostras de Água nos Poços Cadastrados

Conforme mapeado na Figura 03, dos 48 poços no município de Adamantina, 22 estão localizados na delimitação da área de estudo que é a cidade (Figura 4 e

Quadro 4). Desse total de 22 poços cadastrados, 3 explotam água do Aquífero Serra Geral, restando então 19 poços que explotam água do Sistema Aquífero Bauru.

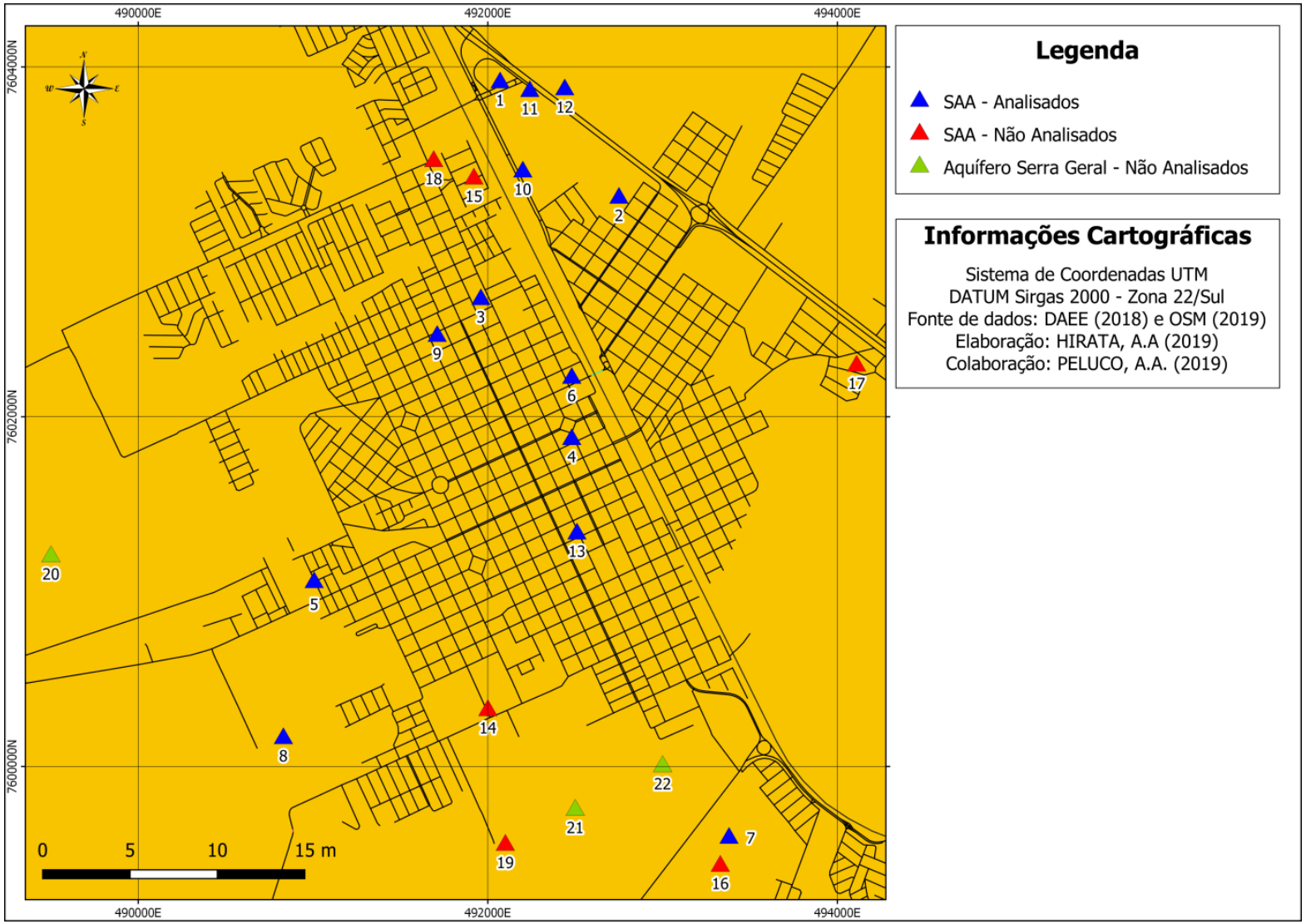
Inicialmente pretendia-se monitorar 100% da área de estudo, ou seja, os 19 poços urbanos do SAB, porém destes, 6 proprietários não autorizaram a realização da pesquisa, por essa razão foram monitorados apenas 13 poços (Figura 15).

Quadro 4 – Poços Cadastrados na Cidade de Adamantina/SP, em 2018.

Número	Coordenadas		Poço Sistema Aquífero Adamantina		Poço Sistema Aquífero Serra Geral
	UTM Norte	UTM Leste	Monitorados	Não Monitorados	
1	7.603,91	492,07	X		
2	7.687,75	460,73		X	
3	7.623,63	497,33		X	
4	7.623,72	497,12		X	
5	7.623,72	498,12		X	
6	7.622,30	496,30		X	
7	7.682,40	492,20			X
8	7.599,90	486,00			X
9	7.599,30	487,20			X
10	7.681,30	487,00			X
11	7.601,20	489,50			X
12	7.681,50	490,00			X
13	7.683,10	488,60			X
14	7.599,75	492,50			X
15	7.600,00	493,00			X
16	7.601,00	491,50	X		
17	7.602,67	491,96	X		
18	7.603,25	492,75	X		
19	7.601,87	492,48	X		
20	7.602,22	492,48	X		
21	7.600,40	488,45		X	
22	7.600,39	488,46			X
23	7.600,32	492,00		X	
24	7.597,19	489,35		X	
25	7.605,11	487,99		X	
26	7.603,20	483,86		X	
27	7.598,97	487,14		X	
28	7.599,13	487,29		X	
29	7.598,93	487,20			X
30	7.599,17	487,22			X
31	7.599,59	493,38	X		
32	7.603,36	491,92		X	
33	7.602,46	491,71	X		
34	7.603,40	492,20	X		
35	7.603,86	492,24	X		
36	7.600,21	488,97		X	
37	7.599,43	493,33		X	
38	7.598,30	481,94		X	
39	7.603,87	492,44	X		
40	7.602,29	494,11		X	
41	7.603,46	491,69		X	
42	7.599,55	492,10		X	
43	7.601,33	492,51	X		
44	7.600,16	490,83	X		
45	7.603,13	486,13		X	
46	7.607,14	489,66		X	
47	7.599,92	486,70			X
48	7.603,80	484,95		X	

Fonte: DAEE (2018).

Figura 15 - Localização dos poços monitorados na cidade de Adamantina/SP, em 2019.



Fonte: Hirata e Peluco (2019)

3.2.1.3 Metodologia Operacional de Monitoramento Estacional da Qualidade das Águas dos Poços Urbanos de Adamantina

O laboratório foi previamente preparado, as bancadas, vidrarias e frascos de coleta higienizados. Os frascos foram etiquetados e numerados de 1 a 13 em duplicata, pois cada ponto foi analisado duas vezes.

As partes internas e externas da caixa térmica utilizada para o armazenamento e transporte das amostras foram lavadas com água e detergente, enxaguadas com água, finalizando com aplicação de álcool etílico 70 ºGL e secagem natural.

As coletas de verão/2019 foram realizadas no dia 11/03/2019, período da manhã entre 08h00 e 12h00. Todas as coletas seguiram os procedimentos de segurança para evitar possíveis contaminações da amostra.

Todos os poços amostrados possuíam pontos específicos para coleta (torneiras), que foram previamente higienizadas com álcool etílico 70 ºGL e permaneceram abertas em vazão média por 5 minutos para que houvesse a eliminação/descarte da água possivelmente armazenada na tubulação bem como de possíveis resíduos presentes no encanamento.

Para efetuar a coleta, a vazão de água foi reduzida e os frascos devidamente numerados foram enxaguados por três vezes com a própria água a ser amostrada. As amostras foram coletadas, os frascos lacrados logo em seguida e armazenados em caixa térmica contendo gelo até o transporte ao laboratório.

As amostras foram transferidas da caixa térmica para o refrigerador, permanecendo em temperatura de 4 ºC até o momento da análise. Os ensaios laboratoriais iniciaram-se às 13h00 do mesmo dia, seguindo minuciosamente a metodologia analítica do equipamento utilizado. Durante todos os procedimentos foram adotados todos os critérios de segurança, com a utilização de jaleco, máscara, óculos e luvas.

Para os ensaios de Nitrato, Nitrito, Amônia e Fosfato foi utilizado o equipamento Environmental Testing Photometer HI83206 (Fotômetro de Teste Ambiental), marca Hanna Instruments. Os ensaios nesse equipamento são feitos utilizando kits de reagentes específicos do fabricante para cada parâmetro a ser analisado (Figura 16).

Figura 16 – Equipamento Environmental Testing Photometer HI83206, reagentes e vidrarias.

Fonte: Próprio autor

Para a determinação da Condutividade Elétrica, SDT, Salinidade e pH, foi utilizado o Medidor Multiparâmetros para Qualidade de Água HI9828, marca Hanna Instruments, Figura 17.

Figura 17 - Medidor multiparâmetros para qualidade de água HI9828.

Fonte: Próprio autor

3.2.1.4 Análise dos Resultados por Poço e seu Enquadramento, Segundo CONAMA 398/2008 e Portaria de Consolidação N° 5, do Ministério da Saúde.

Para a análise e enquadramento da qualidade das águas subterrâneas da cidade de Adamantina/SP foi utilizada a Resolução 396 de 2008 do CONAMA e os valores de referência das águas subterrâneas, por aquíferos, elaboradas pela CETESB (2016), bem como a Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde que trata da potabilidade das águas para abastecimento publico.

As classes estipuladas pelo CONAMA são segundo o artigo 3º da resolução 396/2008:

I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas a preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido as suas características hidrogeoquímicas naturais;

III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido as suas características hidrogeoquímicas naturais;

IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não e necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido as suas características hidrogeoquímicas naturais;

V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e

VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não tem requisitos de qualidade para uso.

Tabela 5 - Parâmetros Monitorados e seus Limites nas Classes de Enquadramento das Águas Subterrâneas, Segundo Resolução 398/2008 do CONAMA.

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Amônia (mg/L)					
Fósforo (mg/L)	0,2				
Nitrato (mg/L)	Até 10	+10	+10	90	
Nitrito (mg/L)					
pH	6,0 a 9,5	6,0 a 9,5	6,0 a 9,5	6,0 a 9,5	
Condutividade Elétrica (mS/cm)					
Salinidade (‰) Água Doce	Até 0,05				
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Até 1.000	+1.000	+1.000	+1.000	+15.000

Fonte: elaborada pelo autor

A classificação se inicia com a avaliação do impacto, seguida das condições dos padrões de qualidade e uso(s) destinado(s). Os valores máximos permitidos - VMPs para os respectivos usos da água são observados quando de sua utilização, com ou sem tratamento, independentemente da classe (Tabela 5). Desta forma, a avaliação das características hidrogeoquímicas naturais e/ou alteração antrópica é um ponto fundamental para a classificação e que orienta a seleção dos parâmetros de controle. Especialmente para os aquíferos rasos, o monitoramento de alguns parâmetros conservativos nas águas subterrâneas como cloreto, SDT e nitrato, associados ao controle do nível da água e das fontes de poluição, é de grande ajuda. Os valores de cloreto e SDT quase sempre exibem uma boa correlação positiva e podem estar relacionados à recarga (chuva e aerossol marinho nas áreas costeiras), porém elevadas concentrações apontam para as infiltrações diretas de esgotos sanitários ou fossas sépticas. O nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) tem sua origem mais significativa como antrópica, comumente advinda de poluição industrial, atividades agrícolas e esgoto sanitário, portanto é um parâmetro de controle obrigatório. Um ensaio prático com o uso do nitrato: o VMPr+ para o nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) é de 10.000 µg/L ou 10 mg/L, sendo seu VRQ na água inferior a este valor e, também, na mesma condição para os demais parâmetros a água é classe 1; se igual é classe 3 e se

superior classe 4. A presença do nitrato acima do seu VMPr+ exclui a água da classe 2.

Entendendo o VRQ como os valores de referência de qualidade natural, definidos pelos órgãos competentes, por meio de adequado tratamento estatístico dos dados do monitoramento. O VMP de um dado parâmetro para cada uso preponderantes; será válido para todos os usos se os VMPs específicos ainda não tiverem sido estabelecidos, observados os limites de quantificação praticável (LQP) constantes na Resolução. O LQP é a menor concentração do parâmetro determinada com precisão e exatidão pelo método usado. O VMPr+ é o VMP mais restritivo entre os usos e VMPr- menos restritivo (Resolução 396/2008 do CONAMA).

Para o estado de São Paulo a Lista de Valores Orientadores para as Águas Subterrâneas (CETESB, 2014), que objetiva estabelecer critérios para proteção da qualidade dos solos e águas subterrâneas, foi publicada pela primeira vez pela CETESB em 2001 (CETESB, 2001). Para as águas subterrâneas foram adotados os valores de intervenção – VI, que indicam as concentrações máximas de determinadas substâncias acima das quais existe potencial de risco à saúde humana em um cenário genérico, enquanto para os solos foram também adotados os valores de referência de qualidade – VRQ e valores de prevenção – VP.

