



Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu*
Especialização em Ciências Ambientais em Áreas Costeiras
Campus Arraial do Cabo

Lucas de Carvalho Silva

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO
NÚCLEO URBANO DO DISTRITO DE MONTE ALTO – ARRAIAL DO
CABO/RJ**

Arraial do Cabo/RJ

2018

LUCAS DE CARVALHO SILVA

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO
NÚCLEO URBANO DO DISTRITO DE MONTE ALTO – ARRAIAL DO
CABO/RJ**

Trabalho de Conclusão do Curso de Pós-Graduação, apresentado como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Especialista em Ciências Ambientais em Áreas Costeiras, no Instituto Federal do Rio de Janeiro – Campus Arraial do Cabo.

Orientador: Prof. M. Rafael Alexandre Rizzo

ARRAIAL DO CABO/RJ

2018

Ficha catalográfica elaborada por
Marcia da Silva
CRB7 5299

S586

Silva, Lucas de Carvalho.

Avaliação da vulnerabilidade na água subterrânea no núcleo urbano do Distrito de Monte Alto – Arraial do Cabo/RJ / Lucas de Carvalho Silva. – Arraial do Cabo, RJ, 2018.

67 f.: il.; 21 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Ambientais em Áreas Costeiras) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, 2018.

Orientador: Prof. MSc. Rafael Alexandre Rizzo.

1. Águas subterrâneas - Poluição. 2. Águas subterrâneas - Contaminação. I. Rizzo, Rafael Alexandre. II. Título.

IFRJ/CAC/CoBib

CDU 556.388(815.3)

LUCAS DE CARVALHO SILVA

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO
NÚCLEO URBANO DO DISTRITO DE MONTE ALTO – ARRAIAL DO
CABO/RJ**

Trabalho de Conclusão do Curso de
Pós- Graduação, para obtenção do
grau de Especialista em Ciências
Ambientais em Áreas Costeiras, no
Instituto Federal do Rio de Janeiro –
Campus Arraial do Cabo.

Aprovado em ____/____/____.

Banca Examinadora

Prof.M. Rafael Alexandre Rizzo

Profª D. Ana Paula da Silva.

Profª. D. Sc. Maria Inês Paes Ferreira

DEDICATÓRIA

In memoriam da minha amada mãe,
Edinar de Carvalho Silva, mulher de
fibra e guerreira, pelo exemplo, amor
incondicional, renúncia e dedicação.

In memoriam do meu querido pai,
Rogério Barros da Silva pelo apoio e
força em todas as adversidades.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda força mental e espiritual fornecida para superar as dificuldades durante o processo de conclusão deste curso.

A minha mãe Edinar de Carvalho Silva (*in memoriam*) e ao meu pai Rogério Barros da Silva (*in memoriam*). Serão sempre lembrados pela imensa gratidão e amor que tenho por vocês.

As minhas irmãs, Tamires de Carvalho Silva e Larissa de Carvalho Silva, e aos meus familiares pela confiança e acolhimento em todos os momentos, sejam os alegres e os tristes.

Ao meu amigo e orientador, Prof. Rafael Alexandre Rizzo, que desde o início acreditou nesse projeto e deu todo o suporte para que este fosse realizado. Muito obrigado pela orientação valiosa, ensinamento, confiança e dedicação.

A minha amada companheira Tamires Bertocco, pela serenidade e sobretudo paciência durante a elaboração desta pesquisa.

Um agradecimento especial a Prof^a. Ana Paula da Silva e a Prof^a. Maria Inês Paes Ferreira por aceitarem o convite para participar da banca examinadora deste trabalho e pelas contribuições feitas.

Aos meus amigos de NPNF e da Rep Zion, que são sempre o alento nas horas mais difíceis e que contribuíram de alguma forma para esta conquista.

Ao meu amigo Glaubert Lucas de Carvalho Cabral que contribuiu de maneira enriquecedora para o projeto de pesquisa.

As minhas amigas Elisangela Janaina e Hosana Coelho, pelo carinho, incentivo e compreensão nos momentos de necessidade.

Aos colegas do curso de Especialização em Ciências Ambientais em Áreas Costeiras, pelo período compartilhado de estudo.

Aos colaboradores e moradores do Distrito de Monte Alto que foram extremamente receptivos e contribuíram de forma direta.

E, por fim, aos professores, funcionários e colegas de laboratório do Instituto Federal do Rio de Janeiro, pelos conhecimentos adquiridos e a oportunidade de realização desse curso.

RESUMO

As zonas costeiras são os ambientes que possuem a maior pressão populacional e vem perdendo suas características ambientais em razão da urbanização. Essas áreas apresentam uma hidrogeologia muito complexa e vulnerável, possuindo uma relação muito estreita entre os aquíferos livres, influência da intrusão marinha e fatores climáticos, estando susceptível a contaminação principalmente pela precariedade nos serviços de saneamento ambiental. Com o avanço do processo de ampliação de loteamentos e terrenos de veraneios, o núcleo urbano de Monte Alto, distrito do município de Arraial do Cabo – RJ, vem sofrendo com os impactos ambientais causados pela supressão de vegetação nativa e pelos loteamentos clandestinos sem que haja uma avaliação técnica do uso e ocupação do solo, bem como proteção da água subterrânea. Diante disso, a pesquisa teve como finalidade a aplicação do método GOD para determinar o índice de vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do núcleo urbano de Monte Alto. As campanhas de coleta dos treze pontos de análise, ocorreram entre 21 e 26 de junho de 2018. Onze poços tubulares do núcleo urbano e dois poços foram perfurados com auxílio de um trado e um cano de *policloreto de vinila* (PVC) foram analisados para o desenvolvimento do método GOD e dez amostras foram coletadas para análises físico-químicas e microbiológicas. Através do Método GOD foi possível constatar que 94,76% da área de estudo apresenta classe de vulnerabilidade alta, enquanto 5,26% apresenta classe vulnerabilidade mediana. Para complementar a pesquisa, o mapa de vulnerabilidade foi associado ao mapa de uso e ocupação do solo, que comprovou que o avanço sobre as áreas de proteção ambiental pode comprometer a qualidade das águas subterrâneas da região. Também houve a caracterização dos parâmetros físico-química e microbiológica das águas subterrâneas dos poços, comparando os valores encontrados com os padrões de potabilidade recomendados pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde. A partir das análises realizadas foi possível observar que os principais riscos a contaminação são, a intensa exploração das águas subterrâneas, principalmente durante o verão quando ocorre um aumento da população devido ao fluxo de veranistas, podendo ocasionar em problema da disponibilidade hídrica de qualidade potável por causa do processo de salinização (avanço da cunha salina: águas subterrâneas provenientes do mar), risco este comprovado pelos altos valores de condutividade elétrica nas áreas mais próximas ao oceano. Assim como, a contaminação pelo uso predominante de sistemas alternativos de tratamento de esgoto in situ, já que foram encontrados valores positivos para Coliformes Totais e E. Coli. Por fim, foram apresentadas algumas recomendações visando contribuir com a conservação das águas subterrâneas da área estudada. Esse resultado evidencia a necessidade de desenvolvimento de políticas de proteção e monitoramento das águas subterrâneas nesta área.

Palavras chaves: Águas subterrâneas; Vulnerabilidade; Contaminação; Método GOD.

ABSTRACT

Coastal zones are the environments that have the greatest population pressure and are losing their environmental characteristics due to urbanization. These areas present a very complex and vulnerable hydrogeology, having a very close relation between free aquifers, influence of the marine intrusion and climatic factors, being susceptible to contamination mainly due to the precariousness of the environmental sanitation services. With the progress of the process of expansion of lots and summer lands, the urban center of Monte Alto, district of the municipality of Arraial do Cabo - RJ, has been suffering from the environmental impacts caused by suppression of native vegetation and clandestine subdivisions, without a technical assessment of land use and occupation, as well as protection of groundwater. Therefore, the research had the purpose of applying the GOD method to determine the vulnerability index to groundwater pollution in the urban center of Monte Alto. The collection campaigns of the thirteen analysis points occurred between June 21 and June 26, 2018. Eleven tubular wells in the urban core and two wells were drilled with the aid of a lug and a polyvinyl chloride (PVC) pipe were analyzed for the development of the GOD method and ten samples were collected for physical-chemical and microbiological analyzes. Through the GOD Method it was possible to verify that 94.76% of the study area has a high vulnerability class, while 5.26% presents a medium vulnerability class. To complement the research, the vulnerability map was associated with the land use and land use map, which showed that progress on environmental protection areas could compromise the quality of groundwater in the region. The physico-chemical and microbiological parameters of the groundwater of the wells were also characterized, comparing the values found with the potability standards recommended by Ministry of Health Ordinance No. 2914/11. Based on the analysis, it was possible to observe that the main risks contamination is the intense exploitation of groundwater, especially during the summer when an increase in population occurs due to the flow of vacationers, which can lead to a problem of water availability of drinking quality due to the process of salinization (saline wedge advance: from the sea), a risk that is proven by the high values of electrical conductivity in the areas closest to the ocean. Likewise, contamination by the predominant use of alternative sewage treatment systems in situ, since positive values were found for Coliformes Tottais and E. Coli. Finally, some recommendations were presented in order to contribute to the conservation of the groundwater of the studied area. This result evidences the need to develop policies for the protection and monitoring of groundwater in this area.

Key words: Groundwater; Vulnerability; Contamination; GOD method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Perfil esquemático da distribuição da água em profundidade, evidenciando as diferentes zonas de umidade.....	3
Figura 2 - Classificação dos aquíferos, com respectivos níveis de pressão.	5
Figura 3 - Desenho esquemático da classificação dos Aquíferos.	6
Figura 4 - Os tipos fundamentais de porosidade conforme diferentes materiais numa seção geológica.	8
Figura 5 - Principais fontes de alteração da qualidade da água subterrânea...	11
Figura 6 - Superexploração. / Avanço da Cunha Salina.....	12
Figura 7 - Método GOD.....	18
Figura 8 - Localização do Município.....	20
Figura 9 - Domínios tectônicos e principais estruturas da Província.....	24
Figura 10 - Parque Estadual da Costa do Sol.....	27
Figura 11 - Área de estudo e os pontos de coleta.....	29
Figura 12 - Índices de vulnerabilidades do aquífero associado ao grau de confinamento.....	32
Figura 13 – Ocorrência de estratos de cobertura.....	34
Figura 14 - Perfuração com trado (à direita), perfuração com cano de PVC ...	35
Figura 15 - Distância até o Lençol Freático ou o teto do aquífero confinado ...	35
Figura 16 - Produto final da aplicação do método GOD e classes de vulnerabilidade correspondentes.....	36
Figura 17 - Grau de Confinamento hidráulico da água subterrânea.....	37
Figura 18 - Mapa de ocorrência de estratos de cobertura.....	38
Figura 19 - Mapa de distribuição do nível do lençol freático.....	39
Figura 20 - Área de coleta próxima do oceano.....	40
Figura 21 - Construções residenciais sobre as dunas.....	40
Figura 22 - Mapa da Profundidade do nível do lençol freático.....	41
Figura 23 - Mapa de Vulnerabilidade do aquífero pelo Método GOD.....	42
Figura 24 - Uso e Ocupação das Terras - Monte Alto.....	45
Figura 25 - Área de Estudo, Monte Alto em 2011.....	46
Figura 26 - Área de Estudo, Monte Alto em 2018.....	46
Figura 27 - Recorte do Zoneamento Urbano do Município de Arraial do Cabo	47
Figura 28 - Mapa de Ocupação Urbana na área do PECSOL.....	48
Figura 29 - Área de estudo e os pontos de coleta.....	50
Figura 30 - Mapa de Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos.	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. OBJETIVO GERAL.....	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA E AQUÍFEROS SUBTERRÂNEOS.....	3
3.1.1. Águas Subterrâneas e o ciclo hidrológico.....	3
3.1.2. Tipos de Aquíferos.....	4
3.2. QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	9
3.3. FONTES POTENCIAIS DE ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	10
3.4. CONCEITOS DE VULNERABILIDADE	13
3.5. MÉTODOS DE ANÁLISES DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS..	14
3.6. MÉTODO GOD PARA A AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE	17
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
4.1. USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS	21
4.2. SANEAMENTO BÁSICO	22
4.3. GEOLOGIA.....	23
4.4. GEOMORFOLOGIA E COBERTURA PEDOLÓGICA.....	24
4.5. CLIMA.....	25
4.6. HIDROGEOLOGIA	26
4.7. UNIDADE DE CONSERVAÇÃO.....	27
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
5.1. AMOSTRAGEM DE CAMPO E MÉTODOS ANALÍTICOS	29
5.1.1. Análise da qualidade da água	30
5.1.2. Questionário informativo	31
5.1.3. Etapas para desenvolvimento do método GOD	31
5.1.3.1. Tipo de aquífero (G)	32
5.1.3.2. Litologia e grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes (O)	33

5.1.3.3. Profundidade da água no aquífero (D)	34
5.1.4. Uso e ocupação das terras	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1. AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE PELO MÉTODO GOD.....	37
6.1.1. Grau de confinamento da água subterrânea (G)	37
6.1.2. Litologia e grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes (O)	38
6.1.3. Nível do lençol freático (D)	39
6.1.4. Vulnerabilidade do aquífero	41
6.2. USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS	44
6.3. CARACTERIZAÇÃO DOS POÇOS E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	49
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	56
8. REFERENCIA	58
9. APÊNDICE	66

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas encontram-se em aquíferos, que são importantes reservatórios de águas doces no subsolo. O senso comum é pensar que diferente das águas superficiais, as águas subterrâneas estão protegidas de contaminação.

Com o crescimento das cidades e o cenário de escassez de água, tanto em ambiente urbano quanto rural, os problemas envolvendo a manutenção da qualidade e da quantidade das águas superficiais e subterrâneas tendem a se agravar. O aumento da demanda por água potável atrelada ao aumento populacional intensificou os efeitos da poluição e da contaminação terrestre, relacionados com a falta de planejamento quanto ao uso e ocupação do solo de maneira desordenada (MMA, 2007).

A poluição da água está relacionada com a alteração de suas características físicas, químicas ou biológicas, sejam elas ocasionadas por causas naturais ou antrópicas. Embora os recursos hídricos superficiais possam ser poluídos com grande rapidez, podem também, recuperar-se num curto espaço de tempo, com tecnologias de despoluição mais conhecidas e economicamente mais viáveis, já a poluição das águas subterrâneas é geralmente difícil de detectar, de monitoramento dispendioso e muito prolongado (CAPUCCI et al, 2001).

Em centros urbanos onde o sistema de saneamento ambiental é deficitário, as atividades potencialmente geradoras de carga contaminantes são as áreas onde o esgoto é tratado "*in situ*" em cada residência. Em zonas costeiras o risco de contaminação é potencializado devido ao avanço da intrusão marinha, oriundo muitas das vezes pela superexploração das águas subterrâneas.

No decorrer do tempo foram se desenvolvendo estratégias de conservação da qualidade das águas subterrâneas, por meio do reconhecimento e base de dados disponíveis, além da criação de metodologias para avaliação do potencial à poluição das águas subterrâneas. Com essas avaliações é possível construir mapas de vulnerabilidade da constituem-se um importante instrumento para o planejamento das políticas e ações de proteção das águas subterrâneas.

Diversos métodos são utilizados para avaliar a vulnerabilidade natural de um aquífero que, integrado com novas tecnologias, se tornar uma ferramenta de

grande relevância contribuindo no desenvolvimento de estudos científicos. Dentre estes métodos, destaca-se o Método GOD (Foster et al, 2006), por ser um método prático que utiliza apenas três parâmetros para gerar mapas de vulnerabilidade onde se estima o perigo em classes que podem variar de insignificante a extrema.

Neste contexto, os mapas de vulnerabilidade são ferramentas que possibilitam a adoção de medidas preventivas e fornecem subsídios ao planejamento de uso e ocupação das terras, na medida em que definem áreas de maior ou menor sensibilidade dos recursos hidrológicos aos impactos antrópicos.

Conforme apresentado no presente estudo, que aborda o caso de Monte Alto, Arraial do Cabo/RJ é possível constatar que a área possui alta e média vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas, a falta de planejamento e políticas públicas direcionadas ao uso e ocupação dessa área pode acarretar na contaminação do aquífero costeiro.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

- O objetivo desta pesquisa é analisar a vulnerabilidade da água subterrânea no núcleo urbano de Monte Alto, distrito do município de Arraial do Cabo – RJ.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar o grau de vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos na área em estudo;
- Identificar potenciais fontes de contaminação da água subterrâneas no distrito de Monte Alto;
- Realizar uma caracterização físico-química e microbiológica das águas subterrâneas locais;

Após a precipitação, a água penetra por uma porção do terreno chamada zona não saturada ou zona de aeração, onde os poros são preenchidos parcialmente por água e por ar. Parte da água infiltrada do solo é absorvida pelas raízes das plantas e por outros seres vivos ou evapora e volta para a atmosfera. A zona não saturada não somente representa a primeira defesa natural contra o contaminante, como também apresenta os processos mais eficazes de atenuação de contaminação (FOSTER 1985 a apud FOSTER; HIRATA 1991).

O restante da água, por ação da gravidade, continua em movimento descendente preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, falhas e fissuras das rochas compactas, formando a zona saturada (BORGHETTI ET, AL. 2004).

No topo da zona saturada existe uma faixa chamada de franja capilar, onde todos os poros estão preenchidos por água, mas ela está presa aos grãos de rocha pelo efeito da capilaridade. De acordo com Iritani e Ezaqui (2009) o limite entre as zonas não saturada e saturada é comumente chamado de lençol freático.

Em termos gerais, toda a água que se encontra abaixo da superfície terrestre é subterrânea. Porém, em Hidrogeologia, o termo “água subterrânea” é utilizado somente para aquela que circula sob a superfície freática, ou seja, na zona saturada (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997). Na zona não saturada, a água circulante não pode ser considerada água subterrânea, pois seu meio está insaturado em água e misturado também a outros conteúdos, incluindo gases.

3.1.2. Tipos de Aquíferos

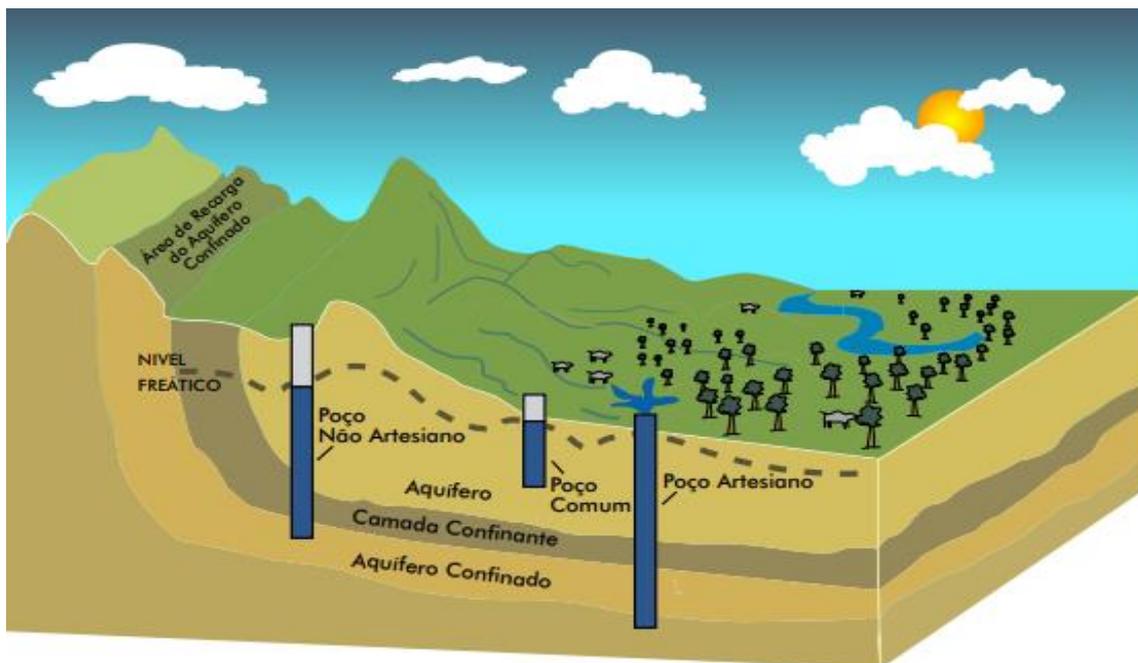
Aquífero é um reservatório subterrâneo de água, caracterizado por camadas ou formações geológicas suficientemente permeáveis, capazes de armazenar e transmitir água em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos (IRITANI; EZAQUE, 2009).

De acordo com Borghetti et al. (2004), dependendo das características da origem geológica das rochas (sedimentares, ígneas e metamórficas), e a constituição geológica em termos de porosidades/permeabilidade intergranular ou de fissuras é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a

qualidade da água e o armazenamento, resultando em diferentes tipos de aquíferos.

Segundo Feitosa (2000), de acordo com a pressão atmosférica e função da capacidade de transmissão das águas por suas superfícies limítrofes superior (solo) ou inferior (zona confinada), os aquíferos podem ser classificados em aquíferos confinados, livres ou freáticos e aquífero suspenso (Figura 2).

Figura 2 - Classificação dos aquíferos, com respectivos níveis de pressão.



Fonte: MMA, (2007).

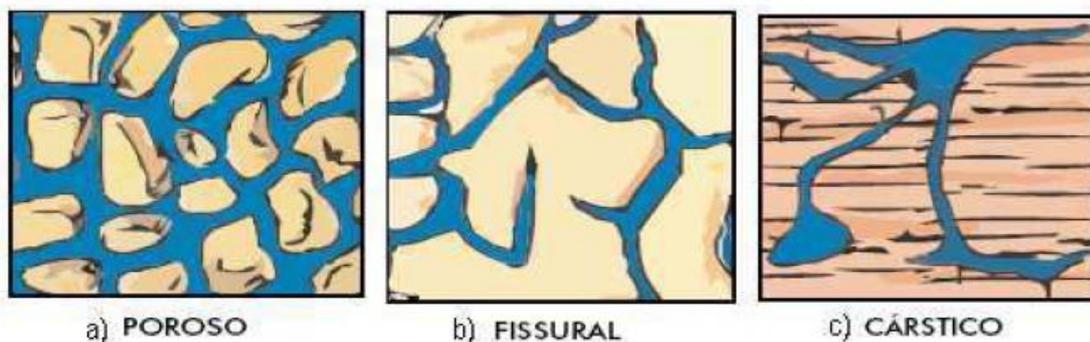
- Aquífero confinado ou artesianos é aquele constituído de formações geológicas permeáveis, no entanto, é limitado no topo e na base por rochas com baixa permeabilidade (argila, folhelho, rocha ígnea maciça, entre outras). Não existe zona não saturada. Nesse caso, o aquífero está submetido a uma pressão maior que a atmosférica, devido a uma camada confinante acima dele. Por isso, em poços cujas superfícies potenciométricas se localizam acima da superfície do terreno, a água jorra para além da zona aquífera, fenômeno chamado de artesianismo ou surgência natural. As áreas de recarga de aquíferos confinados são preferencialmente os aquíferos livres, através dos quais o excesso de águas pluviais penetra no subsolo por infiltração (CLEARY, 2018). De acordo com Feitosa (2000), os aquíferos podem ser subdivididos em

confinado não-drenante (também chamado de artesiano surgente ou jorrante), como aquele de camadas limítrofes impermeáveis, e em confinado drenante, sendo esse aquele com pelo menos uma das camadas limítrofes semipermeável;

- Aquífero livre ou freático é aquele constituído por uma formação geológica permeável e superficial e situa-se muito próximo à superfície do terreno, aflorante em toda a sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. (BORGHETTI et al., 2004). Nessa situação, a água que infiltra no solo atravessa a zona não saturada, recarregando diretamente o aquífero. Os aquíferos livres são ainda classificados em aquíferos drenantes (base semipermeável) e não drenantes (base impermeável) (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).
- Aquífero suspenso: um tipo especial do anterior, mas formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável, de extensão limitada e situado entre a superfície freática regional e o nível do terreno. Estes ocorrem entre o nível freático e a superfície do terreno e, comumente, formam reservas temporárias que, com o passar do tempo, alimentam os aquíferos subjacentes (BORGHETTI et al., 2004).

Autores, como Campos (1993), dividem os aquíferos de acordo como as rochas que armazenam e nas características hidráulicas das unidades geológicas, podendo ser divididas em três domínios aquíferos. Seguindo essa metodologia, os aquíferos são classificados quanto a porosidade em: poroso, fissural ou fraturados e cársticos, conforme ilustrado na Figura 3 e 4.

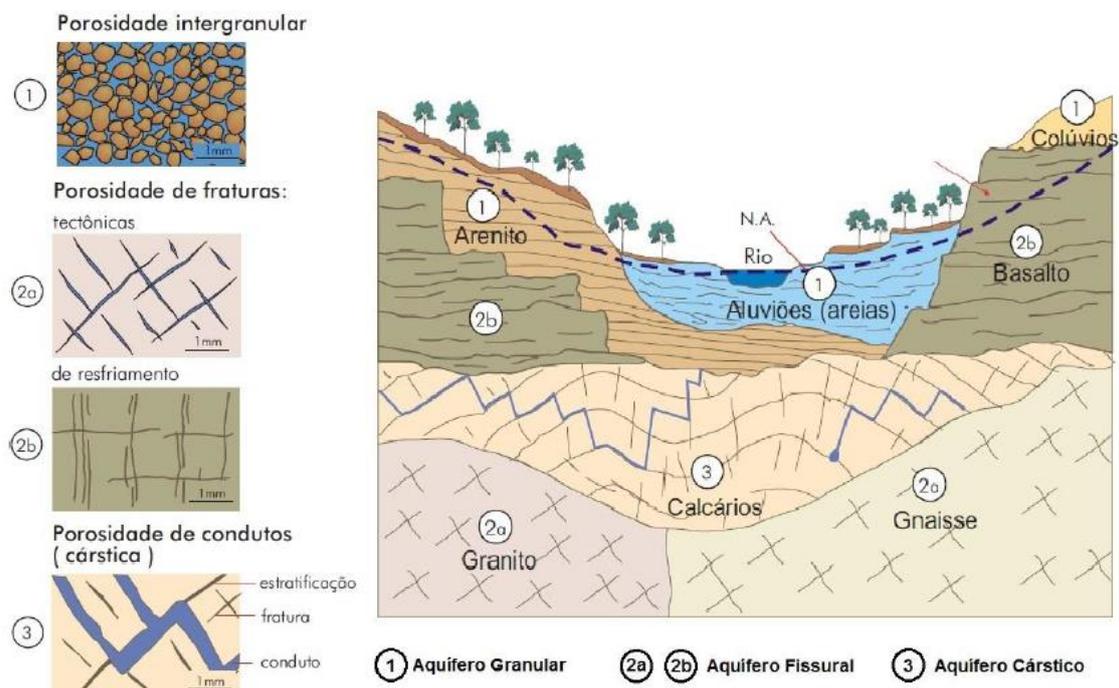
Figura 3 - Desenho esquemático da classificação dos Aquíferos.



Fonte: Adaptado de MMA (2007).

- O aquífero fissural ou fraturado é aquele representado pelas rochas ígneas e metamórficas e constitui os terrenos denominados genericamente de cristalinos. A capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá, tão somente, desse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houverem fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos. Um caso particular de aquífero fraturado é representado pelos derrames de rochas vulcânicas basálticas, das grandes bacias sedimentares brasileiras (ANA, 2005).
- No aquífero cárstico a água está relacionada à presença de descontinuidades na rocha, como falhas, fraturas e diaclases, associadas a feições de dissolução. Corresponde à região de ocorrência de rochas sedimentares ou metassedimentares associadas a rochas calcárias. A estas últimas estão relacionadas as feições de dissolução (ANA, 2005).
- O aquífero granular é aquele constituído por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a água circula entre os poros ou espaços intergranulares de materiais com diferentes granulometrias (areia, silte e argila de granulometria variada). Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Esses aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homoganeamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente. Essa propriedade é conhecida como isotropia (BORGHETTI et al. 2004).

Figura 4 - Os tipos fundamentais de porosidade conforme diferentes materiais numa seção geológica.



Fonte - Modificado Teixeira et al. (2000)

Nos domínios de rochas de porosidade/permeabilidade intersticial primária dominante, têm-se as aluviões ao longo dos rios, as dunas litorâneas, principalmente, e as rochas sedimentares. Os aquíferos de depósitos aluviais e dunas, possuem águas subterrâneas rasas ou freáticas, muito vulneráveis e se encontram, sob condições de pressão atmosférica normal, ou seja, formam aquíferos do tipo livre. A captação é feita, sobretudo, por meio de poços rasos (regra geral, com profundidades de 3, 5, 10 m), cravados e escavados ou cacimbões (REBOUÇAS et al, 2006).

Ainda pode-se destacar os aquíferos intergranulares costeiros, que são aqueles situados em planícies próximas ao mar ou grandes lagos salgados (CABRAL, 2000). Sua característica principal é de serem depósitos sedimentares bastante homogêneos, compostos quase que exclusivamente por grãos de quartzo, tamanho: areia fina a média, que formam acumulações espessas, alcançando grandes profundidades, de alta permeabilidade e nível freático com poucos metros de profundidade (GUEDES JR, 2005).

3.2. QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Conforme Von Sperling (2006), conceito de qualidade da água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula molecular H_2O . Isto porque a água, devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, as quais definem a qualidade da água. Portanto, dependendo das características apresentadas pela água, determinadas pelo conjunto de substâncias nela presente, representa a sua qualidade.

Aguiar (1999), explica que de acordo com a dinâmica do comportamento da água que infiltra no reservatório subterrâneo, ao lixiviar os solos e as rochas, há o enriquecimento de sais minerais na água, provenientes da dissolução destas espécies no meio. Estas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões e temperaturas a que estão submetidas e pela facilidade de dissolver CO_2 ao percolar o solo não saturado. Por essa razão, as águas subterrâneas têm concentrações de sais superiores às das águas continentais superficiais em geral.

No Brasil existem legislações e portarias que estabelecem padrões de qualidade da água que precisam ser atendidos como a Portaria nº 2914/2011, do Ministério da Saúde, que estabelece as normas e padrões de potabilidade e os procedimentos para o controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano. A Resolução Conama nº 396/2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, mas não enquadra as águas subterrâneas em doce, salobra e salgada. Esse enquadramento só é visto na Resolução Conama nº 357/2005. A classificação das águas dos aquíferos foi feita a partir da possível alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, necessidade de tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais, podendo ser enquadradas em classes especial, I, II, III, IV e V (LORDELO et al. 2018).

A portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 em seu capítulo II artigo 5º, incisos I, II e III, considera que:

I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;

II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde;

III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria;

A água usada para abastecimento doméstico deve apresentar características sanitárias e toxicológicas adequadas, tais como estar isenta de organismos patogênicos e substâncias tóxicas, para prevenir danos à saúde e ao bem-estar do homem. Organismos patogênicos são aqueles que transmitem doenças pela ingestão ou contato com a água contaminada, como bactérias, vírus, parasita e protozoários (BRAGA, 2005). Por meio da determinação dos indicadores de qualidade é possível inferir sobre a não potabilidade da água, uma vez que, por exemplo, no padrão microbiológico da água para consumo humano o Volume Máximo Permitido (VMP) deve ser ausente para qualquer parâmetro (BERNARDES, 2009).

O uso dos indicadores físico-químicos do aquífero permite identificar a ocorrência de elementos que podem ou não ser tóxicos ou essenciais à saúde humana, e dos impactos na população de uma dada área abastecidas pelos poços perfurados para captação de água subterrânea (ALIEVI et al, 2012).

3.3. FONTES POTENCIAIS DE ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Apesar da crença popular de que a água subterrânea está protegida contra as diversas formas de contaminação, os cientistas estão descobrindo poluição em aquíferos de todos os continentes, tanto nas proximidades de lavouras, quanto de fábricas e cidades (REBOUÇAS et al, 2006).

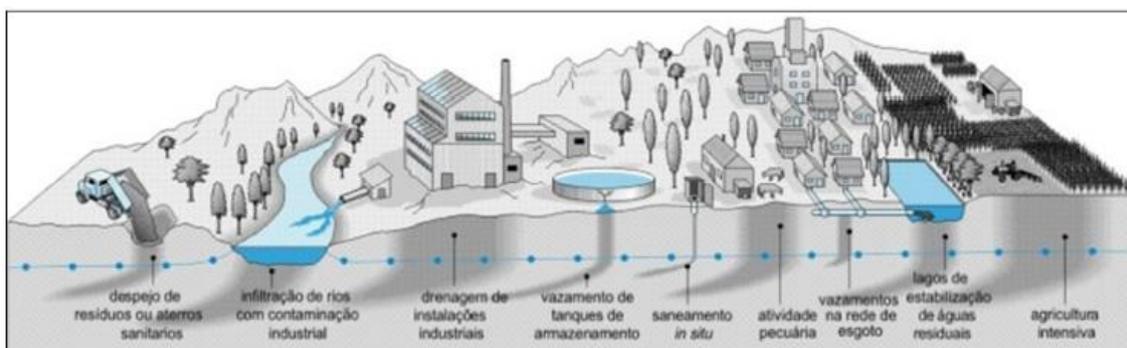
Um entendimento possível acerca da poluição da água deve ser entendido é de perda de sua qualidade, ou seja, ocorrência de alterações nas

características da água que comprometam um ou mais usos de um manancial. Por sua vez, contaminação é em geral entendida como um fenômeno de poluição que apresente risco à saúde (BASTOS et al., 2003).

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

Para Foster et al. (2002) as atividades potencialmente geradoras de cargas contaminantes, estão relacionadas ao desenvolvimento urbano, à produção industrial, à produção agrícola e à extração mineral, conforme pode ser verificado na Figura 5.

Figura 5 - Principais fontes de alteração da qualidade da água subterrânea.



Fonte - Modificado de Foster et al., 2002.

De acordo com Foster e Hirata (1998), os estudos relacionados para as áreas onde o saneamento ambiental é deficitário e o esgoto é tratado “*in situ*” por cada morador, mostram que a urbanização é uma fonte geradora de contaminação tanto por nutrientes como pelos os organismos fecais, sendo estes os principais tipos de contaminantes.

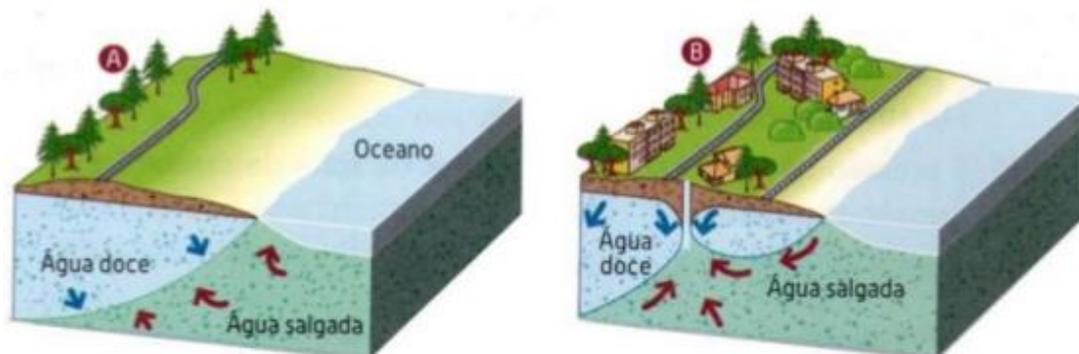
Nas zonas costeiras, além da contaminação dos aquíferos pela carga de poluentes há o risco de contaminação pelo avanço da cunha salina, propriamente chamada de intrusão marinha. O avanço da cunha salina ocorre quando a cunha de água salgada do mar avança ou se mistura com as águas doces do aquífero (CUSTODIO; BRUGGEMAN, 1987).

No estado de equilíbrio natural, as águas do mar e das lagoas hidraulicamente conectadas com o oceano infiltram-se pelo subsolo e formam uma interface com as águas doces recarregadas a partir do continente, interface essa em constante movimento. Por diferença de densidade a água doce flutua por sobre a água salina delimitando uma superfície, muitas vezes difusa chamada zona de mescla. O estudo da forma, posicionamento e variação temporal desta interface é de extrema importância para preservação das águas subterrâneas (LOWSBY, 2000).

Pequenas mudanças na carga e de fluxo podem causar graves consequências aos aquíferos costeiros. A superexploração, associada ao desequilíbrio com o processo de recarga natural, que sendo insuficiente, pode causar elevados rebaixamento na potenciometria dos aquíferos. A superexploração diminui a disponibilidade hídrica do aquífero, aumenta a sua vulnerabilidade a contaminações advindas de camadas superiores, bem como o torna susceptível à intrusão marinha em regiões litorais (BARBOSA; MATTOS 2008).

A Figura 6 mostra como a implantação de poços de bombeamento em áreas costeiras afeta o equilíbrio da interface salina.

Figura 6 - Superexploração. / Avanço da Cunha Salina



Fonte - ANA, 2005

Trein (2008) afirma que devido as áreas costeiras possuírem excelentes sistemas aquíferos relacionados aos depósitos arenosos de origem praias e retrabalhamento eólico, há um sério risco de contaminação de suas águas ocasionado pela sua superexploração e a impermeabilização das zonas de infiltração das áreas urbanas.

3.4. CONCEITOS DE VULNERABILIDADE

As primeiras tentativas para desenvolvimento de uma metodologia para avaliação do potencial à poluição das águas subterrâneas datam do final da década de 1960. Esse termo “vulnerabilidade de aquífero” surgiu pela primeira vez nesta mesma época, introduzido pelo hidrogeólogo francês J. Margat (VRBA; ZAPOROZEC, 1994).

A partir da década de 1970, com a criação da legislação americana para proteção de recursos hídricos subterrâneos, o interesse pelo tema cresceu na comunidade científica, sendo aplicado em diversos estudos em todo o mundo, destacando-se os realizados por Albinet e Margat (1970) na França; Aller et al. (1997) nos EUA; IG/CETESB/DAEE (1997) no Brasil; Lobo Ferreira (1998) em Portugal e Auge (2004) na Argentina.

A evolução histórica do conceito de vulnerabilidade foi revisada por diversos estudiosos, que têm debatido se a vulnerabilidade deve ser determinada de maneira geral para todos os poluentes, ou específica para grupos de poluentes. O conceito de vulnerabilidade tem originado inúmeras definições na literatura sobre avaliação dos recursos hídricos subterrâneos (LOBO FERREIRA, 1997).

De um modo geral a vulnerabilidade é compreendida como sendo a suscetibilidade do aquífero à contaminação (KEMERICH et al, 2011). A American Society for Testing Materials - ASTM, agência reguladora norte-americana, define vulnerabilidade nas águas subterrâneas como a facilidade com a qual um dado contaminante pode migrar para as águas subterrâneas ou para um aquífero de interesse em determinadas situações de uso do solo, características do contaminante e condições da área. Portanto, a vulnerabilidade depende tanto das características do aquífero (litologias, porosidade, etc.), como da área (uso do solo, topografia, etc.) e do contaminante (mobilidade, densidade, etc.).

De acordo com Auge (2004) na hidrologia subterrânea a vulnerabilidade pode se consistir em dois conceitos – a vulnerabilidade intrínseca e a vulnerabilidade específica. A primeira trata da fragilidade natural do aquífero e a segunda se refere ao perigo de contaminação com relação à presença de uma carga contaminante.

Foster e Hirata (1988), definiram a vulnerabilidade natural como a susceptibilidade que um sistema aquífero tem de vir a ser degradado por uma carga contaminante. No entanto Santos (2005) conclui que a definição de vulnerabilidade natural dos recursos hídricos subterrâneos é distinta de risco de poluição, ou seja, é possível existir um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade, mas sem risco de poluição, caso não haja carga poluente, ou haver um risco de poluição excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo, pois o risco depende não só da vulnerabilidade, mas também da existência de cargas poluentes significativas que possam entrar no ambiente subterrâneo.

Dessa forma, de acordo com Brito (2013) e Auge (2004) têm surgido inúmeras definições, qualificações e metodologias sobre a vulnerabilidade dos aquíferos, entretanto, não há um consenso sobre o alcance do termo. Neste sentido fica concluído que existem duas grandes correntes: aqueles investigadores que consideram a vulnerabilidade como uma propriedade referente ao meio (vulnerabilidade intrínseca) e outros que consideram, além do comportamento do meio aquífero, a carga contaminante (vulnerabilidade específica).

3.5. MÉTODOS DE ANÁLISES DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS

Existem dezenas de métodos para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos em todo mundo, segundo Almasri (2008), estes métodos classificam-se em:

- Métodos baseados em processo: requerem resolução analítica ou numérica da representação matemática de processos físicos para determinar índices que expressam a velocidade de propagação dos poluentes e a taxa de percolação para a zona saturada. Estes se diferenciam dos outros métodos porque preveem o transporte de contaminantes no espaço e no tempo;
- Métodos estatísticos ou probabilísticos: usam técnicas estatísticas para determinar as variáveis espaciais e a ocorrência de poluentes nas águas subterrâneas. Estes métodos são pouco aplicáveis em trabalhos de avaliação de vulnerabilidade devido a sua complexidade;

- Métodos de índice: são baseados na combinação de mapas com fatores hidrogeológicos do aquífero e outras variáveis, às quais é atribuído um valor numérico para cada atributo. Em uma forma mais qualitativa, eles empregam um sistema de valores numéricos e pesos aos atributos que constituem o aquífero, permitindo a obtenção de classes de vulnerabilidade. Essa metodologia permite uma avaliação primária da vulnerabilidade, mas não considera especificamente o processo que ocorre no ambiente de subsuperfície.

A ideia central das metodologias desenvolvidas é definir os graus de vulnerabilidade em função das condições hidrogeológicas e informar por meio de mapas sobre os perigos de contaminação de água subterrânea (HIRATA, 2000). Esses mapas, são elaborados a partir do cruzamento de vários níveis de informações em Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Para ilustrar, na Tabela 1 são apresentados diferentes métodos de cartografia de vulnerabilidade de aquíferos. Neles, estão descritos seus objetivos principais e os respectivos fatores de análises, de acordo com Hirata et al. (2008).

Tabela 1: Métodos para a determinação da vulnerabilidade à poluição de aquíferos e seus respectivos autores.

Método	Avaliação de	Fatores	Referência
Hazard ranking system	Áreas prioritárias para limpeza do aquífero	Migração – característica do meio e resíduo; quantidade de produto; população próxima; explosão e fogo; contato	Caldwell <i>et al.</i> (1981)
Mapa de Vulnerabilidade	Vulnerabilidade geral	Características geológicas e áreas de recarga e descarga.	Duarte (1980)
GOD	Vulnerabilidade intrínseca	Características naturais do terreno – 3 itens.	Foster e Hirata (1988)
Groundwater vulnerability map for nitrate	Potencial de lixiviação de nitrato	Tipo de solo; característica hidráulica e litológica do aquífero.	Carter <i>et al.</i> (1987)
DRASTIC	Vulnerabilidade intrínseca	- Características naturais do terreno – 7 itens ponderados em pesos e notas.	Aller <i>et al.</i> (1987)
SINTACS	Vulnerabilidade geral	Igual ao DRASTIC, com pesos diferentes	Civita <i>et al.</i> (1990)

Fonte: (Modificado de Hirata e Rebouças, 1999)

Neste contexto destacam-se os métodos mais utilizados, o método DRASTIC (ALLER et al., 1987) que constitui em um sistema padronizado de avaliação da vulnerabilidade intrínseca de aquíferos a partir de dados hidrológicos, morfológicos e físicos, e é um dos métodos de vulnerabilidade mais difundidos em todo mundo, e o método GOD (FOSTER et al., 2002), que trata de vulnerabilidade geral. Ambas as siglas são formadas pelas iniciais em inglês dos parâmetros exigidos em cada metodologia.

O Método DRASTIC foi desenvolvido por Aller et al. (1987) para a EPA (*U.S. Environmental Protection Agency*) para ser um sistema padronizado de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos frente a eventos de poluição e que pudesse ser aplicado para a realidade dos países desenvolvidos (VRBA; ZAPOREZEC, 1994). Trata-se de um método tradicional bastante utilizado, tanto para a qualificação (avaliação qualitativa) como para o mapeamento.

Se baseia na atribuição de índices que vão de 1 a 10, de acordo com as características e o comportamento das variáveis consideradas nas iniciais que compõem o nome DRASTIC, D (*depth* - profundidade do nível freático), R (*recharge* - recarga), A (*aquifer* - litologia do aquífero), S (*soil* - tipo de solo), T (*topography* - topografia), I (*impact* - litologia da seção saturada), C (*hydraulic conductivity* - condutividade hidráulica do aquífero). O índice 1 indica a vulnerabilidade mínima e 10, a máxima.

O DRASTIC foi desenvolvido para avaliar áreas maiores do que 0,4 km² (LEITE e MOBUS, 1998), e busca sistematizar o potencial dos contaminantes de alcançar a zona saturada (SILVA JUNIOR E PIZANI, 2003; AGÜERO VALVERDE; MESALLES, 2000; SANTOS ET AL, 2006).

Já o Método GOD, desenvolvido por Foster em 1987, Foster e Hirata 1988, Foster e Hirata 1991 e posteriormente modificado por Foster et al. (2002), é um método que utiliza parâmetros indicativos de vulnerabilidade, atribuindo valores numéricos e integrando-os para gerar o índice de vulnerabilidade. Esta metodologia é amplamente utilizada na América Latina, pois seu uso é simplificado necessitando apenas três parâmetros disponíveis em vários órgãos públicos, universidades, empresas privadas e outros (FOSTER; HIRATA, 1991). Abaixo o Método GOD será melhor detalhado.