Para as águas subterrâneas, foram adotados como valores de intervenção os padrões de potabilidade, dessedentação animal, irrigação e recreação (Tabela 6).

Tabela 6 - Parâmetros Monitorados, Classes de Uso das Águas Subterrâneas e Limites de Quantificação Praticável, Segundo Resolução CONAMA 396/2008.

Parâmetros	**Consumo Humano**	**Dessedentação de Animais**	**Irrigação**	**Recreação**	**LQP Praticável**
Cloreto	250		100 a 700	400	2
Nitrato (mg/L)	10	90		10	3
Nitrito (mg/L)	1	1	10	1	20
pH	6,0 a 9,5			6,0 a 9,5	
Salinidade (‰)	0,05				
Sódio (mg/L)	200.000	-	-	300.000	1000
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	1000.000	-	-	-	2.000

Fonte: CONAMA (2008)

Para contribuir com a avaliação da qualidade das águas subterrâneas da cidade de Adamantina/SP foi utilizado também valores máximos permitidos,

estipulados pelo Ministério da Saúde, Portaria de Consolidação nº 5 (2017) e pela CETESB (2014), Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros monitorados e Valor Máximo Permitido – VMP, para potabilidade das águas subterrâneas da cidade de Adamantina/SP, segundo Ministério da Saúde (2011) e CETESB (2014).

Parâmetros	VMP
Amônia (mg/L)	1,5
Fósforo (mg/L)	*
Nitrato (mg/L)	10
Nitrito (mg/L)	1
pH	6,5 a 9,0
Condutividade Elétrica (mS/cm)	242
Salinidade (‰)	Até 0,05
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	1.000

OBS: * Não existe.

Para ajudar na avaliação da condutividade elétrica utilizou-se também a classificação proposta por Mestrinho (2013), que cria classes de condutividade, perante capacidade de mineralização e sua resultante na qualidade das águas subterrâneas (Tabela 8).

Tabela 8 - Classificação da água quanto aos valores de condutividade elétrica para águas subterrâneas, segundo Mestrinho (2013).

Condutividade	Mineralização	Qualidade da água
< 100 µS/cm	Muito fraca	Excelente
100 µS/cm - 200 µS/cm	Fraca	Excelente
200 µS/cm - 400 µS/cm	Pouco acentuada	Excelente
400 µS/cm - 600 µS/cm	Média	Boa
600 µS/cm - 1000 µS/cm	Importante	Utilizável
>1000 µS/cm	Excessiva	Dificilmente utilizável
>1500 µS/cm	Excessiva	Não utilizável na rega

Fonte: Mestrinho (2013)

A legislação Holandesa determina que o nível de fosfatos na água subterrânea não gera problemas quando sua concentração é igual ou menor a 0,05 mg P/L, que equivale a 0,15 mg PO_4^{3-}/L (HEREDIA et al., 2000). Recorreu-se a esta

legislação devido a ausência de uma norma ou legislação brasileira que estabeleça limites permitidos de fosfatos na água para consumo humano.

3.2.1.5 Qualidade e enquadramento das águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina para as estações do verão e inverno de 2019, e média para o ano.

Os resultados dos ensaios de qualidade das águas subterrâneas da cidade de Adamantina foram tabulados, tratados estatisticamente e enquadrados nas classes do CONAMA e potabilidade do Ministério da Saúde, para as estações de verão e inverno de ano de 2019, em seguida com a média ponderada anual.

Com os resultados da análise de qualidade da água dos pontos de coleta, obtidos em duplicata, calculou-se a média aritmética simples de cada parâmetro para os períodos de verão e de inverno no ano de 2019. Os gráficos para comparação dos resultados obtidos para cada parâmetro foram elaborados no programa Microsoft Excel.

A análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$) também foi realizada para verificar as se existe correlação entre os parâmetros de qualidade de água analisados. Para isso o pacote "corrplot" foi acessado para criar o mapa de calor (heatmap), usando as funções "color" e "cor.mtest" para criar matrizes de coeficiente e valor-p, respectivamente. Para facilitar a visualização de correlações significativas, asteriscos foram inseridos nas células do mapa de calor. Quando verificado que houve correlação significativa foi elaborado no Microsoft Excel um gráfico de correlação linear simples para melhor demonstração.

Para a interpretação do coeficiente de Pearson, foi adotada a mesma classificação reportada por Shimakura (2006) (Quadro 5).

Quadro 5 - Classificação de correlação linear.

Coeficiente de correlação	Correlação
r = 1 (+ ou -)	Perfeita
0,00 a 0,19	bem fraca
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,69	Moderada
0,70 a 0,89	Forte
0,90 a 0,99	muito forte

Fonte: Shikamura (2006)

4 RESULTADOS

4.1 Hidrogeologia do Aquífero Adamantina na Cidade de Adamantina/SP.

Os 13 poços analisados da cidade de Adamantina assentam-se sobre arenitos da formação Adamantina, que compreendem o aquífero com o mesmo nome, Tabela 9.

Tabela 9 - Localização dos poços tubulares monitorados na cidade de Adamantina/SP, em 2019.

Numero	Coordenadas (UTM Norte/UTM Leste	Bairro	Formação Geológica	Profundidade (m)	Vazão (m^3/h)
1	7.603,91/ 492,07	Distrito Industrial	Formação Adamantina	150	10,0
2	7.603,25/ 492,75	Vila Jamil de Lima	Formação Adamantina	100	4,0
3	7.602,67/ 491,96	Centro	Formação Adamantina	140	3,5
4	7.601,87/ 492,48	Centro	Formação Adamantina	*	1,2
5	7.601,00/ 491,50	Parque Cecap	Formação Adamantina	76	1,0
6	7.602,22/ 492,48	Centro	Formação Adamantina	80	2,7
7	7.599,59/ 493,38	Jardim Bela Vista	Formação Adamantina	100	1,8
8	7.600,16/ 490,83	SM II	Formação Adamantina	70	3,0
9	7.602,46/ 491,71	Centro	Formação Adamantina	75	4,2
10	7.603,40/ 492,20	Distrito Industrial	Formação Adamantina	150	10
11	7.603,86/ 492,24	Distrito Industrial	Formação Adamantina	108	4,0
12	7.603,87/ 492,44	Distrito Industrial	Formação Adamantina	55	3,9
13	7.601,33/ 492,51	Centro	Formação Adamantina	29	1,8

Fonte: próprio autor

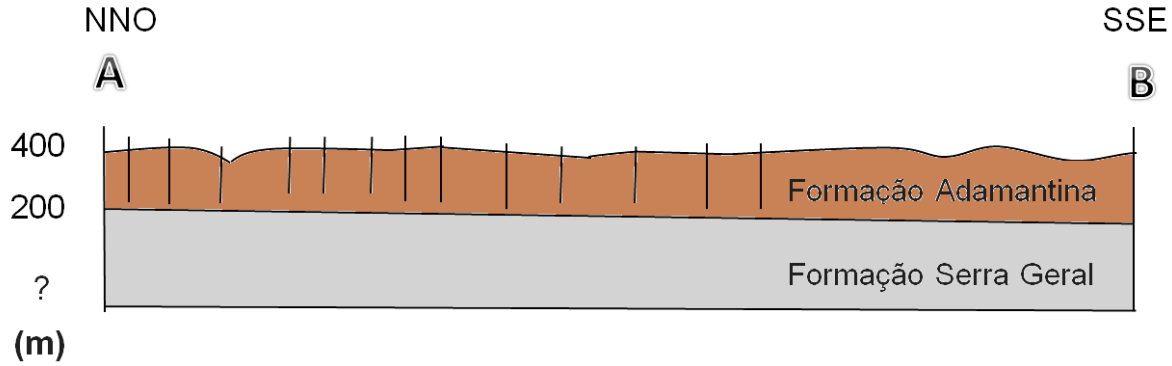
*: Poço tubular sem conhecimento de profundidade.

Estes oscilam entre poços freáticos com profundidade de 29 metros a tubulares, com mais profundos com 150 metros, todos captando águas no aquífero Adamantina (Tabela 9 e Figura 18). Os poços mais rasos da cidade de Adamantina e geralmente mais antigos, segundo os proprietários já que não se tem precisão de suas idades de perfuração, encontram-se no centro da cidade, com exceção do poço 3, mais profundo e da década de 2000. O ponto 13, um dos mais antigos, recebe influência direta do lençol freático, bem como das antigas fossas abandonadas, com a implantação da rede de esgoto, a partir de 1977. Os poços 4 e 6, também antigos e localizados no centro da cidade, possuem

profundidades até 80 metros e ainda sofrem influências de plumas de contaminação dessas fossas abandonadas.

Vale salientar que a cidade localiza-se no divisor de águas das duas bacias hidrográficas importantes, a do rio do Aguapeí e do Peixe, sendo de grande importância um controle visando sua preservação.

Figura 18 – Características do Sistema Aquífero Adamantina, na cidade de Adamantina/SP, em 2019.

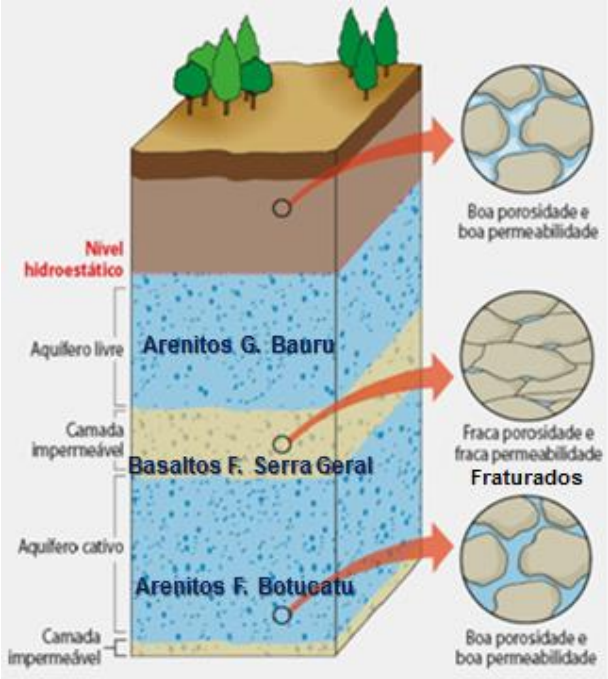


Fonte: A autora (2020).

Aquífero este, extremamente poroso e de boa permeabilidade (Figura 19) e que segundo Silva et al. (2005b), nele predominam os sedimentos de permeabilidade aparente moderada, com pontos de máximos irregularmente distribuídos em faixas paralelas, a sul e a norte do Rio Tietê. E assenta-se sobre os basaltos semifraturados da formação Serra Geral, aquífero este atualmente utilizado pela SABESP para abastecer a cidade de Adamantina.

Para Mendonça e Gutierrez (2000), o sistema apresenta vazões variando de 5 a 50 m^3/h, vazões específicas entre 0,5 e 3 m^3/h/m e transmissividades entre 10 e 100 m^2/dia. A média das vazões específicas obtida dos poços cadastrados é de 0,33 m^3/h/m, significativamente mais baixa que aquelas dos Aquíferos Caiuá e Santo Anastácio.

Figura 19 – Porosidade e permeabilidade das formações geológicas da cidade de Adamantina/SP.



Fonte: adaptado pela autora (2020).

4.2 Localização de Possíveis Atividades Poluidoras das Águas Subterrâneas na Cidade de Adamantina, em 2019

Com relação a fontes potenciais difusas (Quadro 1), a área de estudo é classificada como potencial de carga contaminante reduzida, pois a cobertura da rede de esgoto é superior a 75% e a densidade populacional inferior a 550 pessoas/ha.

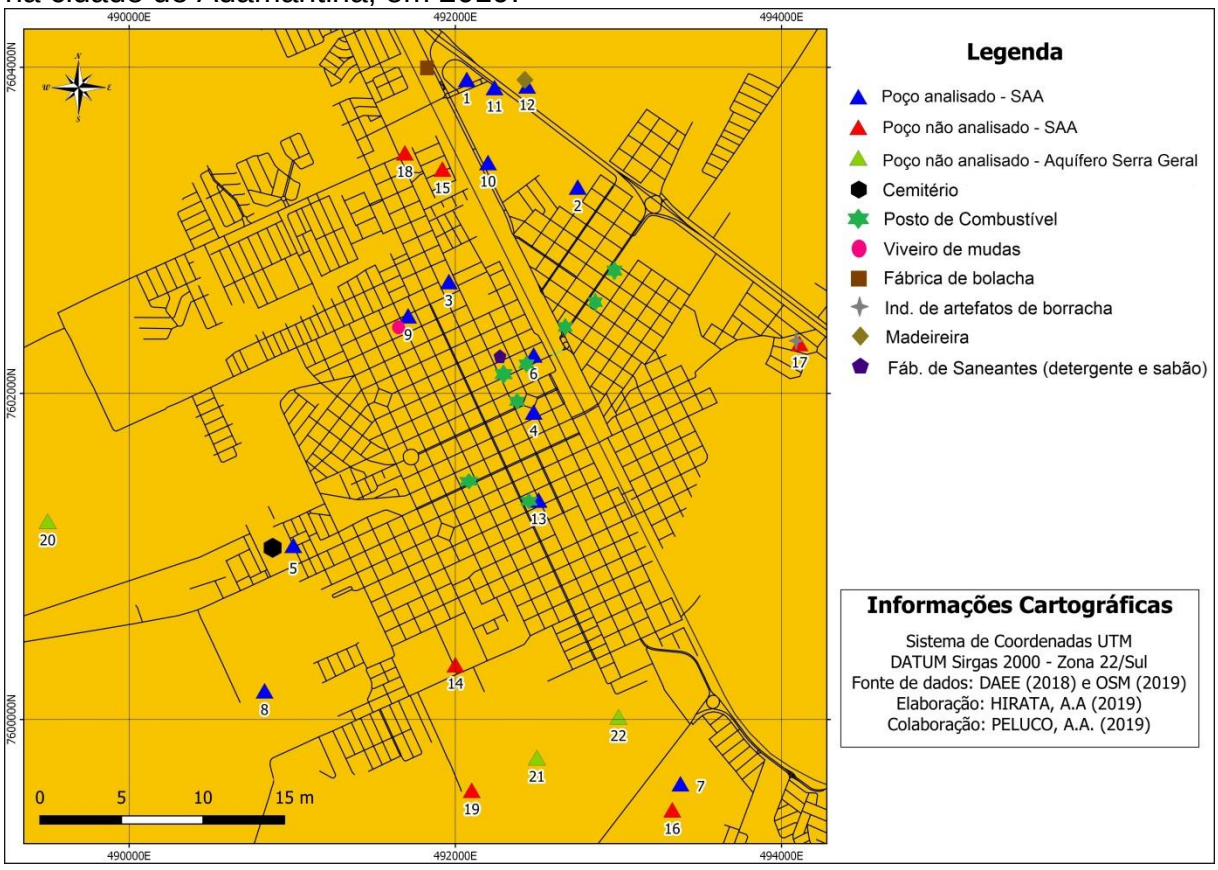
Analisando a Figura 20, verifica-se que na área de estudo há diversas atividades com potencial de carga contaminante (Quadro 2). No Centro da cidade predomina postos de combustível com uma fábrica de saneantes (detergente e sabão) que de acordo com o método POSH é classificado como fonte de contaminação pontual moderada.

Dentro da área estudada e próximo ao ponto de coleta 12 funciona uma madeireira que quando há precipitação pluviométrica maior que 500 mm/ano é considerada como fonte de contaminação pontual moderada e se a precipitação pluviométrica for menor que 500 mm/ano é considerada como fonte de contaminação pontual reduzida. A mesma regra se aplica à Fábrica de Bolacha.

Próximo ao ponto de coleta 5 está localizado o cemitério municipal, que também de acordo com o método POSH é classificado com fonte de contaminação pontual reduzida. A fábrica de artefatos de borracha é classificada como fonte de contaminação pontual moderada, porém não houve pontos de coleta próximos ao local.

O viveiro de mudas embora não apareça no Quadro 2 também apresenta potencial de contaminação, pois as mudas de plantas produzidas recebem adubação nitrogenada e fosfatada, necessitando de várias irrigações diárias, fator que ocasiona lixiviação de nitrato no solo e possível acúmulo de fósforo/fosfato.

Figura 20 – Localização das possíveis atividades poluidoras e dos poços tubulares na cidade de Adamantina, em 2019.



Fonte: adaptado de Hirata e Peluco (2020)

4.3 Qualidade Físico-Química, Enquadramento e Possíveis Contaminadores da Qualidade das Águas dos Poços Tubulares da Cidade de Adamantina, em 2019.

As concentrações salinas são menores nos vales e à jusante dos rios interiores e maiores ao longo dos espigões de Pompéia - Adamantina e Valparaíso – Mirandópolis. O pH varia de ácido (4,59) a básico (9,64), com predominância de águas bicarbonatadas cálcicas nas áreas de planaltos e espigões, e bicarbonatadas cálciomagnesianas nas áreas próximas aos vales (DAEE, 2005a).

Como o nitrato é o principal indicador de qualidade de águas subterrâneas, expressos tanto na resolução CONAMA 396/2008, como na Portaria de Consolidação Nº 5 do MS, iniciou-se a avaliação da qualidade das águas dos 13 poços monitorados na cidade de Adamantina, no verão e inverno de 2019, por este parâmetro.

Pela classificação CONAMA, no verão, oito poços da cidade enquadraram-se na classe I, sendo eles: 1, 2, 5, 7, 8,10, 11 e 12, e posicionam-se respectivamente nos bairros: Distrito Industrial, Vila Jamil de Lima, Parque Cecap, Jardim Bela Vista, Próximo ao Residencial San Miguel II, Distrito Industrial. Que caracteriza suas águas por: “aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais”.

E os cinco poços, 3, 4, 6, 9 e 13, enquadram-se na classe III, Tabela 10. Que preconiza: “águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido as suas características hidrogeoquímicas naturais”. E todos esses cinco poços estão localizados no bairro Centro de Adamantina.

Tabela 10 - Características físico-químicas das águas em poços monitorados na cidade de Adamantina/SP, no verão de 2019.

Ponto de Coleta	Hora	Data da Coleta	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia* (mg/L)	Fosfato** (mg/L)	Condutividade Elétrica (uS/cm)	SDT (mg/L)	Salinidade (‰)***	pH****
1	11:00	11/03/19	4,9	0,025	0,00	0,265	318	158	0,15	7,49
2	10:00	11/03/19	7,7	0,03	0,00	0,265	318	158	0,15	7,05
3	09:15	11/03/19	10,9	0,02	0,00	0,255	377	196	0,14	7,42
4	08:00	11/03/19	19,15	0,03	0,00	0,335	292	145	0,20	5,95
5	08:20	11/03/19	7,75	0,06	0,00	0,56	275	166	0,15	6,92
6	10:20	11/03/19	23	0,02	0,00	0,34	321	178	0,16	6,18
7	11:30	11/03/19	4,75	0,03	0,00	0,30	345	171	0,15	7,44
8	09:50	11/03/19	9,25	0,03	0,00	0,285	270	150	0,18	6,5
9	08:35	11/03/19	14,6	0,03	0,00	0,40	290	184	0,14	5,74
10	11:15	11/03/19	3,5	0,04	0,00	0,25	299	150	0,15	7,9
11	10:45	11/03/19	5,85	0,03	0,00	0,35	319	160	0,20	7,29
12	09:35	11/03/19	5,7	0,02	0,00	0,445	408	204	0,15	7,6
13	08:50	11/03/19	26,45	0,03	0,00	0,51	303	152	0,17	5,84
Enquadramento Médio			III	I	I			I	Salobra	I

Legenda: Classes Resolução CONAMA 396/2008 e CETESB (2016).

Classe I

Classe II

Classe III

Obs.: * Valor do Padrão Organoléptico de Potabilidade para Amônia (1,25 mg NH_3/L) expresso em mg N/L;

** A legislação Holandesa determina que o nível de fosfatos na água subterrânea não gera problemas quando sua concentração é igual ou menor a 0,15 mg-PO_4^{3-}/L.

*** Até 0,05‰ classificada como água doce, de 0,05 ‰ a 30‰ salobra e +30‰ salina, resolução CONAMA 357/2005.

**** 6,0 a 9,5 para consumo humano da Resolução CONAMA 396/08.

No inverno (Tabela 11) os poços mantiveram o mesmo enquadramento, com exceção do poço 3 que apresentou concentração de NO_3^- abaixo de 10 mg/L passando a enquadrar-se na classe I.

Tabela 11 – Características físico-químicas das águas em poços monitorados na cidade de Adamantina/SP, no inverno de 2019.

Ponto de Coleta	Hora	Data da Coleta	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia* (mg/L)	Fosfato** (mg/L)	Condutividade Elétrica (uS/cm)	SDT (mg/L)	Salinidade (‰)***	pH****
1	10:00	05/08/19	5,15	0,04	0,00	0,215	335	0,168	0,16	7,92
2	09:40	05/08/19	8,1	0,03	0,00	0,335	349	0,177	0,17	7,63
3	08:00	05/08/19	8,65	0,035	0,00	0,23	326	0,163	0,16	7,22
4	12:00	05/08/19	12,1	0,035	0,00	0,5	410	0,204	0,20	6,85
5	11:30	05/08/19	8,1	0,035	0,00	0,78	416	0,209	0,20	6,97
6	08:50	05/08/19	20,65	0,035	0,00	0,44	379	0,190	0,18	6,18
7	10:35	05/08/19	5,7	0,04	0,00	0,4	397	0,181	0,17	6,9
8	10:55	05/08/19	9,65	0,035	0,00	0,47	350	0,160	0,19	6,87
9	08:15	05/08/19	10,75	0,04	0,00	0,32	297	0,149	0,14	5,67
10	10:45	05/08/19	2,8	0,03	0,00	0,42	330	0,165	0,16	7,91
11	10:15	05/08/19	4,5	0,035	0,00	0,325	421	0,211	0,20	7,86
12	09:15	05/08/19	7,4	0,035	0,00	0,685	282	0,141	0,13	7,6
13	08:30	05/08/19	22,75	0,05	0,00	0,47	335	0,167	0,16	5,48
Enquadramento Médio			II	I	I			I	Salobra	I

Legenda: Classes Resolução CONAMA 396/2008 e CETESB (2016).

Classe I

Classe II

Classe III

Obs.: * Valor do Padrão Organoléptico de Potabilidade para Amônia (1,25 mg NH_3/L) expresso em mg N/L;

** A legislação Holandesa determina que o nível de fosfatos na água subterrânea não gera problemas quando sua concentração é igual ou menor a 0,15 mg-PO_4^{3-}/L.

*** Até 0,05‰ classificada como água doce, de 0,05 ‰ a 30‰ salobra e +30‰ salina, resolução CONAMA 357/2005.

**** 6,0 a 9,5 para consumo humano da Resolução CONAMA 396/08.

Porém, Swain (1973) *apud* Hufen et al. (1980) determina que concentrações de nitrato na água subterrânea acima de 1,1 mg-NO_3^-/L já podem estar indicando alguma influência antrópica.

O nitrato em águas subterrâneas origina-se principalmente de quatro fontes: aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica (BAIRD; CANN, 2011).

Por essa razão, a CETESB (2014) utiliza a premissa como limite para a ação preventiva, concentrações acima de 5,0 mg/L de nitrato nas águas subterrâneas no estado de São Paulo.

Nota-se que todos os poços no verão tiveram concentrações acima de 10 mg/L, o limite para a potabilidade e de comprometimento de suas funções ecológicas. Os mesmos apresentaram redução no inverno, provavelmente vinculada à redução da recarga do aquífero Adamantina. Esse fato possivelmente ocorreu devido aà alta porosidade e permeabilidade do solo que funcionam como esponja, com rápida captação de águas pluviais, mesmo com profundidades variando de 29 a 80 metros.

Na Tabela 12, constatam-se as elevadas concentrações de nitrato, tanto no verão, quanto no inverno de 2019, acima do valor máximo permitido- vmp de 10 mg/L, em todos os poços localizados no centro da cidade.

O poço 13, possui a maior concentração de nitrato, 26,4 mg/L no verão e 22,7 mg/L, no inverno é o mais raso, com apenas 29 metros de profundidade, que capta água freática do aquífero Adamantina, localizado no centro, próximo de um posto de combustível, possui baixa vazão é utilizado pelo proprietário para lavagem de veículos e de piso (Figura 20 e Tabelas 10, 11 e 12). Duas coisas já descritas na literatura podem estar influenciando nesse resultado, que é o posto de combustível classificado por Foster et al. (2006) como uma fonte de contaminação pontual moderada, e o fato de estar localizado na área mais velha da cidade, onde haviam fossas em todos os imóveis até a implantação da rede coletora de esgotos que ocorreu na década de 70.

O Bairro com maior concentração de nitrato em suas águas subterrâneas na cidade de Adamantina, em 2019, foi o Centro, o que está de acordo com a literatura por se tratar da área onde iniciou a construção da cidade em 1949, com imóveis ligados a fossas rudimentares ou negras, até o início da rede de coleta de esgoto, que ocorreu apenas em 1977. Porém, a grande maioria destas fossas não foram corretamente desativadas, e sim apenas desligadas, podendo estar emitindo até hoje plumas de contaminação química que passa pelo solo e atinge as águas subterrâneas.

A esse respeito, Hirata, Foster e Oliveira (2006) afirmam que antigas fossas não corretamente desativadas podem gerar plumas de contaminação por mais de cem anos e constituem um grande risco de contaminação das águas subterrâneas no Brasil.

Soma-se a isso as atividades que são fontes de contaminação pontuais e potenciais difusas existentes na área de estudo ou muito próximo à mesma,

principalmente de nitrato, como postos de combustível, fábricas de saneantes e produtos alimentícios, fábrica de artefatos de borracha, cemitério, aterro sanitário (desativado em junho de 2019), fábrica de ração de origem animal, os quais foram reportados anteriormente na Figura 20.

A segunda maior concentração de nitrato, registrado em ambas as estações foi o poço 6, com 23,0 mg/L, no verão e 20,6 mg/L no inverno, que também se localiza no centro da cidade e possui baixa vazão, um pouco mais profundo, com 80 metros de profundidade, com mais de três décadas de perfuração e contaminado possivelmente por fossas abandonadas, por um posto de combustível e uma fábrica de saneantes (Figura 20 e Tabelas 10, 11 e 12).