3.6. MÉTODO GOD PARA A AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE

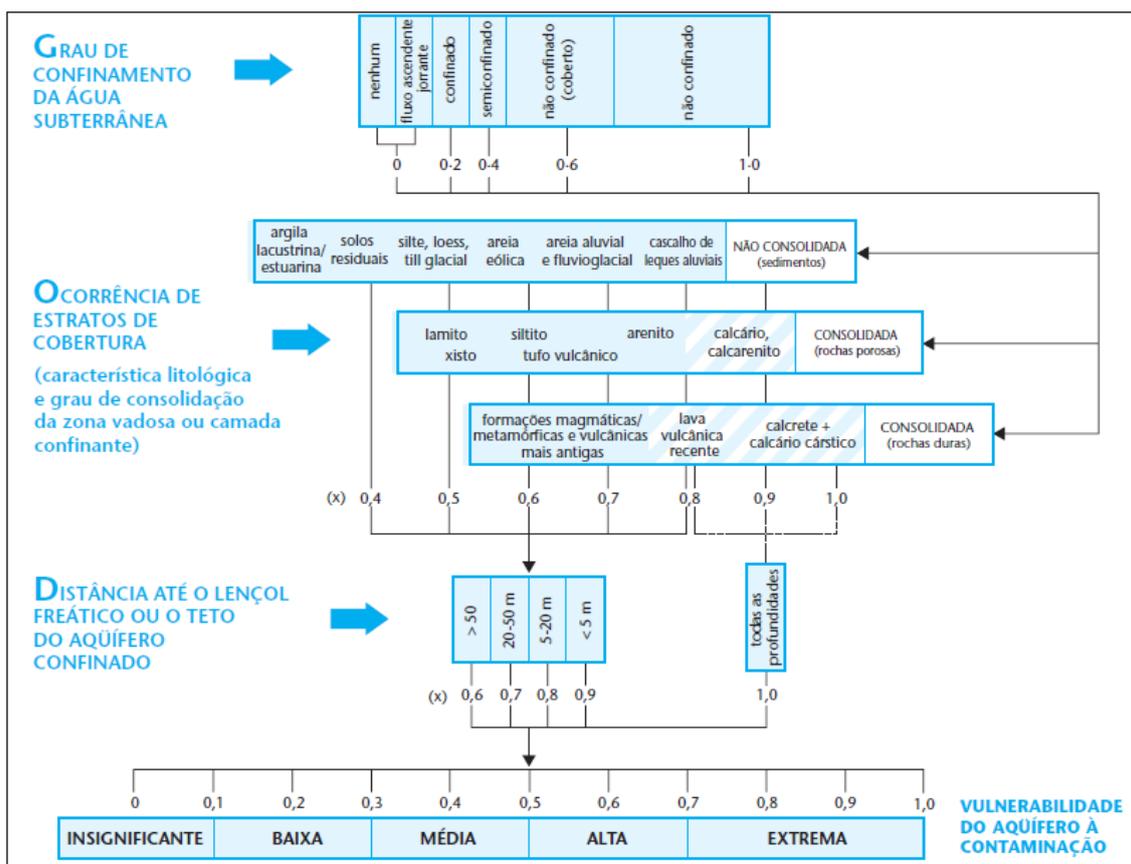
O método GOD foi proposto por Foster (1987) e se baseia na atribuição de índices entre 0 e 1 a 3 variáveis, cujas iniciais deram o nome ao mesmo e significam: G (*ground water occurrence* – tipo de aquífero), O (*overall aquifer class* – litologia da cobertura), D (*depth* – profundidade da água). Exceto a profundidade da água que é medida, as outras variáveis são relacionadas com tipos litológicos e determinadas por meio de tabelas. **Índice GOD = G*O*D.**

A metodologia GOD tem sido capaz de sintetizar as características básicas necessárias para uma avaliação primordial sobre a vulnerabilidade. Sua maior vantagem, segundo Auge (2004) é a simplicidade de operação e o pequeno número de parâmetros requeridos para sua aplicação, que resulta em definição menos claras que o DRASTIC.

A primeira fase consiste na identificação do tipo de ocorrência da água subterrânea, num intervalo de 0 - 1. A segunda fase trata da especificação dos tipos litológicos acima da zona saturada no aquífero, com a discriminação do grau de consolidação (presença ou ausência de permeabilidade por fissuras) e das características granulométricas e litológicas. Este fator é representado numa escala de 0,4 - 1,0, além de um sufixo para os casos de tipos litológicos que apresentem fissuras ou com baixa capacidade de atenuação de contaminantes. A terceira fase é a estimativa da profundidade do nível da água (ou do teto de aquífero confinado), numa escala de 0,4 - 1,0 (HIRATA, 1994).

O diagrama abaixo reproduzido por Foster e Hirata (1991), mostra os procedimentos para qualificar a vulnerabilidade de um aquífero à contaminação (Figura 7).

Figura 7 - Método GOD



Fonte – Foster et, al. (2006)

Contudo, após a pontuação das três etapas acima é feito o produto dos valores obtendo-se a(s) classe(s) de vulnerabilidade do aquífero, os quais deverão ser classificados de acordo com os seguintes intervalos de significância representados na Tabela 2:

Tabela 2: Classes de significância de vulnerabilidade no método GOD.

Intervalo de Classe	Características
0 – 0,1 Insignificante	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação)
0,1 – 0,3 Baixa	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados
0,3 – 0,5 Média (Moderada)	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados
0,5 – 0,7 Alta	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação
0,7 – 1,0 Extremo	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação

Fonte - Foster et, al. (2006)

O mapa de vulnerabilidade de aquíferos pode ser usado em propostas no planejamento do uso e ocupação do solo, estabelecendo prioridades de ação para a proteção do recurso subterrâneo baseado no reconhecimento de áreas de maior susceptibilidade de contaminação do aquífero (HIRATA, 2000). Outros estudos que atingiram os objetivos com o uso da técnica proposta no presente trabalho podem ser apresentados abaixo.

Kalaoum (2016), através do método GOD, avaliou a vulnerabilidade do aquífero confrontando com o uso e ocupação do solo no Distrito Industrial e sua área de expansão no município Queimados –RJ. Verificou-se que a área possui extrema vulnerabilidade, ou seja, o aquífero é suscetível a muitos poluentes. Este estudo buscou contribuir para a elaboração de programas de proteção do solo e dos recursos hídricos subterrâneos da área de estudo, bem como orientar políticas de proteção e de zoneamento industrial.

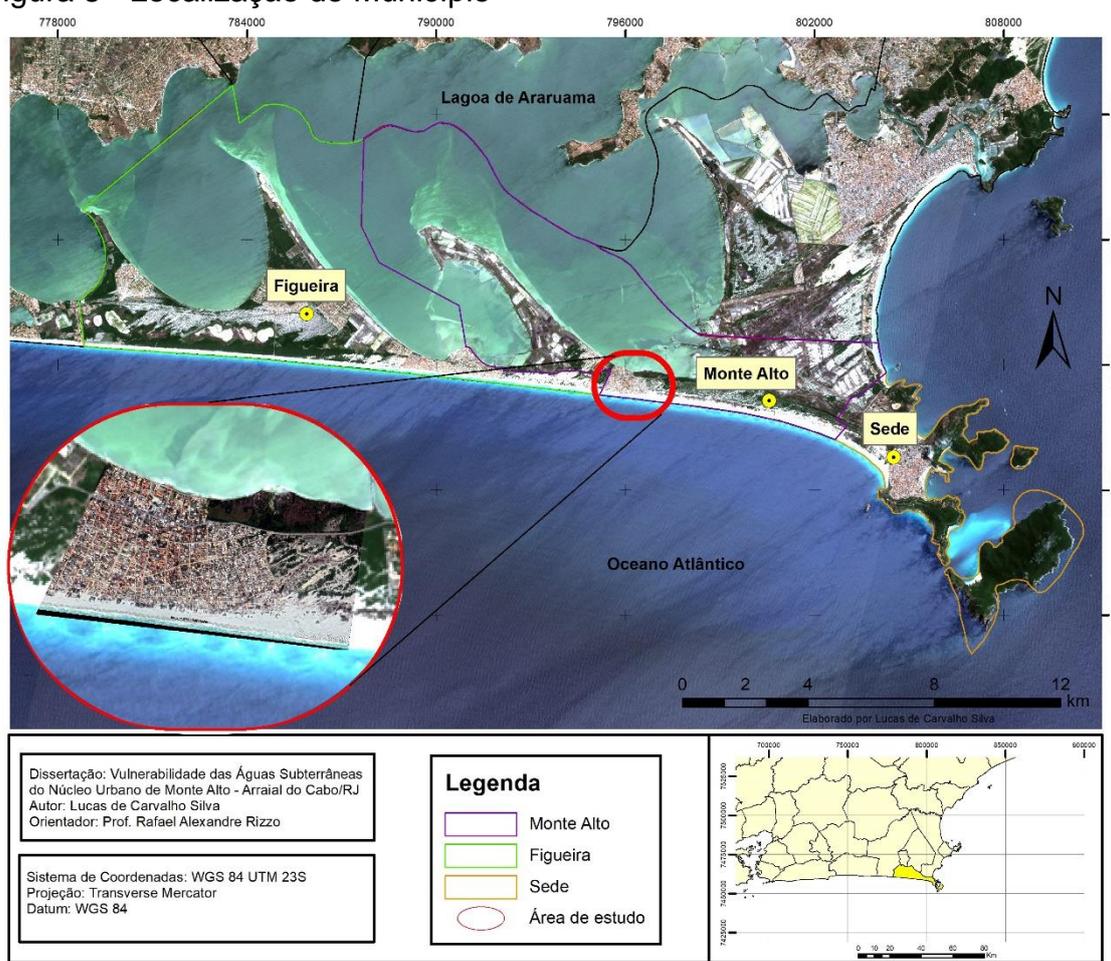
A cartografia de vulnerabilidade traçada com o método GOD constituiu-se instrumento bastante eficaz na investigação preliminar da vulnerabilidade e de risco de contaminação do aquífero livre por esgoto a céu aberto. O número reduzido de dados básicos permitiu agilidade na análise dos resultados e uma melhor visualização dos fatores parâmetros que contribuíram para o resultado final dos índices de vulnerabilidade. Essa análise serviu para alertar sobre a necessidade de programas de proteção de qualidade das águas subterrâneas e como contribuição para o desenvolvimento de trabalhos futuros nesta região (ROCHA, 2004).

Araújo (2014) ao avaliar a vulnerabilidade do Aquífero Dunas, de acordo com a metodologia GOD, verificou que a vulnerabilidade varia de média a alta, em função da profundidade do nível estático (parâmetro variável). Através da correlação dos dados de vulnerabilidade do aquífero com a carga contaminante resultante do elevado índice de uso e ocupação do solo com a presença de fossas sépticas, devido à falta de saneamento básico na área, definiu-se como alto o risco de contaminação do Aquífero Dunas na área de pesquisa.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido no núcleo urbano de Monte Alto, 2º distrito do município de Arraial do Cabo. Conforme o Plano Diretor de Arraial do Cabo (2006) o município é constituído por três distritos: cidade de Arraial do Cabo (Sede), Monte Alto e Figueira (Figura 8).

Figura 8 - Localização do Município



Fonte – Autoria própria, 2018

Arraial do Cabo pertence à Região das Baixadas Litorâneas que engloba a Microrregião dos Lagos, estando localizado a extremo Leste do Estado do Rio de Janeiro, entre os pontos 22° 57' 58" de latitude Sul a extremo e 42°01'40" de longitude Oeste. Delimita-se ao Norte com o Município de Cabo Frio, ao Sul com o Oceano Atlântico, ao Leste com o Oceano Atlântico e ao Oeste com o Município de Araruama, estando à 140 km da cidade do Rio de Janeiro.

A área de urbana do Distrito de Monte Alto apresenta uma área total de 1,57 km² e uma população que varia bastante durante os períodos do ano. O município de Arraial do Cabo possui uma população de 29.304 habitantes (população estimada para 2017 pelo IBGE, 2010). O principal acesso é pela Rodovia RJ 140 (Rodovia Amaral Peixoto), que permite ligação com a RJ 102 (Rodovia Araruama – Cabo Frio).

4.1. USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS

No final dos anos 1950, Arraial do Cabo passou por uma grande transformação, deixando de ser unicamente uma vila de pescadores para abrigar a Companhia Nacional de Álcalis. A Álcalis era uma empresa de base que tinha como o principal produto a barrilha, componente químico utilizado em maior escala pela indústria vidreira, química e pela indústria farmacêutica (PEREIRA, 2009).

A instalação do complexo industrial de grande porte como a Álcalis causou impactos significativos de diversas ordens sobre Arraial do Cabo, seja como polo de atração e absorção de mão de obra, seja como agente modificador da vida das comunidades aí residentes, e até mesmo como elemento alterador das condições ambientais e da flora e fauna locais (FEEMA, 1998).

Segundo Aguiar (2005), devido à necessidade de mão-de-obra qualificada para atender as necessidades da empresa, durante o período de instalação e operação da Álcalis, Arraial do Cabo presenciou um grande fluxo de imigrantes que ocasionou na alteração do uso do solo do município. Onde se havia restingas, lagoas e salinas desativadas foram dando lugar a pequenos núcleos urbanos e a loteamentos.

Na década de 1970, com a construção da ponte Rio-Niterói e da rodovia BR-106, houve uma ampliação da atividade turística na Região dos Lagos. Desta forma, com a dinamização do turismo litorâneo, Arraial do Cabo tornou-se um grande polo turístico no Estado do Rio de Janeiro (SEABRA, 2007).

Com ampliação da demanda por residenciais e terrenos de veraneios, o processo de ocupação do município sofreu intensa atividade por demarcações de loteamentos, bem como o aumento do número de ocupações irregulares,

principalmente nas salineiras desativadas, nas áreas protegidas pela legislação ambiental, e na região urbana de Arraial, onde se percebe um processo de favelização, notando-se o surgimento e expansão de algumas comunidades carentes e sem infraestrutura (TERRA, 2012).

O núcleo urbano do Distrito de Monte Alto, foi se desenvolvendo durante a década de 80, sobre as dunas e faixas de praia, ocasionando em danos ao meio ambiente, visto que as construções e aterros realizados acarretavam na remoção de vegetação fixadora de dunas, além do desmonte/remoção das dunas. A interferência na natureza coloca em risco a população, já que algumas construções foram feitas em áreas de invasão do mar, fenômeno denominado “barriga d’água”, que são ressacas marinhas esporádicas, mas violentas, razão pela qual essas áreas são caracterizadas como áreas de risco (TERRA, 2012).

4.2. SANEAMENTO BÁSICO

Os serviços de tratamento e distribuição de água, coleta e tratamento de esgotos do município de Arraial do Cabo são, atualmente, de responsabilidade da Concessionária Prolagos S/A (CILSJ, 2018).

O principal manancial para a captação de água vem da represa de Juturnaíba, formada sobre o Rio São João. Em períodos de alta temporada, o consumo de água na região aumenta significativamente, demandando altos investimentos em serviços de abastecimento de água e o aumento da malha de distribuição. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico do município de Arraial do Cabo (PMSB, 2013), durante o período de alta temporada, há expectativa de 76% de aumento na carga de consumo de água no município.