O poço 4, o terceiro com maior concentração de nitrato, com 19,1 mg/L, no verão e 12,1 mg/L, no inverno, e o proprietário desconhece sua profundidade e quando foi perfurado, só sabe que é antigo, também se localiza no centro da cidade e próximo a um posto de gasolina. Já poço 9, também no centro, perfurado em um viveiro de mudas, possui 75 metros de profundidade e em sua proximidade ocorre grande acumulo de matéria orgânica e de adubos, utilizados para as plantas do viveiro, fornecendo portanto para o ambiente grande quantidade de nitrogênio para o seu ciclo e formação do nitrato ou nitrito. Suas concentrações de nitrato, variaram de 14,6 mg/L, no verão a 10,7 mg/L no inverno, mostrando também a importância das chuvas para o acréscimo do nitrato, (Figuras 20 e Tabela 10, 11 e 12).

O poço 3, também no centro da cidade e de antiga perfuração é o mais profundo, dentre os contaminados, com 140 metros e registro concentração acima do vmp, apenas na estação chuvosa do verão, com 10,9 mg/L, mostrando a grande influencia das precipitações e constituir área de recarga do aquífero, localizado no interflúvio das bacias do rio Aguapeí e do Peixe, com já mencionado.

Concluindo que as maiores concentrações ocorreram principalmente nos poços mais rasos e mais antigos, com grande influencia das precipitações, como já mencionado, localizados no centro da cidade, (Tabela 12).

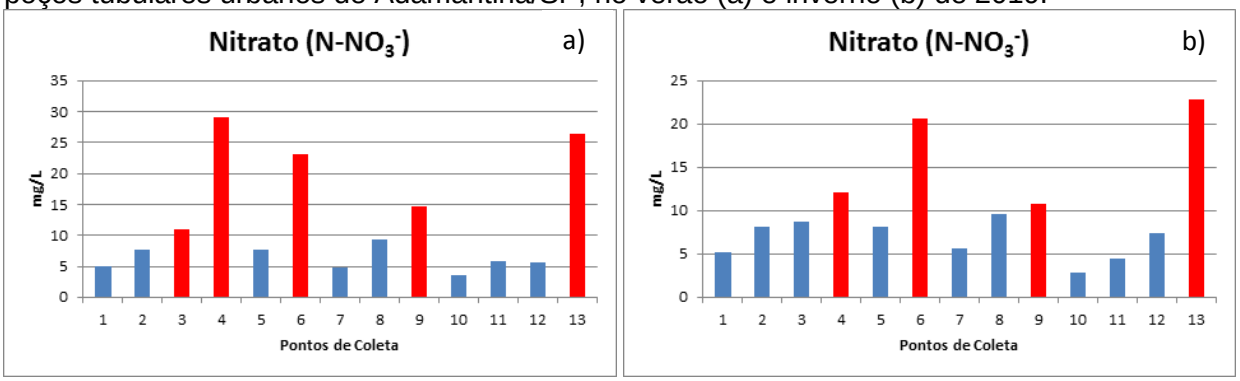
Tabela 12 – Formação geológica, profundidade, vazão, concentrações de nitrato e enquadramento dos poços monitorados na cidade de Adamantina em 2019.

Numero do Poço	Bairro	Formação Geológica	Profundidade (m)	Vazão (m^3/h)	Nitrato Verão (mg/L)	Nitrato Inverno (mg/L)	Enquadramento Médio
1	Distrito Industrial	Formação Adamantina	150	10,0	**4,9**	**5,15**	**5,02**
2	Vila Jamil de Lima	Formação Adamantina	100	4,0	**7,7**	**8,1**	**7,9**
3	**Centro**	Formação Adamantina	140	3,5	**10,9**	**8,65**	**9,77**
4	**Centro**	Formação Adamantina	*	1,2	**19,15**	**12,1**	**15,62**
5	Parque Cecap	Formação Adamantina	76	1,0	**7,75**	**8,1**	**7,92**
6	**Centro**	Formação Adamantina	80	2,7	**23**	**20,65**	**21,82**
7	Jardim Bela Vista	Formação Adamantina	100	1,8	**4,75**	**5,7**	**5,22**
8	SM II	Formação Adamantina	70	3,0	**9,25**	**9,65**	**9,45**
9	**Centro**	Formação Adamantina	75	4,2	**14,6**	**10,75**	**12,67**
10	Distrito Industrial	Formação Adamantina	150	10,0	**3,5**	**2,8**	**3,15**
11	Distrito Industrial	Formação Adamantina	108	4,0	**5,85**	**4,5**	**5,17**
12	Distrito Industrial	Formação Adamantina	55	3,9	**5,7**	**7,4**	**6,55**
13	**Centro**	Formação Adamantina	29	1,8	**26,45**	**22,75**	**24,6**
Média	-	-	94,4	3,93	**III**	**II**	**II**

OBS: Todas as concentrações de nitrato abaixo de 10 mg/L são potáveis.

Contudo para a análise e o enquadramento da qualidade das águas subterrâneas, faz-se necessário avaliá-las perante seus usos predominantes. Por exemplo, as classificações mais exigentes, como a da potabilidade, regulamentada pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, expressa que dos treze poços monitorados, em cinco deles, as concentrações de nitrato foram superiores ao valor máximo permitido - vmp, que é de 10 mg/L e nos poços 4, 6 e 13, os valores foram superior ao dobro do vmp, mostrando a forte contaminação desses poços, sua não potabilidade e o risco real se essa água for consumida, Tabela 12 e Figura 21.

Figura 21 - Potabilidade conforme as concentrações de Nitrato nas águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina/SP, no verão (a) e inverno (b) de 2019.



Legenda: Potável

Não Potável

Fonte: Próprio autor

Esses poços são particulares e utilizados para uso comercial e industrial, não sendo utilizados para consumo humano. Se essa água fosse destinada para consumo humano, os mesmos deveriam ser lacrados, visto que seu tratamento é oneroso e requer muito tempo e considerando as doenças que o nitrato pode gerar como a metahemoglobinemia (cianose) e/ou câncer gástrico (BOUCHARD et al., 1992; AHADA; SUTHAR, 2018; RUCKART et al., 2008).

As águas do poço 8, possuem concentrações muito próximas do limite e sabendo-se que o nitrato é acumulativo na água e no organismo humano, o uso de suas águas também requer muita atenção.

Portanto apenas oito dos treze poços analisados no verão tem suas águas potáveis, sem risco para o consumo humano, Tabela 10 e Figura 21, sendo estes os poços 1, 2, 5, 7, 8, 10, 11 e 12. Dessa forma o poço com melhor qualidade, perante as concentrações de nitrato foi o poço 10, com concentração de apenas 3,5 mg/L. No inverno (Tabela 11) a única alteração em relação ao verão foi o poço 3 que apresentou concentração de nitrato abaixo do limite de 10 mg/L.

Igualmente para a balneabilidade, resolução CONAMA 274 de 2000, o valor máximo permitido é de 10 mg/L, o que resulta que também, as águas dos poços 1, 2, 5, 7, 8, 10, 11 e 12 são boas para banho e recreação, adicionando-se poço 3 no período de inverno.

Como muitos poços se encontram próximos ao limite da área urbana com a rural, as propriedades rurais vizinhas não possuem abastecimento público de água tratada e são em sua grande maioria abastecidas por poços, que servem além da

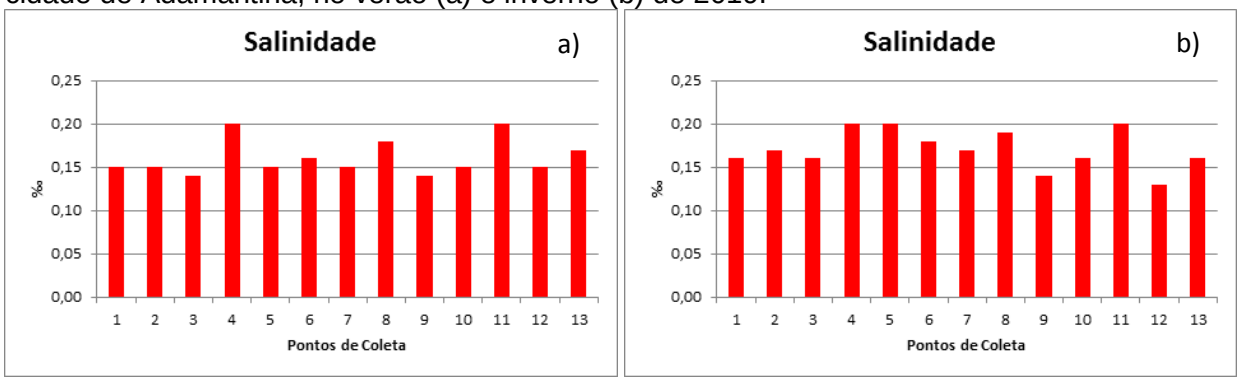
dessedentação animal, que tem limite maior de valor máximo permitido é até 90 mg/L, resolução CONAMA 396/2008, para alimentação humana. Se considerada sua águas para dessedentação animal, todos estes poços monitorados são aptos para tal uso, porém se os proprietários rurais usam para alimentação e/ou banho, apenas 7 são potáveis, quanto esse parâmetro.

A diferença no conteúdo de NO_3^- em vários locais de amostragem pode ser atribuída ao padrão sazonal de precipitação pluvial, taxa de recarga de águas subterrâneas, processo de evapotranspiração, etc. Outros fatores responsáveis pelas variações espaciais da contaminação por NO_3^- incluem tamanho de partícula no solo, capacidade de retenção de água no solo, intensidade de precipitação, profundidade do lençol freático, meios aquíferos, etc. (SHALEV et al. 2015 ; BUVANESHWARI et al. 2017 ; MINET et al. 2017 ; NAKAGAWA et al. 2017 ; RE et al. 2017).

As concentrações de salinidade e de fosfatos indicam influência antrópica, sobretudo de esgotos sanitários, efluentes de fábricas de saneantes e cemitério. O descarte irregular de efluentes industriais com elevada carga orgânica, erroneamente considerada como adubo, em propriedades rurais nas imediações da área estudada também podem estar relacionado com as elevadas concentrações de fosfato.

A salinidade das águas subterrâneas da cidade apontaram concentrações acima de 0,05‰, conforme demonstrado nas Tabelas 10 e 11 e Figura 22, por essa razão enquadraram-se segundo a resolução CONAMA 357/2005, na classe de águas salobra, não sendo doces, e essa salinidade deriva além das condições hidrogeológicas naturais, provavelmente de fossas, com destaque para os poços 5, 11 e 12. A localização do poço 5 pode ser considerada como periférica, está ao lado do cemitério municipal e próximo de chácaras que ainda utilizam fossas, e de uma chácara onde por décadas funcionou uma granja avícola; os poços 11 e 12 localizam-se na área periférica da cidade, sendo considerada como área rural com atividade agrícola até poucos anos atrás. Importante ressaltar que o limite entre urbano e rural é muito próximo a esses pontos, possuindo áreas utilizadas para o setor agropecuário, como plantio de cana-de-açúcar, café e pastagem.

Figura 22 - Concentrações de salinidade nas águas subterrâneas dos poços tubulares da cidade de Adamantina, no verão (a) e inverno (b) de 2019.



Fonte: Próprio autor

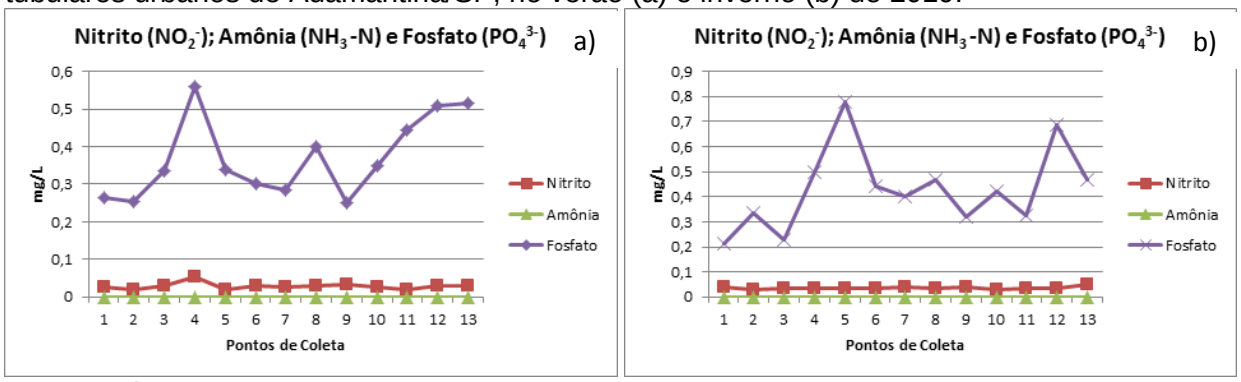
As concentrações de nitrito foram em média de apenas 0,3 mg/L, muito baixas, pois o nitrito é rapidamente convertido (oxidado) em nitrato, sendo essa concentração segura para os usos humanos, para recreação e para dessedentação animal, que tem como valor limite 1 mg/L. E mais baixas ainda no caso de irrigação, cujo limite é de 10 mg/L de nitrito (Tabelas 10 e 11 e Figura 23).

A amônia em todos os poços monitorados mensurou a sua ausência, o que é um bom resultado, pois sua presença na água subterrânea é indicadora de poluição recente por matéria orgânica em decomposição, e por contaminação bacteriana, (Tabelas 10 e 11 e Figura 23).

Os Fosfatos são importantes para todas as formas de vida, porém em excesso nas águas tornam-se responsáveis pela eutrofização, isto é, provocam o crescimento acumulado de algas e bactérias heterótrofas, modificadoras do caráter físico-químico da água, quando em contato com o oxigênio. No Brasil não é regulamentado como parâmetro químico e é muito utilizado com outros elementos químicos como agrotóxicos e fertilizantes. As fontes de fosfatos antropogênicas podem incluir efluentes de sistema de esgotamento sanitário, dejetos animais, detergentes, resíduos industriais, etc., sendo nociva a saúde humana (RAO, PRASAD, 1997; NOVA ZELÂNDIA, 2003; FARIDAN, DLAMINI, MAVUSO, 2007). A Holanda tem um dos limites mais rígidos e determina que o nível de fosfatos na água subterrânea não gera problemas quando sua concentração é igual ou menor a 0,15 mg-PO_4^{3-}/L. Se utilizada para a análise dos dados monitorados e considerando a baixa mobilidade do fosfato no solo, tem-se evidenciado que por todos os poços apresentarem concentração acima do permitido (com destaque para o poço 5, com 0,56 mg-PO_4^{3-}/L e o 13, com 0,51 mg-PO_4^{3-}/L) a contaminação por fontes

antrópicas, como esgoto urbano inadequado, fossas desativadas de maneira errada que continuam gerando plumas de contaminação, cemitérios e efluentes de fábrica de saneantes (Tabelas 10 e 11 e Figura 23).

Figura 23 - Concentrações de Nitrito, Amônia e Fosfato, nas águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina/SP, no verão (a) e inverno (b) de 2019.



Fonte: Próprio autor

O valor de referência da condutividade elétrica do aquífero Bauru, para o Estado de São Paulo é segundo a CETESB (2016) de 242 uS/cm, em todos os poços esse valor foi ultrapassado, tanto no verão (Tabela 10) como no inverno (Tabela 11).

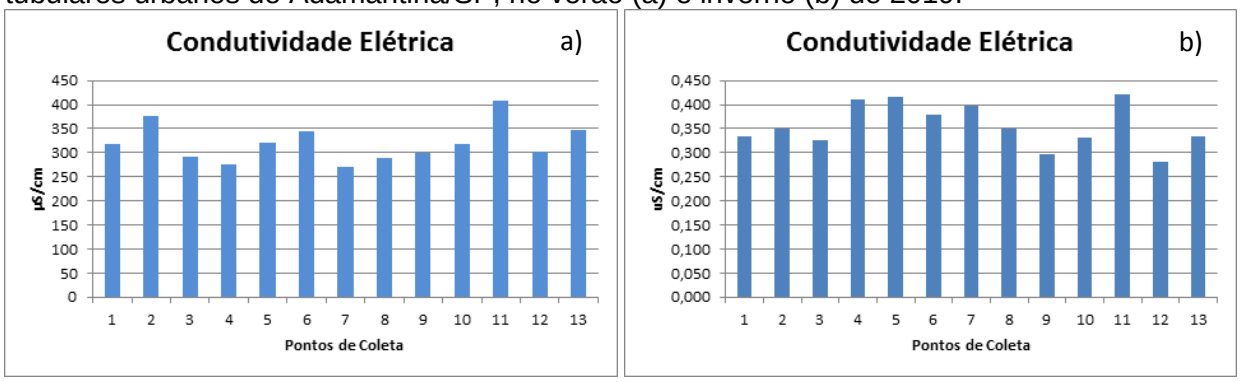
Utilizando-se a classificação de Mestrinho (2013) já mostrada na Tabela 8, nota-se que no verão apenas o poço 11 apresentou qualidade boa sendo que os demais doze poços apresentaram qualidade excelente (Tabela 10). Já no inverno os poços 4, 5 e 11 apresentaram qualidade boa, reduzindo para dez a quantidade de poços que apresentaram qualidade excelente (Tabela 11). As reações de mineralização, que comprometem sua qualidade e uso são pouco acentuadas (Tabela 13 e Figura 24).

Tabela 13 – Classificação da condutividade elétrica das águas subterrâneas dos poços da cidade de Adamantina/SP, no verão de 2019, segundo Mestrinho (2013).

Condutividade (µS/cm)	Mineralização	Qualidade da Água	Poços Monitorados
< 100	Muito fraca	Excelente	Nenhum
100 - 200	Fraca	Excelente	Nenhum
200 - 400	Pouco acentuada	Excelente	1,2,3,4, 5, 6, 7 ,8, 9, 10 e 11
400 - 600	Média	Boa	12
600 - 1000	Importante	Utilizável	Nenhum
>1000	Excessiva	Dificilmente utilizável	Nenhum
>1500	Excessiva	Não utilizável na rega	Nenhum

Fonte: Próprio autor

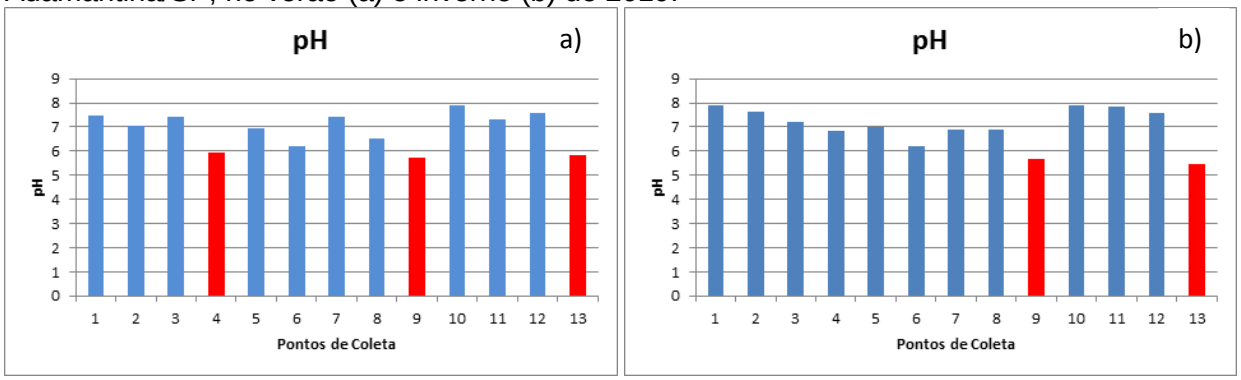
Figura 24 - Concentrações de Condutividade Elétrica nas águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina/SP, no verão (a) e inverno (b) de 2019.



Fonte: Próprio autor

Quanto ao pH, o parâmetro de referência para consumo humano é de 6,0 a 9,5 conforme resolução 396/2008 do CONAMA. No verão (Tabela 10), os poços 4, 9 e 13, mensuraram pH abaixo de 6,0, sendo que no inverno (Tabela 11) apenas os poços 9 e 13 apresentaram esse resultado (Figura 25). Além de não ser indicado para alimentação humana por ser muito ácido, pH abaixo de 6,0 também pode promover corrosões em tubulações industriais, de redes de distribuição de água, entre outros usos.

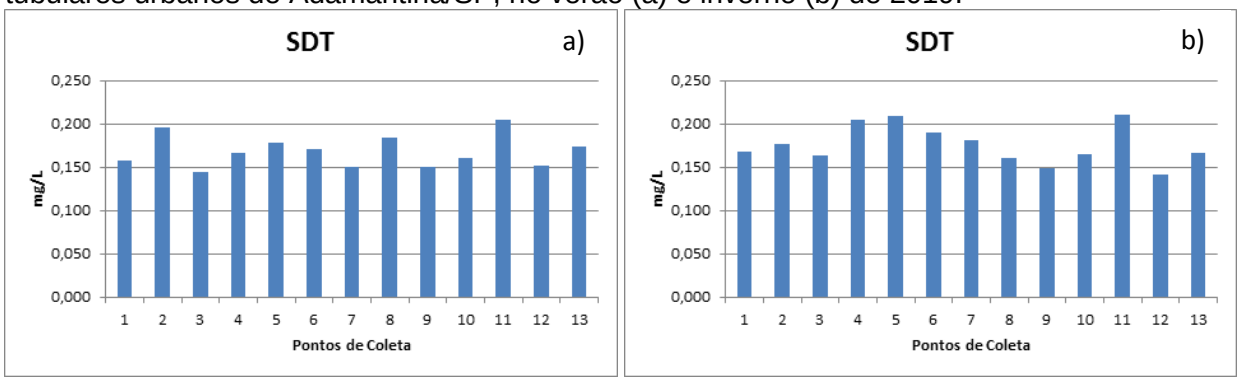
Figura 25 - Concentrações de pH nas águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina/SP, no verão (a) e inverno (b) de 2019.



Fonte: Próprio autor

As concentrações de sólidos dissolvidos totais foram baixas em todos os poços nos dois períodos analisados, inferior ao limite de 1.000 mg/L (Tabelas 10 e 11), exigidos pela resolução 396/228, para uso humano (Figura 26).

Figura 26 - Concentrações de Sólidos dissolvidos totais nas águas subterrâneas dos poços tubulares urbanos de Adamantina/SP, no verão (a) e inverno (b) de 2019.

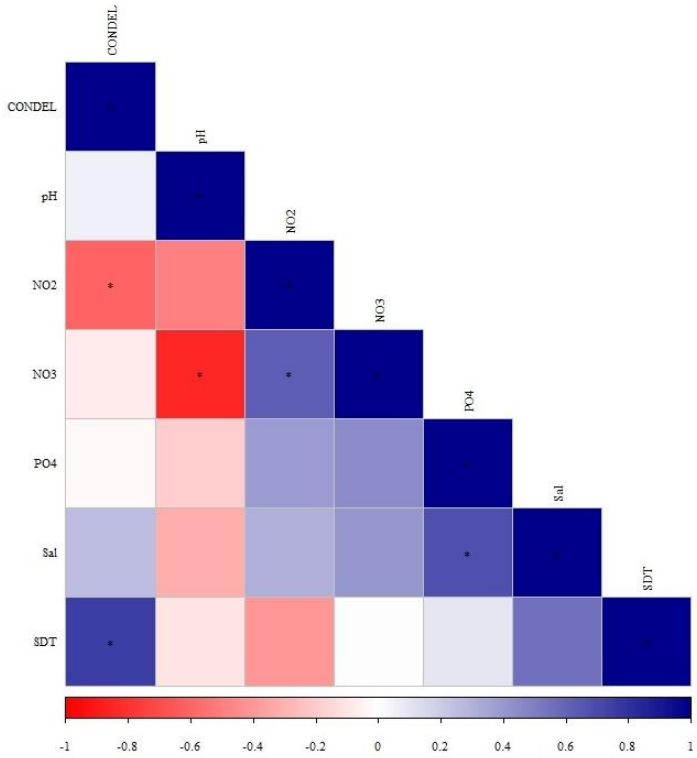


Fonte: Próprio autor

4.4 Correlação de Pearson entre os Parâmetros Físico-Químicos de Qualidade das Águas dos Poços Monitorados

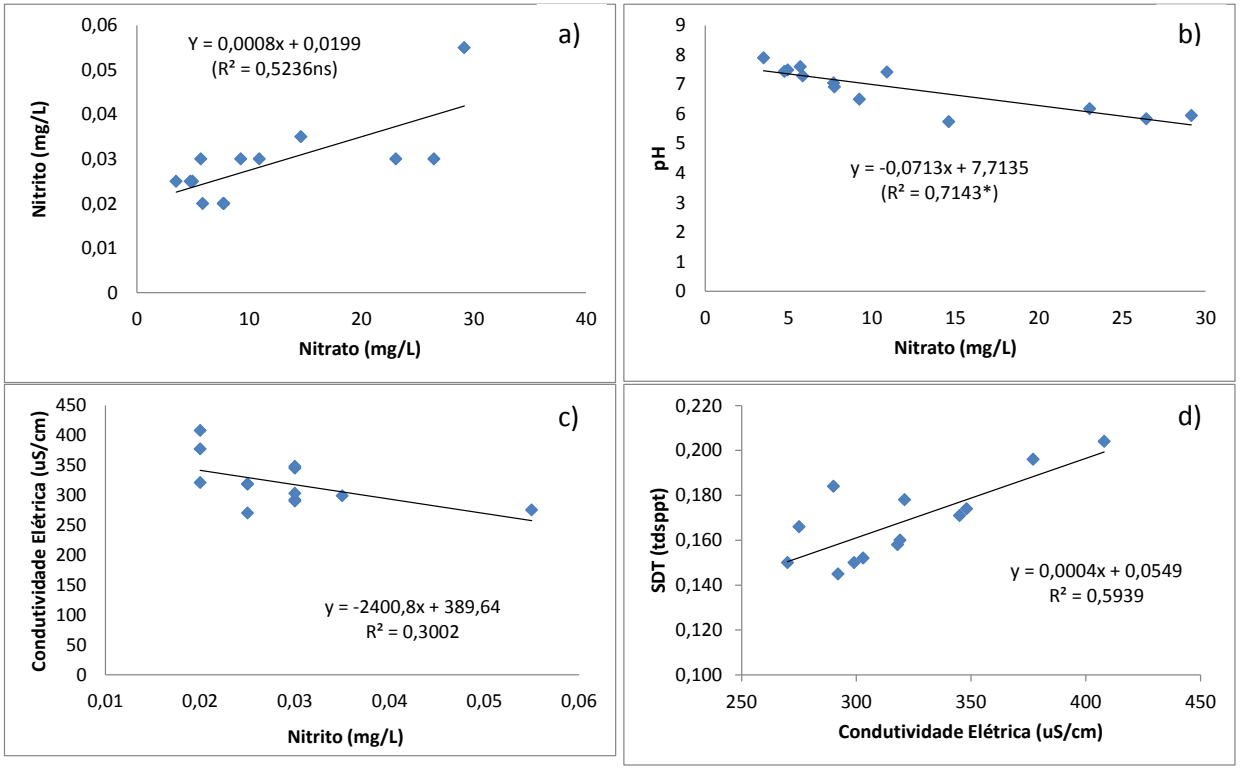
Analisando a correlação de Pearson entre os parâmetros de qualidade de água analisados, no verão (Figuras 27 e 28), houve correlação positiva moderada entre a concentração de SDT e Condutividade Elétrica (r=0,5939), entre a salinidade e o fosfato (r=0,4608), e entre nitrito e nitrato (r=0,5236), e correlação negativa fraca entre nitrito e condutividade elétrica (r=–0,3002) e correlação negativa forte entre nitrato e pH (r=–0,7143).