Em contrapartida, o abastecimento de água do município é bem delicado, já que reservatório Juturnaíba convive com diferentes problemas operacionais. Nos últimos anos, em especial nos períodos entre julho e agosto, e novembro e fevereiro, é possível observar a presença de algas em teores elevados, que ocasiona perda da qualidade da água e conseqüentemente dificulta e reduz a capacidade de tratamento das ETAS (Águas de Juturnaíba, 2011).

Além dos problemas operacionais, há o risco de colapso na disponibilidade hídrica do reservatório. Segundo Barcellos (2011), a Lagoa de Juturnaíba é o único reservatório de água na região que está apto a fornecer água para a

população, porém, seus estudos demonstraram que em situação de seca, os resultados do consumo de toda a água do reservatório podem ser catastróficos. Há também de se discutir sobre a distância do manancial até os centros urbanos consumidores que faz com que o sistema de transporte da água seja feito através de várias pressurizadoras ao longo do caminho, aumentando a dificuldade de operação e os riscos de quebras dos equipamentos e, conseqüentemente, de abastecimento.

Os Distritos de Monte Alto e Figueira estão recebendo obras de ampliação nas redes de abastecimento. Em áreas que não há atendimento pela rede pública operada pela Prolagos S/A, os imóveis são atendidos com soluções individuais através de poços escavados de pequenas profundidades. Esses poços não são cadastrados pelas autoridades competentes nem recebem qualquer fiscalização e acompanhamento por parte da Prefeitura (PMSB, 2013).

O sistema de esgoto de Arraial de Cabo, até o ano de 2006, foi operado pela Empresa Cabista de Desenvolvimento Urbano e Turismo (ECATUR). Após esta data, a ESAC (empresa de saneamento de Arraial do Cabo) passou a ser a responsável pelos serviços, atualmente, o sistema é operado pela Prolagos S/A.

No município de Arraial do Cabo, o sistema de esgoto do Distrito Sede é bem desenvolvido, tendo 100% da população atendida pelo sistema de esgoto, sendo que 60% através de redes separadoras e os 40% restante através de sistema unitário (PMSB¹, 2013). O Distrito de Monte Alto vem recebendo obras de implantação das redes coletoras, juntamente com estações elevatórias e estação de tratamento, porém, as obras ainda se encontram em fase de finalização e operação, sendo assim, as residências nesse distrito utilizam sistema de esgoto através da construção do sistema fossa – filtro – sumidouro (ÁGUAS DE JUTURNAÍBA, 2011).

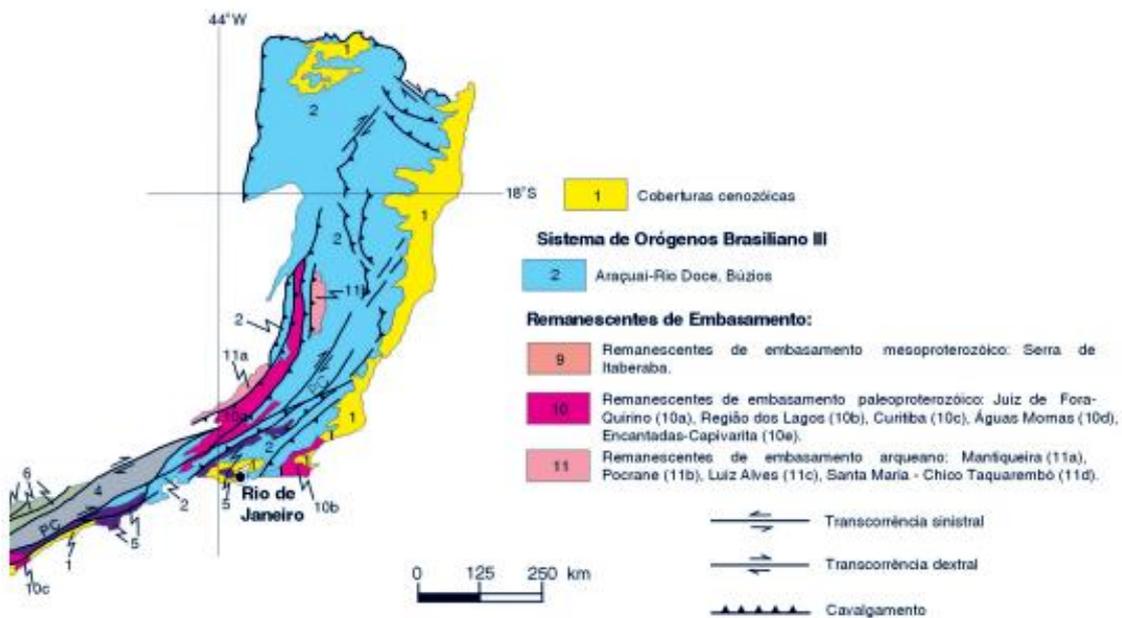
4.3. GEOLOGIA

A área de estudo recobre o domínio tectono-magmático do estado do Rio de Janeiro: Domínio Região dos Lagos (Figura 9). O domínio Região dos Lagos

¹ Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB

situa-se na porção mais oriental da província. É constituído por ortoganaisses paleoproterozóicos e por supracrustais (complexo Búzios) interpretadas como remanescentes de *back arc*. Foi metamorfozizado na fácies anfibolito superior, em evento colisional com cavalgamento para NW, sobre o Domínio Serra do Mar, durante os estágios terminais da colagem brasileira, no Cambriano (CPRM, 2001).

Figura 9 - Domínios tectônicos e principais estruturas da Província



Fonte - Modificada CPRM, 2001

O fato que marca a fisionomia da paisagem costeira da região estudada é o desenvolvimento dos cordões litorâneos (MUEHE; CORRÊA, 1989). Entre Arraial do Cabo e Niterói, ocorrem duas barreiras arenosas separadas por uma zona baixa ocupada por lagunas. Muehe (1982) e Coelho Neto et al., (1986) atribuíram idade holocênica para essas duas barreiras. Entretanto, sondagens efetuadas na zona baixa entre as barreiras mostraram que sob os sedimentos lagunares existem areias impregnadas de ácidos húmicos, e datações indicaram que as lagunas existiam antes de 5.1 ka (CPRM, 2001).

4.4. GEOMORFOLOGIA E COBERTURA PEDOLÓGICA

Segundo Mapeamento Geomorfológico do Rio de Janeiro, realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), a área de estudo se

configura como planícies costeiras caracterizadas por superfícies horizontais com microrrelevo ondulado de amplitudes topográficas inferiores a 20 m, geradas por processo de sedimentação marinha e/ou eólicas. São terrenos bem drenados com padrão paralelo, acompanhados as depressões intercordões.

Localizada no sistema interno da área de estudo, a Lagoa de Araruama, é a maior lagoa hipersalina do país. Sua salinidade é atribuída ao déficit hídrico aliado às condições climáticas e uma reduzida bacia de drenagem, com aproximadamente 350 km² (CRUZ, 2004). Sua única conexão com o oceano Atlântico é o canal de Itajuru, no município de Cabo Frio. A plataforma continental interna é coberta por depósitos sedimentares reliquiares constituídos por areias quartzosas, destacando-se um decréscimo granulométrico de grossos para finos de oeste para leste (MUEHE; CARVALHO, 1993).

O solo, é composto por areias quartzosas pouco desenvolvida e que possui como características possuir grande permeabilidade, o que promove altas taxas de infiltração, baixa umidade e baixa capacidade de campo. Segundo Bispo (2008), nas areias das dunas a água infiltra facilmente, não sendo capaz de reter o fluxo de chuva no solo.

4.5. CLIMA

A região de Arraial do Cabo, conforme o sistema de Koppen, possui um clima local classificado como Semi-Árido Quente (BSh), registrando uma temperatura média que varia de 23 e 25°C, oscilando ligeiramente na primavera e no outono. A média das máximas registra 29°C, no verão e 24°C, no inverno, com máxima absoluta de 36,5°C, no verão. A média das mínimas é de 22°C, no verão e 19°C no inverno com mínima absoluta de 12°C (BARBIÉRI, 1984).

A taxa de evaporação é compreendida entre 894 mm/ano e devido à proximidade do mar e à grande exposição dos ventos úmidos, a umidade relativa do ar é sempre maior que 80% (GOMES, 2002). A insolação varia entre 200 e 240 h/ mês, com exceção do período entre setembro e novembro, quando varia de 150 a 190 h/ mês (BARBIÉRE, 1984).

A distribuição das precipitações está em torno de 800mm/ano, com menos de 80mm/mês. A estação chuvosa inicia-se no final da primavera e vai até

janeiro; diminui em fevereiro-março (60mm/mês) e chega a 40mm/mês de junho a agosto que correspondem à estação seca (ARAÚJO, 1997).

A distribuição das chuvas exibe uma forte variação espacial e temporal. Isto ocorre devido à ação combinada das mudanças das massas de ar que pairam sobre a região ao longo do ano com as diversificadas características do meio ambiente das bacias e da zona costeira, em especial o relevo, associado ao fenômeno da ressurgência marítima que ocorre nas costas de Cabo Frio e Arraial do Cabo. Durante o verão predomina a massa de ar Continental Equatorial, enquanto no resto do ano prevalece a massa de ar Tropical Atlântica. Frentes frias (Frentes Polares Atlânticas) frequentemente passam pela região, em especial durante a primavera (CILSJ, 2018).

O déficit hídrico, associado aos ventos e às variações sazonais, causa efeitos microrregionais específicos que, combinados com as peculiaridades geológicas da região apresentam limitações de chuva e umidade, gerando elevadas taxas de evapotranspiração. Esta individualização climática deve-se à própria situação de cabo (projeção de planície mar adentro), ao relevo quase plano, ao afastamento da Serra do Mar da linha da costa, à presença de uma grande lagoa (Araruama) e ainda à brusca mudança da direção da linha da costa e a presença de águas frias devido ao fenômeno da ressurgência² (KRUEL et al. 2006).

4.6. HIDROGEOLOGIA

O sistema hidrogeológico presente na área é composto por aquíferos intergranulares, conhecidos como Aquíferos Costeiros (Cordões, Restingas e Terraços Litorâneos). São aquíferos livres, rasos e normalmente salinizados, possuindo aproveitamento restrito. Os sedimentos são compostos por areais razoavelmente selecionados, com matriz sílica a argilosa, granulometria fina e grossa. As captações, normalmente, são feitas por poços rasos, aproveitando os primeiros níveis de água, que podem ser potáveis. As águas destes sistemas são utilizadas normalmente para o abastecimento residencial (LOWSBY, 2000).

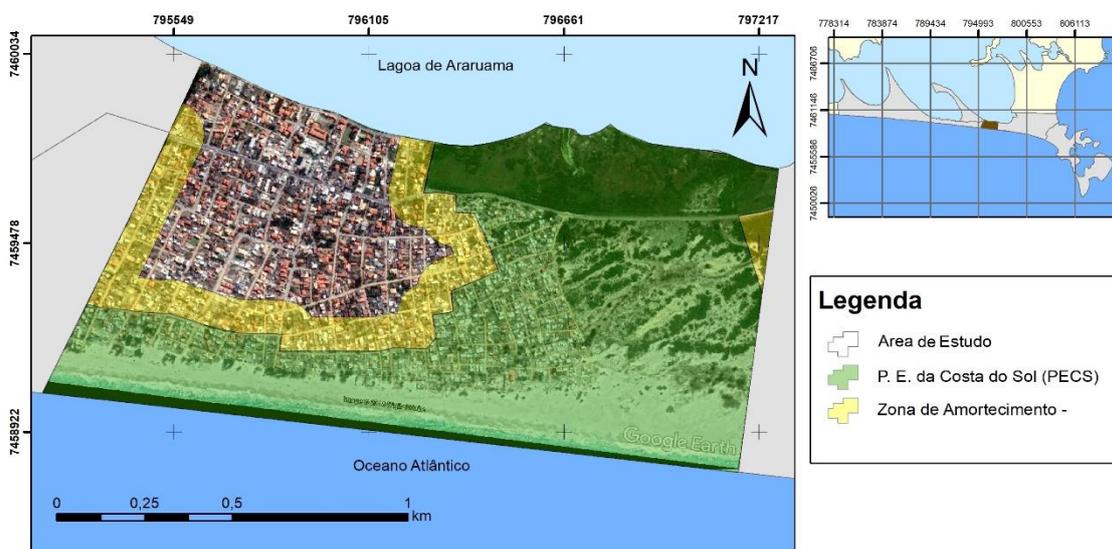
² Ressurgência é o processo de afloramento das massas de água profundas e mais frias (abaixo de 20°C) e salgadas para a superfície do oceano condicionado por efeitos físicos (LEITE et al., 2006)

Nos cordões arenosos, a profundidade do nível d'água nas faixas centrais é mais elevada, tornando-se bem mais raso à medida que se aproxima do oceano e principalmente nas lagoas, aonde chega a atingir 1m. Tais características, principalmente nos aluviões, conferem aos aquíferos livres alta susceptibilidade à contaminação bacteriológica.

4.7. UNIDADE DE CONSERVAÇÃO

O Parque Estadual da Costa do Sol – PECSOL foi criado em 18 de abril de 2011, pelo Decreto nº 42.929, e constando como ato do Poder Executivo, na dimensão Estadual, para conter o processo de expansão da ocupação urbana sobre os remanescentes de Mata Atlântica e ecossistemas associados da região das baixadas litorâneas, além de recuperar as áreas degradadas existentes nesta região (DI MAULO, 2016). A Figura 10 representa a área do PECSOL que abrange o local de estudo.

Figura 10 - Parque Estadual da Costa do Sol



Fonte - Modificado INEA Decreto nº 42.929/11

Este parque enquadra-se no grupo de unidades de conservação de proteção integral, sendo vedando empreendimentos, obras e quaisquer atividade que afetem sua subsistência ou destinação. Sua ampla fragmentação se apresenta como um instrumento capaz de garantir a conservação de diferentes elementos que marcam a paisagem da região, como importantes áreas

representantes da geodiversidade e da paisagem local: restingas, mangues, esporões lagunares, campos de dunas, sistemas de serras (CORRÊA; FONTENELLE, 2012).

O Parque Estadual da Costa do Sol possui uma área total aproximada de 9.840,90 hectares, dividido em quatro setores, cada qual composto por uma ou mais áreas distintas, que abrangem terras dos municípios de Araruama, Armação de Búzios, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Saquarema e São Pedro da Aldeia.

Ele é apontado como um instrumento fundamental para o desenvolvimento econômico sustentável da região onde está inserido, assegurando um espaço público para o lazer, a recreação e a manutenção da biodiversidade para as atuais e futuras gerações. Na área de restinga, presente junto ao litoral e que faz parte das áreas do PECSOL, encontram-se espécies de flora e fauna endêmicas e que enriquecem o panorama de biodiversidade da Região Costa do Sol. (DI MAULO, 2016).