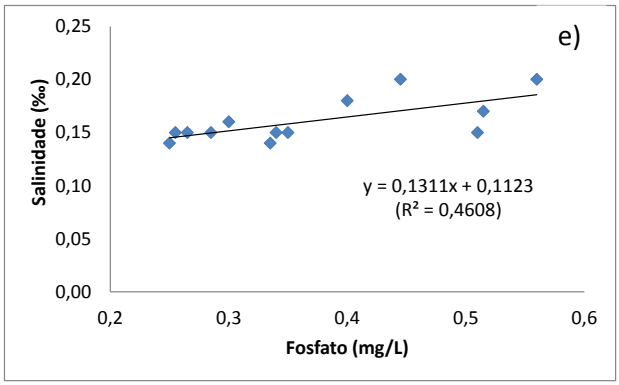
Figura 27 – Mapa de calor (heatmap) considerando os resultados dos ensaios realizados no verão de 2019.



Fonte: Próprio autor

Figura 28 – Gráficos de correlação entre os resultados dos ensaios realizados no verão de 2019.





Fonte: Próprio autor

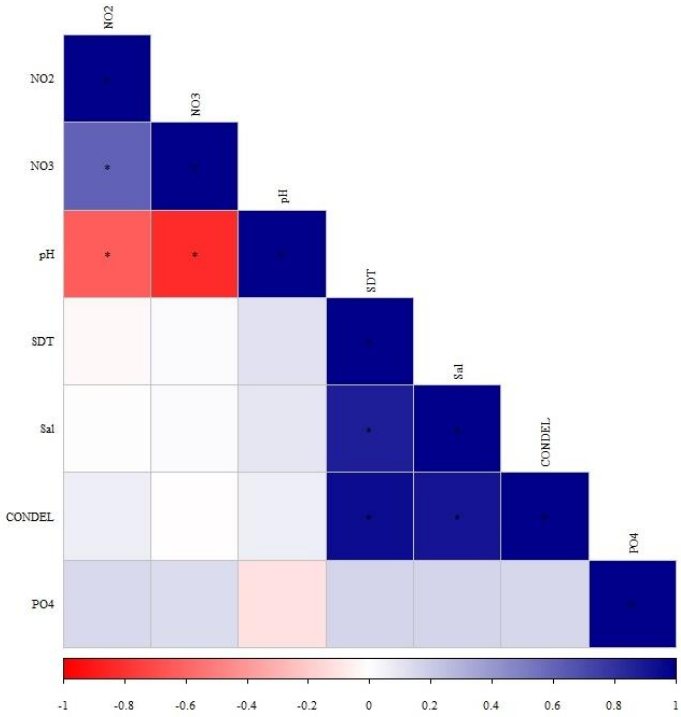
Os resultados dos ensaios realizados no inverno apresentaram correlações positivas fraca entre as concentrações de nitrito e nitrato (r=0,2997), positiva forte entre a salinidade e a concentração de SDT (r=0,7796) e entre a salinidade e a condutividade elétrica (r=0,8407) e correlação positiva muito forte entre a concentração de SDT e a Condutividade Elétrica (r=0,9225), e correlações negativas moderadas entre a concentração de nitrito e pH (r=–0,429) e entre a concentração de nitrato e pH (r=–0,6748) (Figura 29 e 30).

O aumento da condutividade elétrica em função da concentração de SDT se deve a maior liberação de íons, que consequentemente acarreta no aumento da salinidade. A salinidade está associada ao fosfato, podendo estar relacionado com ao fato do fosfato ser um ânion que pode ligar-se com o cálcio presente nas rochas encontradas na região. Embora as águas do grupo Bauru, que o sistema aquífero Adamantina faz parte, apresentem, de modo geral, baixa concentração salina.

Campos (1993) já reportou que nessa região ocorre a predominância de águas bicarbonatadas cálcicas (58%), nas áreas de planaltos e espigões, onde se localiza a cidade de Adamantina e bicarbonatadas cálcico-magnesianas (11%), nas áreas próximas aos vales.

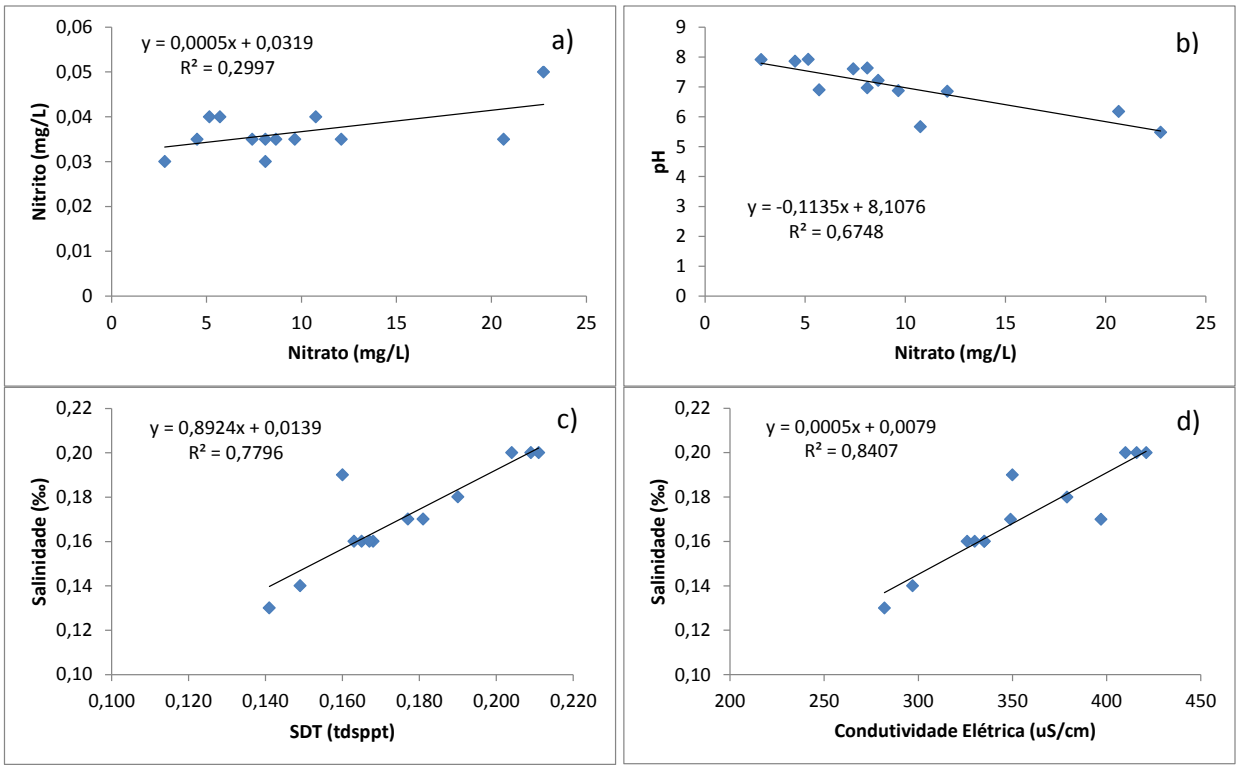
A redução do pH relaciona-se com o aumento do nitrato devido a liberação do íon H+ que ocorre no processo de nitrificação, com a oxidação da amônia em nitrito e posteriormente em nitrato. Esse processo também explica a correlação entre o nitrito e o nitrato.

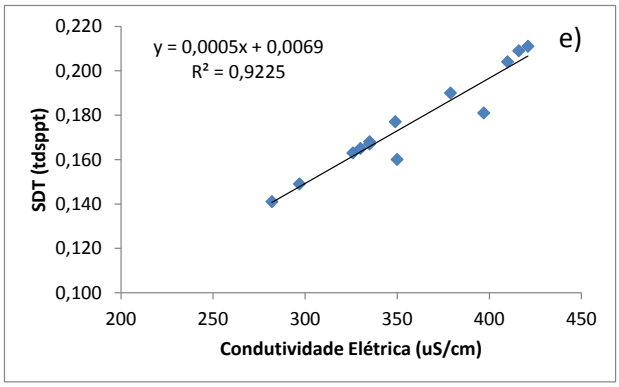
Figura 29 – Mapa de calor considerando os resultados dos ensaios realizados no inverno de 2019.

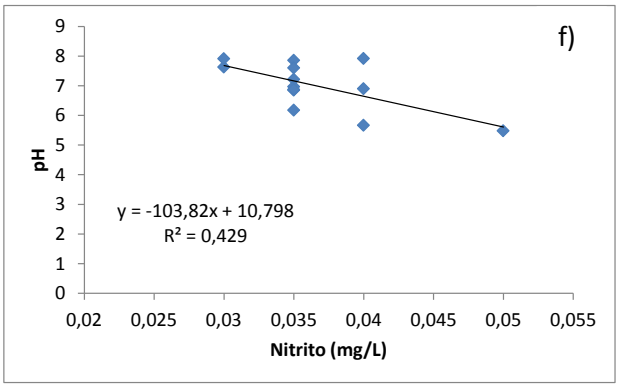


Fonte: Próprio autor

Figura 30 – Gráficos de correlação entre os resultados dos ensaios realizados no inverno de 2019.







Fonte: Próprio autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os poços analisados na cidade de Adamantina/SP explotam água do Sistema Aquífero Bauru (SAB) e possuem outorga que citam apenas o Grupo Bauru ou uma de suas formações, a Adamantina, não evidenciando utilização da Formação Santo Anastácio, embora essa formação seja apresentada por diversos autores como parte do SAB no município de Adamantina.

Por meio das coordenadas geográficas de poços outorgados, em 2019 e disponibilizadas pelo DAEE foi possível mapear e identificar 19 poços que captam água do SAB, dos quais 13 proprietários aceitaram participar da presente pesquisa. Sendo assim, foi possível obter uma boa representatividade da cidade de Adamantina. Poços estes, que oscilam suas profundidades de 29 a 150 metros

Apesar de 61,5% dos poços monitorados terem apresentado concentrações de nitrato que se enquadraram no item III – Classe 2 do CONAMA, que preconiza seus usos: “águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido as suas características hidrogeoquímicas naturais”, as concentrações de nitrato nas águas subterrâneas acima de 10 mg/L em 5 poços no verão e 4 poços no inverno, evidenciam contaminação antrópica.

Os parâmetros de qualidade das águas subterrâneas (nitrito, amônia, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica e salinidade) nos 13 poços analisados apresentaram resultados abaixo dos valores máximos permitidos, e se enquadraram no item I - Classe Especial do CONAMA, sendo essa a classe de melhor qualidade de águas subterrâneas.

Entre os poços analisados, apenas 3 apresentaram valor de pH ligeiramente abaixo do valor de referência estabelecido pelo CONAMA. Os mesmos poços também foram os que tiveram as maiores concentrações de nitrato.

Embora não exista uma legislação no Brasil que estipule um Valor de Referência para águas subterrâneas, constatou-se com base em literatura internacional que as concentrações de fosfato indicam que todos os poços analisados estão fora dos padrões considerados seguros para consumo humano.

No período do verão verificou-se correlação positiva moderada entre a concentração de SDT e condutividade elétrica, entre a salinidade e o fosfato, e entre

nitrito e nitrato, correlação negativa fraca entre nitrito e condutividade elétrica e correlação negativa forte entre nitrato e pH. Enquanto no período do inverno constatou-se correlação positiva fraca entre as concentrações de nitrito e nitrato, positiva forte entre a salinidade e a concentração de SDT e entre a salinidade e a condutividade elétrica, correlação positiva muito forte entre a concentração de SDT e a condutividade elétrica, e correlações negativas moderadas entre a concentração de nitrito e pH e entre a concentração de nitrato e pH.

O centro da cidade de Adamantina apresentou os valores mais preocupantes dentre os parâmetros analisados, principalmente o nitrato, o que está de acordo com a literatura por se tratar da área onde iniciou a construção da cidade em 1949, com imóveis ligados a fossas rudimentares ou negras até o início da rede de coleta de esgoto, que ocorreu apenas em 1977. A grande maioria destas fossas não foram corretamente desativadas e sim apenas desligadas, emitindo até hoje plumas de contaminação química que passa pelo solo e atinge as águas subterrâneas. Outro fator pode ser a proximidade com as atividades descritas na literatura como fontes de contaminação pontuais, sendo estas postos de combustível, fábricas de saneantes e de produtos alimentícios, fábrica de artefatos de borracha, cemitério, aterro sanitário (desativado em junho de 2019), fábrica de ração de origem animal, e potenciais difusas como rede de esgoto.