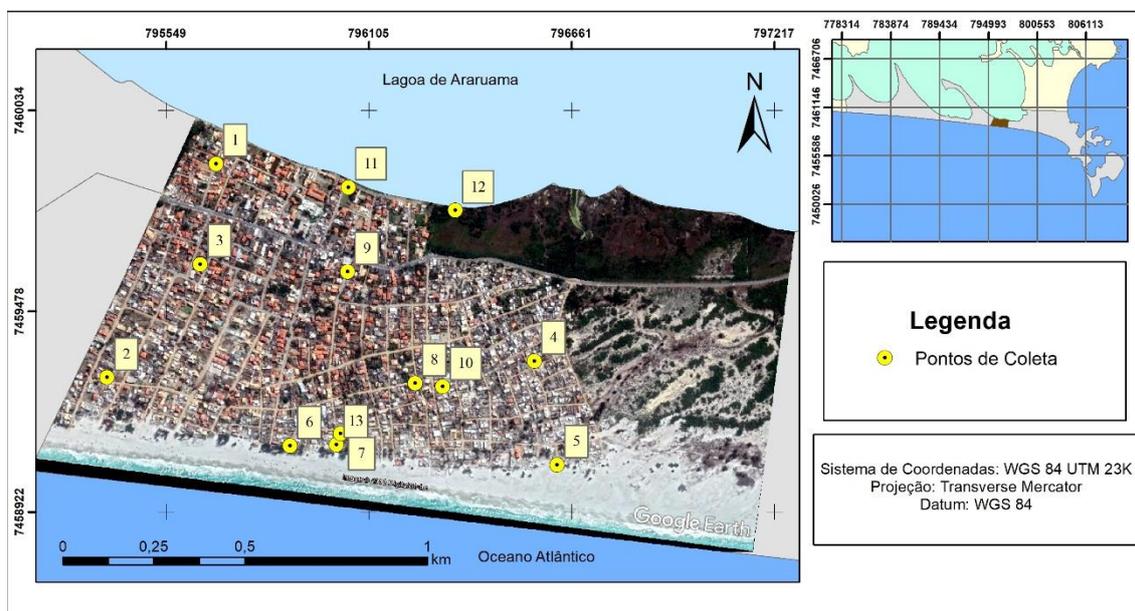
5. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, será apresentado os métodos de análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos dos pontos de coletas, o questionário informativo de campo e a metodologia utilizada para a composição do banco de dados do Sistema de Informações Geográfica para determinação da vulnerabilidade de águas subterrâneas utilizando o método GOD.

5.1. AMOSTRAGEM DE CAMPO E MÉTODOS ANALÍTICOS

As coletas de água aconteceram nos dias 21 e 26 de junho de 2018, início da estação do inverno. As coletas foram realizadas em poços tubulares já utilizados pelos moradores do núcleo urbano do Distrito de Monte Alto – Arraial do Cabo RJ. A seleção pelo número de amostras foi estabelecida em função do custo das análises, e a escolha dos pontos ocorreu de forma aleatória, conforme a disponibilidade dos moradores daquela região (Figura 11).

Figura 11 - Área de estudo e os pontos de coleta



Fonte - Autor

Foram registrados dados como localização geográfica utilizando um *GPS* (*Global Position System*), modelo *Garmim montana 650* e das características do

entorno dos poços (proximidade em relação a fossa), além da aplicação de um questionário (Apêndice 1).

A tabela 3 traz a localização geográfica dos pontos coletados e a característica no local de coleta.

Tabela 3: Localização geográfica e características dos pontos de coleta

Ponto de coleta	Coordenadas geográficas (UTM)		Nível do Lençol Freático (m)
1	795686 E	7459885 N	2,5
2	795387 E	7459294 N	5,1
3	795643 E	7459607 N	3,6
4	796559 E	7459339 N	3,4
5	796622 E	7459052 N	4,2
6	795889 E	7459105 N	6
7	796017 E	7459108 N	5,2
8	796232 E	7459278 N	3
9	796047 E	7459586 N	3,3
10	796308 E	7459268 N	3
11	796049 E	7459820 N	1,6
12	796342 E	7459756 N	1
13	796028 E	7459138 N	4,9

5.1.1. Análise da qualidade da água

Durante as coletas foram tomados cuidados com a prevenção, armazenamento e transporte das amostras de água, a fim de não provocar alterações na qualidade físico-químicas e bacteriológicas das mesmas de acordo com as recomendações para coleta e preservação de amostras estabelecidos pela *American Public Health Association* (APHA), para amostras de água para consumo humano.

Utilizaram-se, para as características físico-químicas métodos quantitativos e qualitativa para as características microbiológicas das amostras, comparando-as com os valores estabelecidos pela Portaria nº 2.914/11 do ministério da saúde. As análises físico-químicas, bem como as microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Química do IFRJ *campus* Arraial do Cabo com a

metodologia analítica atendendo às especificações das normas nacionais que disciplinem a matéria, da edição mais recente da publicação *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* de autoria das instituições da APHA, *American Water Works Association (AWWA)* (Técnicas de análise físico-químicas para controle operacional de ETA. A Tabela 4 apresenta os parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados durante a pesquisa de qualidade da água dos poços e, as respectivas metodologias adotadas.

Tabela 4: Parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados

Parâmetro	Unidade	Método (-)
pH	-	Sonda multiparâmetros HI 769828
Condutividade Elétrica (CE)	uS.cm ⁻¹	
Sólidos Totais Dissolvidos (SDT)	PPM	
Dureza Total	mg.L ⁻¹	Titulação com EDTA
Coliformes Totais	-	Colilert
<i>Escherichia coli (E.Coli)</i>	-	Colilert

Para a coleta da água do poço tubular, procedeu-se o bombeamento da água deixando-a escoar por 3 minutos, antes de chegar a qualquer tipo de reservatório.

Para as análises físico-químicas, as amostras foram acondicionadas em garrafas de polietileno com capacidade de 2 litros e, para a análise bacteriológica, utilizaram-se coletores de vidros autoclavados com capacidade de 500 mL. Após a coleta, as amostras foram devidamente identificadas, acondicionadas em caixas térmicas, em seguida, encaminhadas para as devidas análises.

5.1.2. Questionário informativo

O questionário informativo foi aplicado para conhecer os hábitos higiênico-sanitários da comunidade quanto à captação, ao manuseio e aos usos da água. As perguntas do questionário foram respondidas pelos proprietários dos poços durante realização das coletas de água, perfazendo um total de 10 entrevistados.

5.1.3. Etapas para desenvolvimento do método GOD

A metodologia utilizada foi subdividido em: levantamento bibliográfico, levantamento dos poços pré-existentes da área de trabalho, determinação dos parâmetros GOD e uso e ocupação das terras. Foram utilizados arquivos *shapefile* (.shp) da CPRM, além de dados coletados de forma direta na área de estudo. O *software* ArcGIS 10.5 (ESRI) foi utilizado como ferramenta SIG para a elaboração dos mapas temáticos.

A delimitação da área de estudo foi realizada a partir de um arquivo no formato *shp*. do Município de Arraial do Cabo, adquirido do IBGE, a extração da área de interesse ocorreu através da função *Clip*.

Posteriormente, gerou-se um banco de dados com as informações obtidas de mapas e dados de campo, atribuindo também peso da metodologia para se produzir os mapas específicos para cada um dos três parâmetros a serem avaliados. O índice de vulnerabilidade é obtido a partir do produto das variáveis GOD.

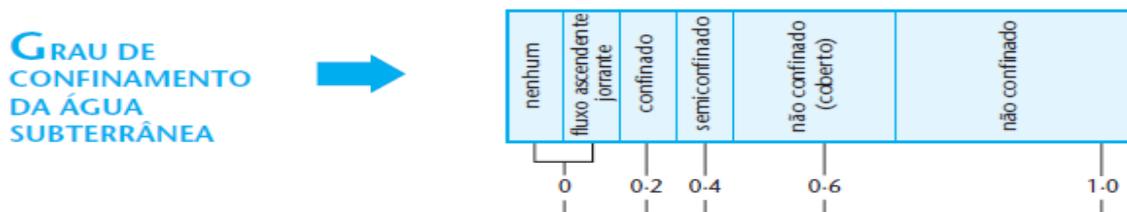
$$\text{Vulnerabilidade do aquífero} = G * O * D$$

5.1.3.1. Tipo de aquífero (G)

O mapa temático que resulta deste parâmetro, refere-se ao grau de confinamento da água subterrânea e foi determinado através das informações coletadas a partir de dados hidrogeológicos obtidos da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM).

Para este parâmetro, o método GOD define os valores conforme apresentado abaixo.

Figura 12 - Índices de vulnerabilidades do aquífero associado ao grau de confinamento



Fonte - Adaptado do Fluxograma do método GOD, Foster et al. (2006)

Para determinar o mapa do parâmetro G utiliza-se o módulo *Spatial Analyst*, em seguida a ferramenta *raster calculator* para atribuir o índice referente ao parâmetro.

5.1.3.2. Litologia e grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes (O)

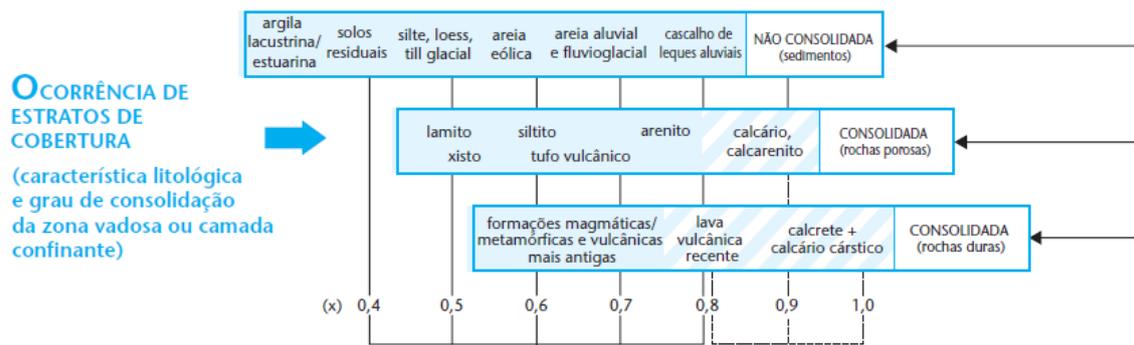
O solo e a litologia situados acima da zona saturada do aquífero condicionam o tempo de deslocamento dos contaminantes e os vários processos de sua atenuação. O solo corresponde à parte da zona vadosa onde estão localizadas as raízes das plantas. A litologia situada acima da zona saturada do aquífero contribui com a capacidade de atenuação desse meio, uma rocha de granulometria grossa tem menor capacidade de atenuação do que uma rocha de granulometria fina.

Foram realizadas duas perfurações a fim de coletar material para a avaliação pedológica da área de estudo. O critério utilizado para a separação do material pedológico em campo, durante a perfuração foram cor e textura. Para a diferenciação da textura em campo, foram utilizados os critérios visuais e táteis, onde distinguia as diferentes camadas pelos seguintes gradientes textural: areia, silte e argila. Nesta etapa umedecemos a amostra e verificamos se ocorria aspereza (arenoso), sedosidade (silte) e pegajosidade ou plasticidade (argila). Para o critério cor, apenas foi utilizado critérios visuais.

Nas duas perfurações foram encontrados materiais semelhantes, mesmo havendo diferença na profundidade dos pontos de coleta,

Na classificação de vulnerabilidade quanto à litologia deve-se utilizar os padrões estabelecidos por FOSTER et al. (2006) (Figura 13) de acordo com a unidade litológica da região.

Figura 13 – Ocorrência de estratos de cobertura.



Fonte – Adaptado do Fluxograma do método GOD, Foster et al. (2006)

5.1.3.3. Profundidade da água no aquífero (D)

A área de estudo apresenta escassez bibliográfica sobre o nível freático do aquífero da região. Também houveram dificuldades para determinar os níveis nos poços no interior das residências, já que a maioria dos poços estavam conectados a bomba d'água. O nível freático das águas subterrâneas nas residências foi determinado conforme as perfurações realizadas pelos proprietários. De acordo com Cavalcante e Gomes (2011), a profundidade em que se encontram as águas subterrâneas geralmente reflete seu nível estático natural, nível hidrostático ou nível d'água, e que pode ser raso (Freático) (profundidade do nível estático inferior a 15 m), medianamente profundo (profundidade do nível estático entre 15 m e 30 m) ou profundo (profundidade do nível estático superior a 30 m).

Além dessas informações foram perfurados de forma manual outros 2 poços para verificar o nível freático. Foi utilizado um trado manual até atingir 1m do solo e logo após foi introduzido um cano de policloreto de vinila (PVC) com 40mm de diâmetro até que fosse possível encontrar água. A escolha do método de perfuração se deu pela facilidade de se perfurar poços na área de estudo, além do baixo investimento para os materiais. Nas Figura 14 apresentam, respectivamente o momento da abertura dos poços, utilizando o método já citado.

Figura 14 - Perfuração com trado (à direita), perfuração com cano de PVC (à esquerda)

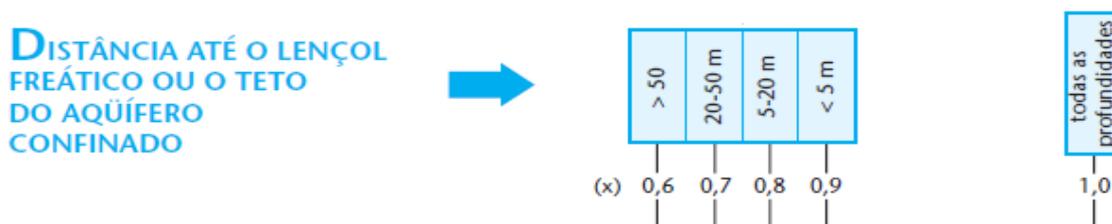


Fonte – Autor (2018)

A partir das informações disponíveis para cada poço, foi utilizado um método interpolativo do SIG ArcGIS 10.5 (ESRI) para determinar as áreas de influência dos poços, determinada *Interpolate to Raster* do módulo *Spatial Analyst*, onde a opção *Inverse Distance Weighted (IDW)* foi selecionada conforme descrito por Santos (2010). O método IDW corresponde à interpolação entre cada ponto como uma influência local, diminuindo à medida que a distância entre os pontos aumenta.

Após a elaboração desse mapa, foi realizada a conversão dos intervalos de profundidade em índices específicos determinados pela metodologia para o parâmetro D, por meio da ferramenta *Reclassify* do módulo *Spatial Analyst* do *software* já citado.

Figura 15 - Distância até o Lençol Freático ou o teto do aquífero confinado



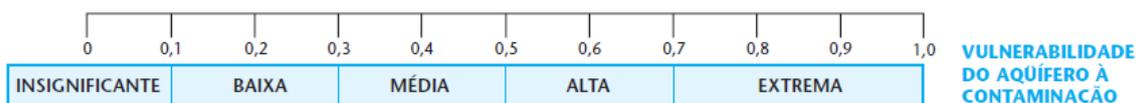
Fonte – Adaptado do Fluxograma do método GOD, Foster et al. (2006)

Concluídos os mapas específicos para cada parâmetro, foram multiplicados os índices encontrados: $G \times O \times D$, a partir da ferramenta *Raster Calculation* do módulo *Spatial Analyst* no ArcGIS 10.5 (ESRI). O próximo passo utilizado foi converter a imagem raster em arquivo vetorial do tipo *shp*.

Com o arquivo *shp*., foi possível simplificar as classes através do procedimento <Dissolve> que permite agrupar os temas utilizando as classes de vulnerabilidade. Depois que as classes foram agrupadas e simplificadas, foi possível calcular a área para cada classe de vulnerabilidade utilizando o <Calculate Geometry> bem como as áreas das classes dos mapas temáticos.

Os resultados alcançados equivalem às classes de vulnerabilidade natural que o meio aquífero a partir do método GOD.

Figura 16 - Produto final da aplicação do método GOD e classes de vulnerabilidade correspondentes



Fonte – Adaptado do Fluxograma do método GOD, Foster et al. (2006)

5.1.4. Uso e ocupação das terras

A classificação do uso e ocupação das terras foi realizada por meio do processamento da imagem do Google Earth datada de 2017, através do *software* Quantum GIS (QGIS) utilizando o *plug-in Gimp Selection Feature* desenvolvido pelo IBAMA. Por meio do *plug-in* foi possível vetorizar as regiões de interesse da imagem georreferenciada, após a vetorização dos polígonos das classes de uso o mapa vetorial foi exportado para o *software* ARCGIS 10.5. Nesse programa foram realizados os procedimentos de classificação, cálculo das áreas, além de todas as tarefas de edição.

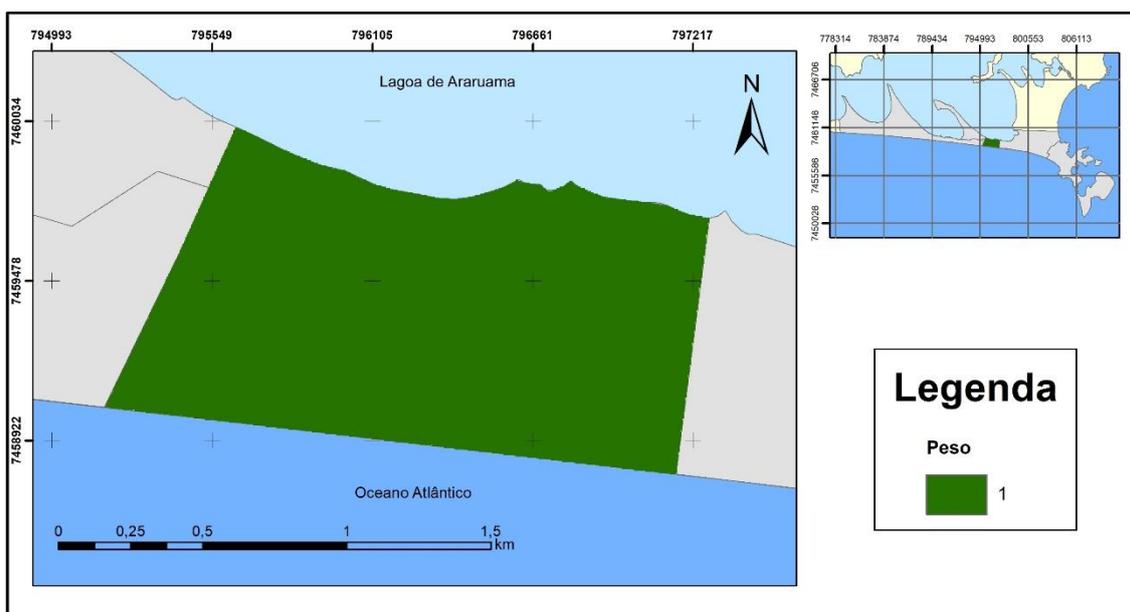
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE PELO MÉTODO GOD

6.1.1. Grau de confinamento da água subterrânea (G)

O aquífero da área de estudo é definido em aquífero intergranular, conhecido como Aquífero Costeiro (Cordões, Restingas e Terraços Litorâneos) tendo como característica ser do tipo não confinado (aquífero livre). Para o índice G do método GOD foi atribuído o valor máximo, igual a 1 para o grau de confinamento de toda área de estudo, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Grau de Confinamento hidráulico da água subterrânea



Fonte – Autor

Os aquíferos livres são aquíferos superficiais que não possuem camadas relativamente impermeáveis que resguardam as águas subterrâneas das possíveis contaminações. Assim, sua recarga é feita principalmente pela água da chuva que infiltra diretamente pela zona vadosa pouco espessa. A recarga direta implica em maior vulnerabilidade a cargas de poluentes lançados na superfície do terreno e que possam infiltrar junto com a água da chuva (ARAUJO, 2016).

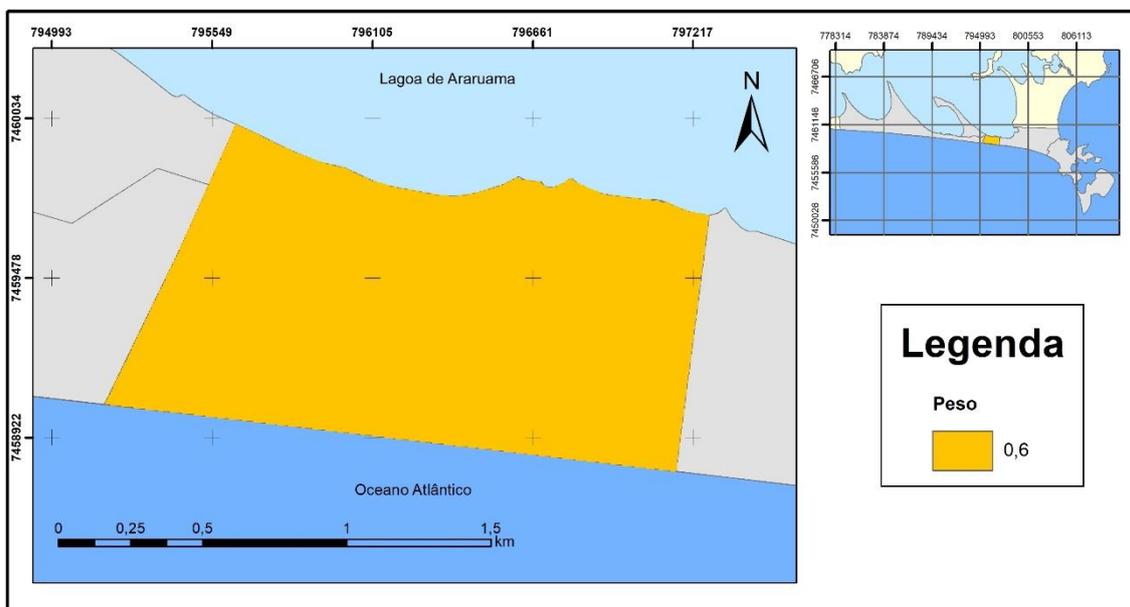
Kalaoum (2016), em seu estudo utilizando o método GOD para determinar a vulnerabilidade do aquífero no município de Queimados/RJ, também atribuiu o valor igual a 1 relativo ao parâmetro grau de confinamento em um aquífero não confinado fraturado.

De acordo com Seabra (2007), existe uma grande preocupação com os aquíferos livres em áreas urbanas, pois estes apresentam características que conferem alta susceptibilidade à contaminação bacteriológica devido a sua baixa profundidade e zona vadosa pouco espessa.

6.1.2. Litologia e grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes (O)

A área de estudo em sua totalidade é constituída por areias quartzosas, assim, para a determinação do índice O, que representa os estratos de cobertura e sua capacidade de atenuação de contaminantes, foi atribuído um peso 0,6 conforme definido no método GOD para as areias eólicas. Na Figura 18, é apresentado o mapa de litologia da zona não saturada.

Figura 18 - Mapa de ocorrência de estratos de cobertura



Fonte – Autor, 2018

Conforme foi discutido anteriormente, a área de estudo vem se desenvolvendo sobre sedimentos eólicos. Segundo Guedes Jr (2005) a principal

característica desses depósitos sedimentares é ser bastante homogêneos, compostos quase que exclusivamente por grãos de quartzo, constituído de areia fina a média, apresentando um alto nível de permeabilidade formado por dunas que facilitam a recarga do aquífero.

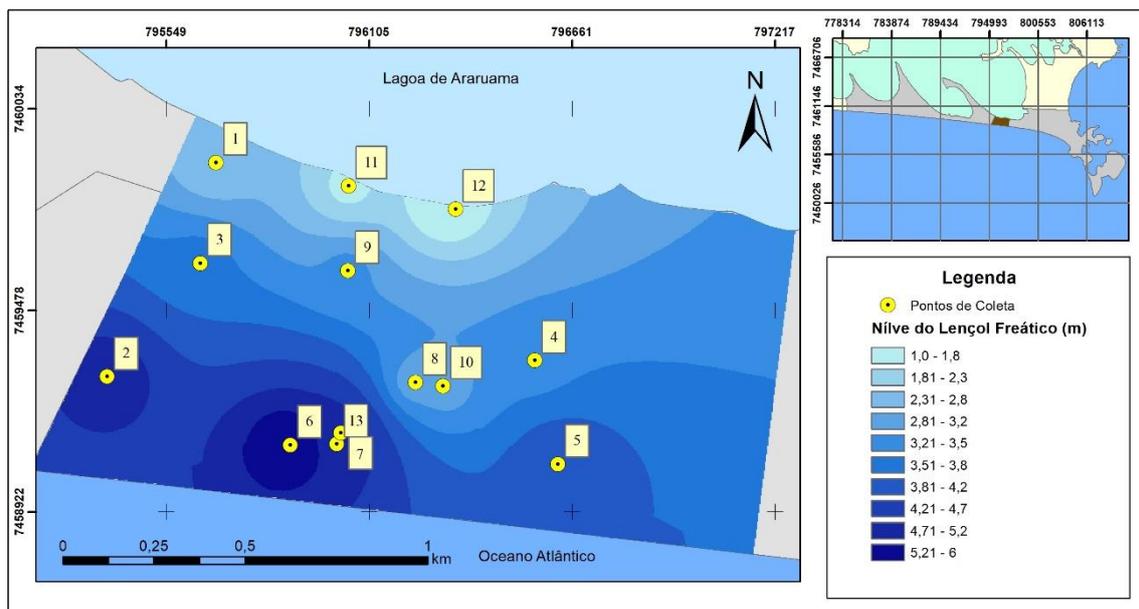
Conforme Bispo (2008), este solo apresenta características de um solo pouco desenvolvido e possui grande permeabilidade, o que promove altas taxas de infiltração, baixa umidade e baixa capacidade de campo, ou seja, nas areias das dunas a água infiltra facilmente.

Pereira e Guimarães (2011) em seu trabalho para determinar a capacidade de infiltração de sedimentos eólicos nas dunas de Natal/RN, demonstraram que as areias eólicas possuem alto nível de permeabilidade e velocidade de infiltração, resultados que confirmam a vulnerabilidade natural dos sedimentos eólicos.

6.1.3. Nível do lençol freático (D)

Os poços da área de estudo possuem o nível d'água variando de 1 a 6 metros de profundidade, como verificado no mapa de distribuição no nível do lençol freático na Figura 19.

Figura 19 - Mapa de distribuição do nível do lençol freático



Fonte – Autor, 2018

De acordo com a Figura 19 é possível observar que o lençol freático é mais raso na região próxima à Lagoa de Araruama, sendo possível encontrar valores iguais a 1 metro de profundidade. Conforme Cruz e Silva Jr. (2006), o aquífero da área de estudo torna-se bem mais raso à medida que se aproxima das lagoas, aonde chega a atingir 1 metro.

As áreas mais próximas do oceano possuem um sistema de dunas que corresponde aos locais de topografia mais elevado. Os poços escavados sobre esses campos de dunas, são naturalmente mais profundos. O valor encontrado no ponto 6, ponto que se encontra mais próximo do oceano (72 metros) é de 6 metros de profundidade, já o ponto 7 dista a 98 metros do oceano e possui profundidade de 5,2 metros.

Figura 20 - Área de coleta próxima do oceano



Figura 21 – Construções residenciais sobre as dunas

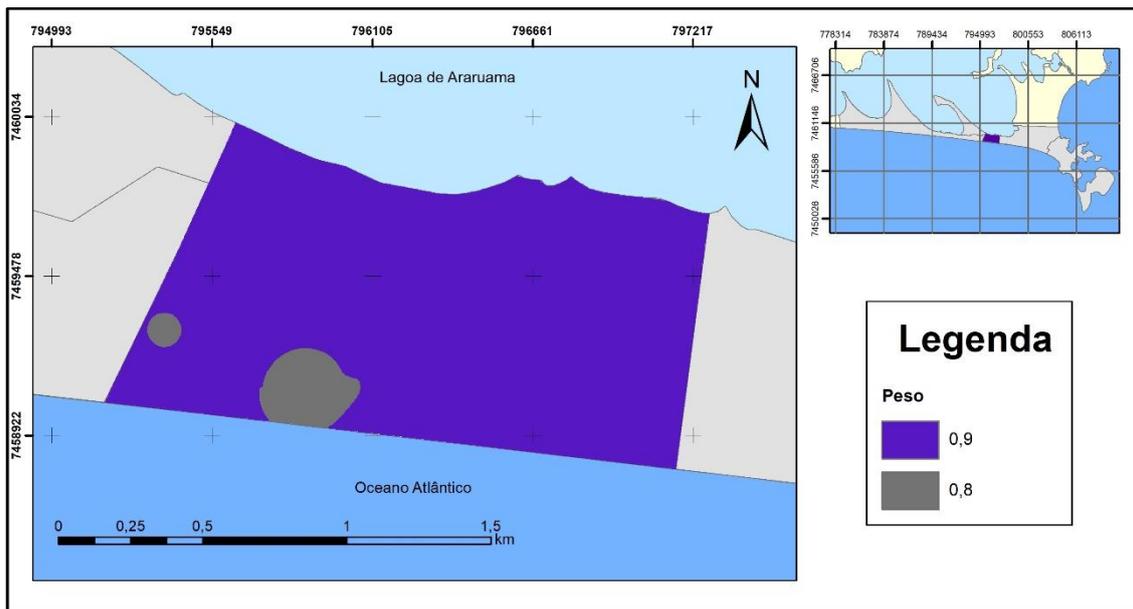


Fonte – Acervo do autor

A partir da obtenção do mapa de nível freático, foi possível determinar os intervalos de classes de profundidade já estabelecidos para este parâmetro e, dessa forma definir os valores de classificação GOD. O método GOD propõe que profundidades inferiores ou iguais a cinco metros obtenha peso 0,9, e valores maiores que 5 metros e menores ou iguais a 20 metros recebem um peso de 0,8 no índice D (profundidade do nível freático).

A Figura 22 representa o índice profundidade do Lençol Freático do Método GOD.