Esta pesquisa mostrou a importância do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas utilizadas para os variados usos, pois alguns contaminantes são prejudiciais para a saúde humana. Além disso, muitos poços não possuem outorga e suas águas são utilizadas para consumo humano. Soma-se a isso o fato desses poços serem comumente mais rasos e estarem mais susceptíveis a contaminações antrópicas, sobretudo no verão chuvoso, pois a cidade se localiza, em área de recarga do aquífero e tem uma rápida resposta piezométrica com a elevação das precipitações.

Como não se tem uma politica de preservação e recuperação dos aquíferos para a região a empresa de saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP abandonou a captação, nos poços do aquífero Adamantina e passou a captar no aquífero Serra Geral, em poços mais profundos, superiores a 200 metros. Se esta mentalidade persistir, resta apenas agora o sistema aquífero Botucatu/Guarani, com profundidades superiores a 500 metros. Portanto, tem-se que pensar no futuro e deixar como uma reserva estratégica o aquífero Guarani, para gerações futuras,

devendo-se minimizar as contaminações nos aquíferos Adamantina e Serra Geral, e preserva-los no máximo.

REFERÊNCIAS

ALVES OLIVEIRA, D.; GILDA, S.; FREITAS, M. D. **Avaliação do teor de ferro em águas subterrâneas de alguns poços tubulares, no plano diretor de Palmas - TO**. 2004. Net, Cuiabá, jan. 2012. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/gilda.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2012.

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Ranking ABES da universalização do saneamento**. Disponível em: < http://abes-dn.org.br/> Acesso em: 14 out. 2019.

AHADA, C. P. S.; SUTHAR, S. Groundwater nitrate contamination and associated human health risk assessment in southern districts of Punjab, India. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 25, p. 25336–25347, 2018.

ANA/CETESB - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA E COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO CETESB**. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 361 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Outorgas emitidas pela ANA**. Disponível em: http://www3.ana.gov.br/gestao-da-agua/outorga-efiscalizacao/principais-servicos/outorgas-emitidas/outorgas-emitidas. Acesso em: 28 fev. 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por município**. Disponível em: <http:// http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>. Acesso em: 13 nov. 2018.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2012.** Ed. Especial. Brasília: ANA, 2012. 215 p.

ANAYAH, F. M.; ALMASRI, M. N. Trends and occurrences of nitrate in the groundwater of the West Bank, Palestine. **Applied Geography**, v. 29, n. 4, p. 588-601, 2009.

ATHAYDE, G. B.; MULLER, C. V.; ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C. Estudo sobre os tipos das águas do aquífero Serra Geral, no município de Marechal Cândido Rondon – PR. **Águas Subterrâneas**, v. 21, n. 1, p. 111-122, 2007.

ATEKWANA, E. A.; GEYER, C. J. Spatial and temporal variations in the geochemistry of shallow groundwater contaminated with nitrate at a residential site. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 27, p. 27155–27172, 2018.

AYACH, L. R. **As condições socioeconômicas, o saneamento básico e a qualidade da água subterrânea em Anastácio (MS): aspectos relacionados à percepção ambiental**. 2011. Tese de Doutorado. 222 p. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2011.

BARCHA, S. F.; ARID, F. M.; MEZZALIRA, S. Subpriovíncias hidrogeológicas do Grupo Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo. Revista IG, v. 2, n.2, p.17-33, 1981.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.

BARBOUR, E. D. A. et al. Metodologia para o estabelecimento de valores de referência de qualidade para águas subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 20, p. 10, 2006. Suplemento: Livro de resumos. Trabalho apresentado ao 14º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Curitiba, 2006.

BERNICE, A. M. **Evolução da Contaminação por nitrato em aquíferos urbanos: Estudo de caso em Urânia (SP).** 2010. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). 127 p. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BOUCHARD, D. C.; WILLIAMS, M. D.; SURAMPALLI, R. Y. Nitrate contamination of ground water sources and potencial health effects. **Journal of the American Water Works Association**, v. 84, n. 9, p. 85-90, 1992.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. DOU, Brasília, 14 dez. 2011.

BUROW, K. R., NOLAN, B. T., RUPERT, M. G., DUBROVSKY, N. M. Nitrato nas águas subterrâneas dos Estados Unidos, 1991-2003. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 13, p. 4988-4997, 2010.

BUVANESHWARI, S.; RIOTTE, J.; SEKHAR, M.; KUMAR, M. S. M.; SHARMA, A. K.; DUPREY, J. L.; ANDRY, S.; GIRIRAJA, P. R.; PRAVEENKUMARREDDY, Y.; MOGER, H.; PURAND, P.; BRAUN, J. J.; RUIZ, L. Groundwater resource vulnerability and spatial variability of nitrate contamination: insights from high density tube well monitoring in a hard rock aquifer. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 838–847, 2017.

CAMPOS, R. F. **Análise da qualidade das águas subterrâneas e determinação do índice de vulnerabilidade do Aquífero Serra Geral no município de Medianeira - PR.** 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) 108 p. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira. 2015.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. 1017 p.

CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA - CETEC. **Relatório de situação dos recursos hídricos das Bacias dos Rios Aguapeí – Peixe – Relatório zero.** Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí Peixe – CBH-AP. 1997. 204 p.

CHEN, J.; WU, H.; QIAN, H. Groundwater Nitrate Contamination and Associated Health Risk for the Rural Communities in an Agricultural Area of Ningxia, Northwest China. **Expo Health**, v. 8, n. 3, p. 349-359, 2016.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G.; ALMEIDA, C. das N.; LIMA, E. R. V. de; NETO, A. R.; MOURA, G. S. S. de; Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2013.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO. **Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo 2016-2018** [recurso eletrônico] / CETESB; Equipe técnica MODESTO, R. P. ... [et al.]; Colaboração SANCHEZ, B. M. ... [et al.]. - - São Paulo: CETESB, 2019. 1 arquivo de texto (291 p.): il. color., PDF; 22 MB. - - (Série Relatórios / CETESB).

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO. **Qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2013-2015** [recurso eletrônico] / CETESB; Execução MODESTO, R. P. ... [et al.].; Colaboração SANCHEZ, B. M. ...[et al.]. São Paulo, 2016: 311p.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO. **Metodologia do Monitoramento de Qualidade de Águas Subterrâneas.** Anexo 3 do Relatório de Qualidade de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. 2015: p.167-178.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2004-2006**. São Paulo, 2007. 197 p. (Série Relatórios). Disponível em: <http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 25 maio 2018.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo 1998-2000**. São Paulo, 2001a. 96 p. (Série Relatórios).

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo, 2001b. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 25 maio 2018. 389 p. ?

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo, 2001c. 245 p. (Série Relatórios).

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO. **Noções e definições em hidrogeologia.** Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/hidrogeologia/>. Acesso em: 20 jun. 2018.

COLVARA, JG; LIMA, AS; SILVA, WP. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Food Technology,** v.2, edição especial, p.11-14, 2009.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE (CBH-AP). **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das UGRH's-20 e 21**. Marília, 2018. 93 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná.** Bacia do Paraná / Andréa Segura Franzini, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **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, 2008.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasil, 2009.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, Câmara Técnica de Águas Subterrâneas. Nitrato nas águas subterrâneas: desafios frente ao panorama atual / São Paulo. Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Câmara Técnica de Águas Subterrâneas; Claudia Varnier (coord.). - São Paulo: SIMA / IG, 2019. 128p. (versão online) ISBN: 978-85-87235-25-1

COSTA, A. B.; KAUFMANN, R. C.; HANSEN, M. A. F.; KIRST, A.; LOBO, E. A. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em áreas de preservação permanente (sistema aquífero Guarani - SAG), bacia hidrográfica do Rio Pardo, RS, Brasil. **Tecnológica**, v. 14, n. 1, 2010, p. 26-38.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Estudo de águas subterrâneas - regiões administrativas 10 e 11 - Presidente Prudente e Marília**. São Paulo: DAEE, 1979. v.1 e 2.

DAEE/UNESP (Convênio). **Mapa geológico do Estado de São Paulo** - Folhas de Dracena e Araçatuba, escala 1:250.000. 1984.

DAEE (São Paulo) et al. **Mapa de águas subterrâneas do estado de São Paulo**: escala 1:1.000.000: nota explicativa. São Paulo: DAEE: IPT: IG: CPRM, 3 v. 2005b.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Síntese dos planos de bacia - plano estadual de recursos hídricos, 2004-2007**. São Paulo: DAEE/ Consórcio JMR-ENGECORPS (Relatório nº 1/2005). 2005a.

DAEE Instituto Geociências e Ciências Exatas (IGCE). Laboratório de Estudo de Bacias (LEBAC). Águas subterrâneas no Estado de São Paulo. **Diretrizes de utilização e proteção**. São Paulo: DAEE/LEBAC, 2013.

DRAKE, V. M.; BAUDER, J. W. Ground water nitrate-nitrogen trends in relation to urban development, Helena Montana, 1971-2003. **Ground Water Monitoring and Remediation,** v. 25, n. 2, p. 118-130, 2005.

DWIVEDI, D.; MOHANTY, B. P. Hot Spots and Persistence of Nitrate in Aquifers Across Scales. **Entropy**, v. 18, n. 1, p. 1-25. 2015.

ERTEL T.; LÖBLER, C. A.; SILVA, J. L. S. da; Índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 7, n. 7, p. 1400-1408, 2012.

FARIDAN, A. O; DLAMINI, S. C; A. MAVUSO. A comparative study of the phosphate levels in some surface and ground water bodies of Swaziland. **Chemical Society of Ethiopia,** v. 22, n. 2, p. 197 – 206, 2007.

FOSTER, S. S. D., HIRATA, R., GOMES, D., D'ELIA, M., PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Tradução: VIEIRA, S. São Paulo: Banco Mundial, Servmar, 2006. 104 p.

FREEZE, A. R.; CHERRY, J.A. 1979. **Groundwater (Águas Subterrâneas)**. Tradução de OLIVEIRA E. et al.; São Paulo: Everton de Oliveira, 2017.698 p.

FREITAS, L. C. B. **Qualidade das águas subterrâneas, área do município de Caucaia, região metropolitana de Fortaleza, Ceará**. 2009. Dissertação de Mestrado em Geologia, 93 p. Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

FIJANI, E. NADIRI A. A.; MOGHADDAM A.A.; TSAIF. T. C.; DIXON B. Optimization of DRASTIC method by supervised committee machine artificial intelligence to assess groundwater vulnerability for Maragheh–Bonab plain aquifer, Iran. **Journal of Hydrology**, v. 503, p. 89–100, 2013.

GALLARDO, A. H.; MARUI, A. The aftermath of the Fukushima nuclear accident: measures to contain groundwater contamination. **Science of the Total Environment**, v. 547, p. 261–268, 2016.

GODOY, M.C.T.F., BOIN, M.N., SANAIOTTI, D., SSILVA, J.B. Contaminação das águas subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente/SP. Anais… XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004.

HALLBERG, G. R. Nitrate in Ground Water in the United States. In: R. Follett (ed.) **Nitrogen Management and Ground Water Protection**. Elsevier: Amsterdam. 1989. p. 35-74.

HALLBERG, G. R. et al. Temporal changes in nitrates in groundwater in Northeastern Iowa. **Iowa Geological Survey**, v. 84, n.1, p. 81–84, 1984.

HEREDIA, O.S.; FRESINA, M.E.; SANTA CRUZ, J. & SILVA BUSSO, A.A. Nitratos y fósforo em el água subterrânea de um área antropizada de la region Pampeana – Buenos Aires Republica Argentina. In: XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Anais...** Fortaleza - CE, 13 p, 2000.

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

HOSSEINIFARD, S. J.; AMINIYAN, M. M. Hydrochemical characterization of groundwater quality for drinking and agricultural purposes: a case study in Rafsanjan plain, Iran. **Water Quality, Exposure and Health**, v. 7, n. 4, p. 531–544, 2015.

HUGGENBERGER, P.; EPTING, J.; SCHEIDLER, S. Concepts for the sustainable management of multi-scale flow systems: the groundwater system within the Laufen Basin, Switzerland. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 2, p. 645–661, 2013.

HUFEN, T. H.; EYRE, P.; McCONACHIE, W. **Underground Residence times and chemical quality of basal groundwater in Pearl Harbon and Honolulu Aquifers, O'Ahu, Hawaii.** Water Resources Research Center. Techinical Report nº 129. University of Hawaii, 1980. 75 p.

IPT- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1980. 125 p.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** 3. ed. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2012. 104 p.

JUST, T. Settlements as source of pollution in the watershed of the Zelivka drinking water storage reservoir in the Czech Republic. In: **European Water Pollution Control**, v. 4/1, January 1994. Official Publication of the European Water Pollution Control Association, Elsevier Science B.V., 1994. p. 25-30.

KEENEY, D. R. Sources of nitrate to ground water. **Critical Reviews in Environmental Control**, v. 16, n. 3, p. 257-304, 1986.

LAFUENTE, J. G. C. **Quimica del agua**. Universidad de Madrid, Madrid, 1989. 432 p.

LAPWORTH, D. J.; KRISHAN, G.; MACDONALD, A.M.; RAO, M. S. Groundwater quality in the alluvial aquifer system of Northwest India: new evidence of the extent of anthropogenic and geogenic contamination. **Science of the Total Environment**, v. 599, p. 1433–1444, 2017.

LI, P. Groundwater quality in western China: challenges and paths forward for groundwater quality research in western China. **Expo Health**, v. 8, n. 3, p. 305–310, 2016.

LI, H., SON, J. H.; CARLSON, K. H. Concurrence of aqueous and gas phase contamination of groundwater in the Wattenberg oil and gas field of northern Colorado. **Water Research**, v. 88, p. 458–466, 2016a.

LI, P.; TIAN, R.; XUE, C.; WU, J. Progress, opportunities, and key fields for groundwater quality research under the impacts of human activities in China with a special focus on western China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 15, p. 13224–13234, 2017a.

LI, P.; QIAN, H.; WU, J. Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang County, Ningxia northwest China. **Journal of Chemical**, v. 7, n. 1, p. 209-216, 2010.

LI, P.; WU, J.; QIAN, H. Assessment of groundwater quality for irrigation purposes and identification of hydrogeochemical evolution mechanisms in Pengyang County, China. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 7, p. 2211–2225, 2013.

LIMA, M. L. A. **Águas subterrâneas potencialmente impactadas por nitrato (NO_3^-) na área urbana da cidade de Porto Velho: Um estudo da geografia da saúde.** 2008. Dissertação de Mestrado em Geografia. 76 p. Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2008.

LOURENCETTI, J.; PRATES, M. M.; BURKERT, D. Perfil da qualidade das águas de poços em Adamantina - SP, Brasil. **Nucleus**, v. 12, n. 2, p. 141-156, 2015

LOWE, M.; WALLACE, J.; BISHOP, C.E. **Analysis of septic tank density for three areas in Cedar Valley, Iron County, Utah** – A case study for evaluations of proposed subdivisions in Cedar Valley. Salt Lake City: Utah Geological Survey, (Water Resource Bulletin, 27). 2000. 66 p.

MARION, F.A.; CAPONE, V.; SILVA, J.L.S. Avaliação da qualidade da água subterrânea em poço no campus da UFSM, Santa Maria - RS. **Ciência e Natura**, v. 1, n. 29, p. 97-109, 2007.

MENDONÇA, J.L.G.; GUTIERREZ, T.M.C. O Potencial hidrogeológico no Estado de São Paulo. **Anais...** I Congresso Internacional de Água Subterrânea. Fortaleza - Brasil. CD ROM., 2000.

MENDONÇA, J. L. G.; GUTIERRE, T. M. C. O Potencial hidrogeológico do grupo Bauru no Estado de São Paulo. Anais... XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo. 2000.

MENEZES J.P.C.; BERTOSSI A. P. A.; SANTOS A. R., NEVES M. A. 2013. **Qualidade da água subterrânea para consumo humano e uso agrícola no sul do estado do Espírito Santo**. Revista Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v.17, n. 17, p. 3318 – 3326.

MESTRINHO, S. S. P. Qualidade e classificação das águas subterrâneas. In: GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. (Org.). **Águas subterrâneas e poços**

tubulares profundos. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Cap. 14. p. 18-496.

MINET, E. P.; GOODHUE, R.; MEIER-AUGENSTEIN, W.; KALIN, R. M.; FENTON, O.; RICHARDS, K. G.; COXON, C. E. Combining stable isotopes with contamination indicators: a method for improved investigation of nitrate sources and dynamics in aquifers with mixed nitrogen inputs. **Water Research**, v. 124, p. 85–96, 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/MatrizesConsolidacao/Matriz-5-Programas.html>. Acesso em: 01 mai. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **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. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, v. 145, n. 66, 7 abr. 2008. Seção 1, p. 66-68. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=07/04/2008&jornal=1&pagina=66>. Acesso em: 11 mai. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente - **CONAMA Resolução 357/2005.** Enquadramento do Corpos Hídricos Superficiais no Brasi**l**. Governo Federal, Brasilia. Publicada no DOU n 53, de 18 de março de 2005, Seção 1, p. 58-63.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 274 de 29 de novembro de 2000**. Estabelece as condições de balneabilidade das águas brasileiras. Brasília, 2000. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html. Acesso em: 19 ago. 2015.

MODESTO, R. P.; DIAS, C. L.; TOFFOLI, F. F.; VALE F. R. C. Evolução das concentrações de nitrato no sistema Aquífero Bauru no estado de São Paulo – 1992 a 2007. **Anais...** I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. ABAS: São Paulo, 2009, p. 1-11.

MONTANHEIRO, F.: CHANG, H. K. Nitrato no aquífero adamantina: o caso do município de Monte Azul Paulista, SP, **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 25-44, 2016.

MONTANHEIRO, F. **Contaminação por nitrato no aquífero adamantina: o caso do Município de Monte Azul Paulista - SP**. 2014. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, 117 p. IGCE da UNESP de Rio Claro. 2014.

NAKAGAWA, K.; AMANO, H.; TAKAO, Y.; HOSONO, T.; BERNDTSSON, R. On the use of coprostanol to identify source of nitrate pollution in groundwater. **Journal of Hydrology**, v. 550, p. 663–668, 2017.

NIU, B.; LOÁICIGA, H. A.; WANG, Z.; ZHAN, F. B.; HONG, S. Twenty years of global groundwater research: a science citation index expanded based bibliometric survey (1993–2012). **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 966–975, 2014.

NOVA ZELÂNDIA. Canterbury. Environment Canterbury. **Effects of Rural Land Use on Water Quality.** Canterbury: 2003. Dispovível em < http://www.canterburywater.org.nz/downloads/Effects-of-rural-land-use-on-water-quality-May-2003.pdf >. Acesso em 14 maio 2014.

PHILIPPI JR, A.; ALVES, A. C. **Curso Interdisciplinar de Direito Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2005. p. 965.

PINTO, A. L. **Saneamento Básico e suas Implicações na Qualidade das Águas Subterrâneas da Cidade de Anastácio (MS).** 1998. Tese de Doutorado e Geociências, 175 p. Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas Rio Claro. 1998.

PRANDI, **Gestão Integrada Das Águas Do Sistema Aquífero Bauru nas Bacias Hidrográficas Dos Rios Aguapeí e Peixe / SP.** 2010. Tese de Doutorado, 192 p. Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. 2010

PRATES, M. M.; LOURENCETTI, J.; BURKERT, D. Captação e Uso de Águas Subterrâneas no Município de Adamantina - SP. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 2, 2013.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE ADAMANTINA. **História do Município**. Disponível em: <https:// http://www.adamantina.sp.gov.br/?pag=T1RjPU9EZz1PVFU9T0dVPU9HST1PVEE9T0dFPU9HRT0=&idmenu=214> Acesso em: 10 jul. 2019.

PROCEL, S. **Contaminação por nitrato e sua relação com o crescimento urbano no Sistema Aquífero Bauru em Presidente Prudente (SP).** 2011. Dissertação de Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia, 132 p. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2011.

RAO N.; PRASAD, P. R. Phosphate pollution in the groundwater of lower Vamsadhara river basin, India. **Environmental Geology,** v. 31, n ½, p. 117 – 122, 1997.

R Core Team. **R: a Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.2015

RE, V.; SACCHI, E.; KAMMOUN, S.; TRINGALI, C.; TRABELSI, R.; ZOUARI, K.; DANIELE, S. Integrated socio-hydrogeological approach to tackle nitrate contamination in groundwater resources. The case of Grombalia basin (Tunisia). **Science of the Total Environment**, v. 593, p. 664–676, 2017.

REYNOLDS-VARGAS, J.; FRAILE, J.; HIRATA, R. Trends in nitrate concentrations and determination of their origin using stable isotopes ($_{18}$O and $_{15}$N) in groundwater of the western Central Valley, Costa Rica. **Ambio: A Journal of the Human Environment,** v. 35, n. 5, p. 229-236, 2006.

ROCHA, G.A., GIANCURSI, F.D., PERRONI, J.C.A, SOBREIRO NETO, A.F., BERTACHINI, A.C., CORREA, W.A.G., CAMPOS, H.C.N.S., DIOGO, A., ROSA, R.B.G.S.; CASTRO, C.G.J. Hidrogeologia das bacias dos rios Aguapeí, Peixe e Paranapanema no Estado de São Paulo. In: Simpósio Regional de Geologia, 2., Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: SBG,1979, v. 2, p. 85-100, 1979.

ROCHA, T. S. **Avaliação da qualidade das águas dos poços tubulares da bacia do Rio do Peixe equipados com dessalinizadores, com vistas ao aproveitamento econômico dos sais de rejeito.** 2008. Dissertação de Mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo, 96 p. Departamento de Engenharia ambiental (DEA), Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2008.

ROCKSTRÖM, J. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472-475, 2009.

ROSENBERGER, M. et al. Vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Bauru na área urbana do município de Bauru (SP). **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 51-67, 2013.

SANTOS, R. A. **Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas do Município de Iraquara, Bahia.** 2011. Dissertação de Mestrado, 113 p. Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 2011.

SÃO PAULO; SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS; UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Diretrizes de Utilização e Proteção.** Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geociências e Ciências Exatas. Laboratório de Estudo de Bacias. São Paulo: DAEE/LEBAC, 2013. p .44.

SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Perfil dos municípios paulistas.** Disponível em: <http://www.perfil.seade.gov.br/>. Acesso em: 02 jul. 2019.

SEBILO, M., MAYER, B., NICOLARDOT, B., PINAY, G., MARIOTTI, A. Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Stanford, v. 110, n. 45, p. 18185-18189, 2013.

SHALEV, N.; BURG, A.; GAVRIELI, I.; LAZAR, B. Nitrate contamination sources in aquifers underlying cultivated fields in an arid region the Arava Valley, Israel. **Applied Geochemistry**, v. 63, p. 322–332, 2015.

SHIMAKURA, S. E. **Interpretação do coeficiente de Relação**. Curitiba: UFPR, 2006. Disponível em: leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html. Acesso em: 27 fev.

2018.

SILVA, D. D. da; MIGLIORINI, R. B.; CASTRO E SILVA, E. de; LIMA, Z. M. de; MOURA, I. B. de Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Cuiabá, v.19, n.1, p. 43-52, 2014.

SILVA, F. P. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. Tese de Doutorado, 166 p. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP). 2003.

SILVA, F.P; CHANG, H. K.; CHANG, M. R. C. Estratigrafia de Superfície do Grupo Bauru, no Estado de São Paulo, **Revista Brasileira de Geociências,** São Paulo, v. 35, n. 1, p. 77-88, 2005a.

SILVA, F.P; CHANG, H. K.; CHANG, M. R. C. Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (k) no Estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 19-36. 2005b.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; SOBREIRO NETO, A. F. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 3, n. 10, p. 177-185, 1980.

SUTHAR, S.; BISHNOI, P.; SINGH, S.; MUTIYAR, P. K.; NEMA, A. K.; PATIL, N. S. Nitrate contamination in groundwater of some rural areas of Rajasthan, India. **Journal of Hazardous Materials**, v. 171, n. 1, p. 189–199, 2009.

TAVARES, T.; VARNIER, C.; BEVILACQUA, R.; CORREA, N.; FACCINI, l. G.; CARVALHO, A. M. de; FILHO, J. L. A.; IRITANI, M. A.; ODA, G.; FERREIRA, L. M. R.; PRANDI, E; MODAELLI, S. Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica do Sistema Aquífero Bauru no município de Bastos (Sp). XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Anais... XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. São Paulo, 2016, p. 1-20.

TAVARES, P. R. L., CASTRO, M. A. H., COSTA, C. T. F., SILVEIRA, J. G. P., ALMEIDA JUNIOR, F. J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 2, p. 227-236, 2009.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2010. p . 408.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020. p. 11.** Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372882_por> Acesso em: 05 abr. 2020.

VARNIER, C. L. **Plano de Ação – Enfrentamento da Contaminação por Nitrato nas Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, Estado de São Paulo**. In: INSTITUTO GEOLÓGICO. 2011. Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos: síntese das atividades, período 2007-2010.

VETTER, D. M.; SIMÕES, C. C. S. **Acesso à infra-estrutura de saneamento básico e mortalidade.** Revista Brasileira de Estatística, Rio de Janeiro, v. 42, n. 165, p. 17- 35, jan./mar., 1981.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas.** p. 163. Brasília: Embrapa, 2017.

WANG, S., ZHENG, W., CURRELL, M.,YANG, Y., ZHAO, H., LV, M. Relationship between land-use and sources and fate of nitrate in groundwater in a typical recharge area of the North China plain. **Science of the Total Environment**, v. 609, p. 607–620, 2017.

WEISKEL, P. K.; HOWES, B. L. Differential Transport of Sewage-Derived Nitrogen and Phosphorus through a Coastal Watershed. **Environmental Science Technology**, v. 26, n. 2, p. 352-360, 1992.

XU, Y.; BAKER, L. A.; JOHNSON, P. C. Trends in ground water nitrate contamination in the Phoenix, Arizona Region. **Groundwater Monitoring and Remediation**, v. 27, n. 2, p. 49-56, 2007.

ZHANG, G.; JIAO, Y.; LEE, D. J. A lab-scale anoxic/oxicbioelectrochemical reactor for leachate treatments. **Bioresource Technology**, v. 186, p. 97–105, 2015.

ZAVOUDAKIS, E. **Impactos da urbanização sobre a qualidade da água freática em áreas de Vitória.** 2007. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, 221 p. Centro tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2007.