Figura 22 - Mapa da Profundidade do nível do lençol freático



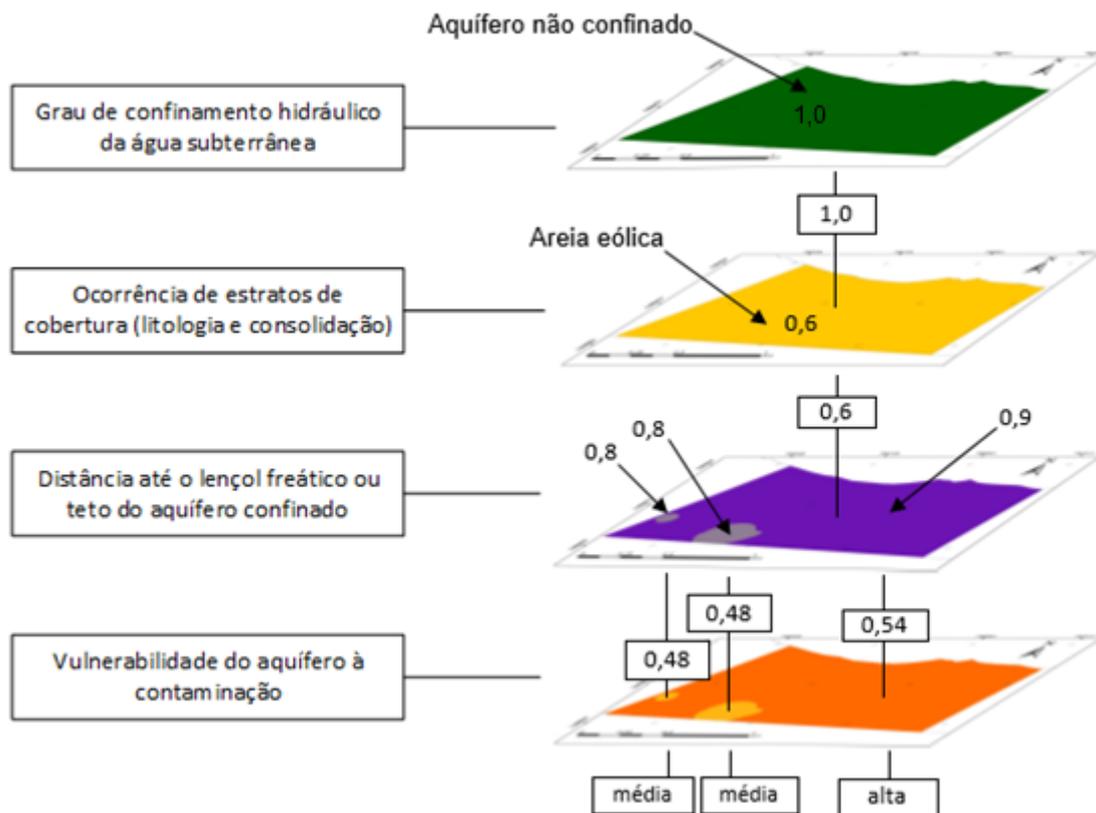
Fonte – Autor, 2018

De acordo com Cavalcante e Gomes (2011), o nível d'água do lençol da região pode ser classificado como raso (Freático) já que a profundidade do nível estático encontrada na área de estudo é inferior a 15 metros.

Kalaoum (2016), em seu estudo utilizando o método GOD no município de Queimados/RJ, também atribuiu o valor igual a 0,9 para o nível estático que variou de 0 a 4,68 metros. A autora destaca que os aquíferos do tipo freáticos apresentam um maior risco a contaminação devido a zona vadosa pouco espessa devido as baixas profundidades do lençol.

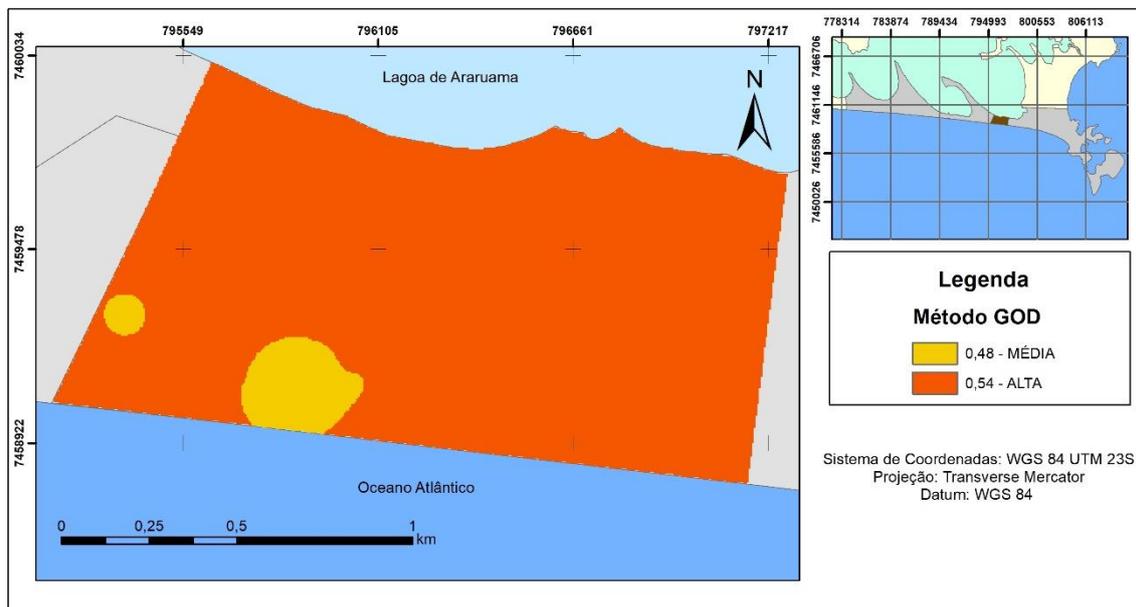
6.1.4. Vulnerabilidade do aquífero

A interação entre os três mapas temáticos (G x O x D), assim como a multiplicação dos parâmetros e o mapa de vulnerabilidade estão representados no fluxograma metodológico utilizado para a avaliação de vulnerabilidade através do método GOD.



A Figura 23 apresenta a interação dos mapas temáticos concernentes aos três parâmetros do método GOD resultando no mapa de vulnerabilidade pelo método GOD.

Figura 23 - Mapa de Vulnerabilidade do aquífero pelo Método GOD



Fonte – Autor, 2018

A interação dos parâmetros pela metodologia GOD gerou índice variando de 0,48 a 0,54 que podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Índice de vulnerabilidade GOD para a área de estudo.

Parâmetros			Índice GOD	Área (Ha)	Área (%)	Intervalo de Classe
G	O	D				
1	0,6	0,9	0,54	8,30	5,26	Alto
1	0,6	0,8	0,48	149,44	94,76	Média

Os resultados obtidos com o método GOD apontam que 149,44 ha da área de estudo apresenta classe de vulnerabilidade alta, o que corresponde 94,76% da área de estudo. Enquanto 8,30 ha apresenta classe vulnerabilidade mediana, correspondendo a 5,26%. Como citado anteriormente, a vulnerabilidade é justificada pela natureza livre do aquífero com constituição basicamente arenosa, as diferentes profundidades do nível estático do aquífero contribuiu para a variação entre média e alta, pois quanto mais próximo a superfície o nível d'água mais vulnerável será o aquífero. Esse resultado evidencia a necessidade de desenvolvimento de políticas de proteção e monitoramento das águas subterrâneas.

De acordo com Foster et al. (2006) definir que um aquífero apresenta vulnerabilidade alta, corresponde afirmar que o aquífero é vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação. Já aquíferos com vulnerabilidade moderada (média) são vulneráveis a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados. Ainda segundo Foster et al. (2006), quando é identificado que o aquífero possui vulnerabilidade moderada ou classe superior, é surgindo incluir medidas no planejamento de uso e ocupação das terras.

Araújo (2014) utilizando metodologia GOD aplicada ao aquífero Dunas na região de Porto das Dunas – Aquiraz/CE, obteve um mapa de vulnerabilidade onde os índices variaram de média a alta em função da profundidade do nível estático (parâmetro variável), apresentando vulnerabilidade média em grande

parte da área de pesquisa (76%) e vulnerabilidade alta na porção leste, próximo a linha da costa, devido à presença de um nível estático mais raso.

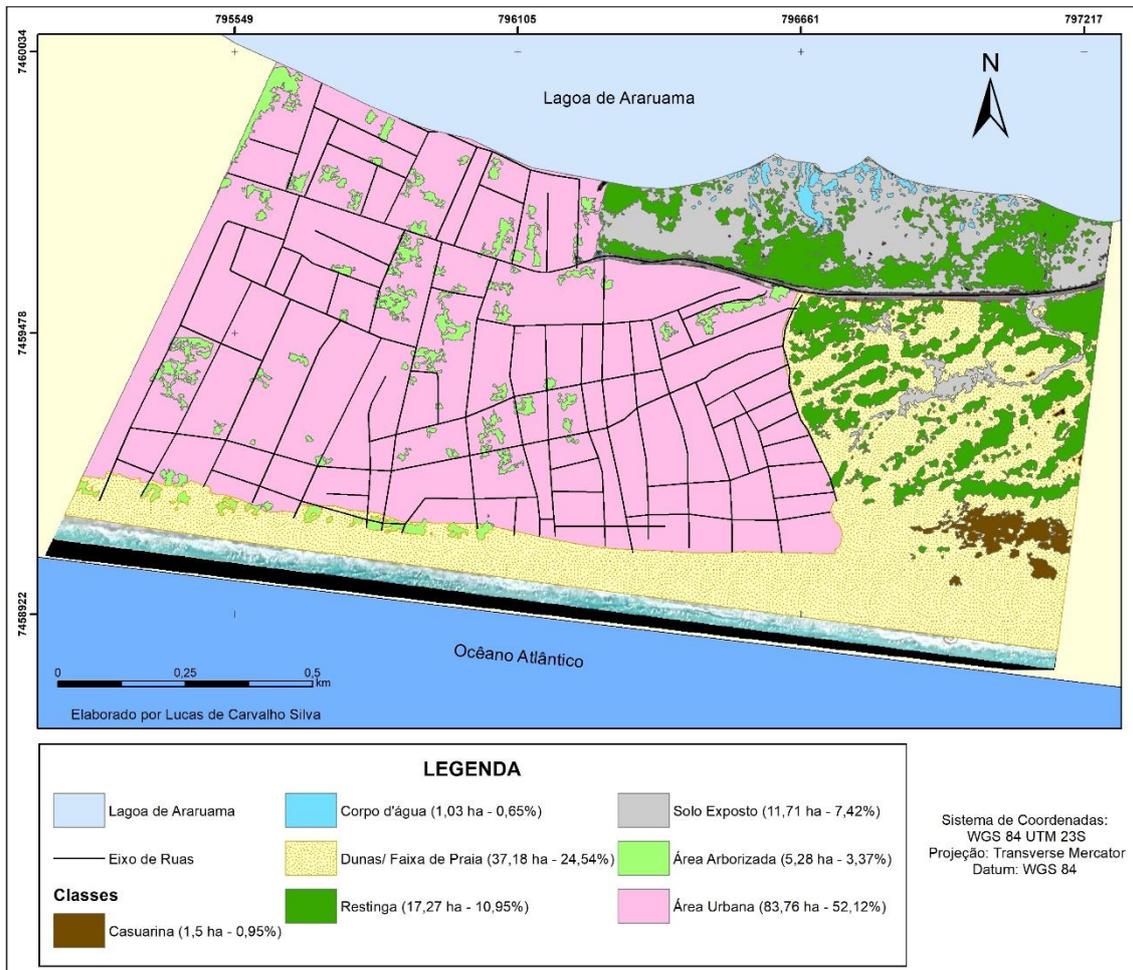
Rocha (2004) aplicando o método GOD, observou que o município de Campos dos Goytacazes/RJ apresenta vulnerabilidade com classes variando de baixa a extrema. Áreas que apresentaram características da zona não saturada com materiais mais permeáveis receberam classes de vulnerabilidade que variaram de alta a extrema.

Conforme Feitosa e Manoel Filho (1997), os aquíferos livres são muito comuns e explorados pela população já que apresentam baixa profundidade, viabilizando a sua exploração. Porém, essa mesma condição confere-lhes uma maior vulnerabilidade intrínseca, ou seja, esses aquíferos são, naturalmente, mais desprotegidos já que possuem maior acessibilidade à penetração de contaminantes em comparação com aquíferos confinados.

6.2. USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS

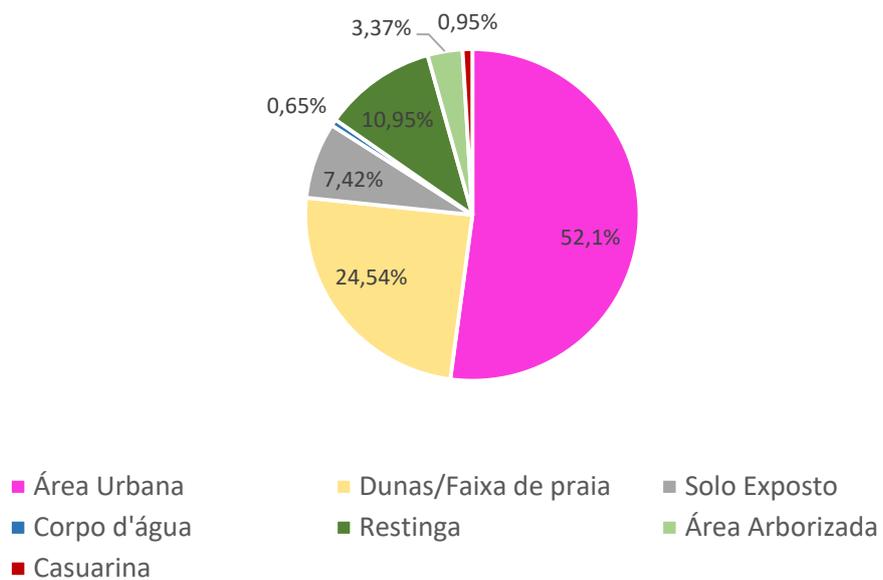
Para a realização da compartimentação da área de estudo, considerou sua área efetiva de 157,72 ha. As categorias de uso e cobertura do solo delimitadas no processo de vetorização resultaram em um mapa de Usos e Ocupação do solo que está estruturado em hectare das respectivas classes de uso (Figura 24).

Figura 24 - Uso e Ocupação das Terras - Monte Alto



Fonte: Autor, 2018

Gráfico 1 - Área ocupada na região de estudo



Fonte: Autor, 2018

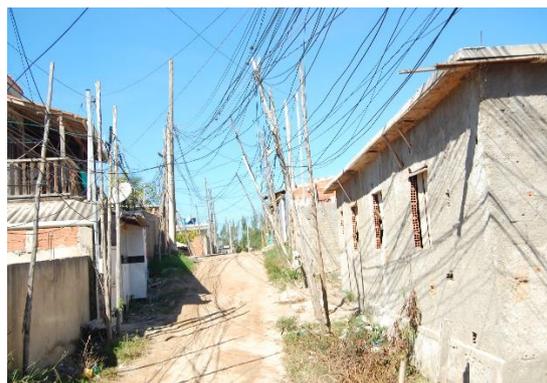
A área de estudo é dividida em 3 grandes categorias, além de outras 4 menores. A área urbana concentra 52,12% (83,76 ha) do total da área de estudo, consiste em uso restrito a moradia e comércio em geral, além de apresentar um certo nível de degradação ambiental com menores possibilidades de preservação. Segundo Terra (2012), O núcleo urbano foi se desenvolvendo sobre as dunas e faixas de praia, ocasionando danos ao meio ambiente, visto que as construções e aterros realizados acarretavam na remoção de vegetação fixadora de dunas, além do desmonte/remoção das dunas.

As Figuras 25 e 26 mostram como foi dado o desenvolvimento da área de estudo, o avanço das construções sobre as dunas e restingas nos anos de 2011 e atualmente.

Figura 25 - Área de Estudo, Monte Alto em 2011



Figura 26 - Área de Estudo, Monte Alto em 2018



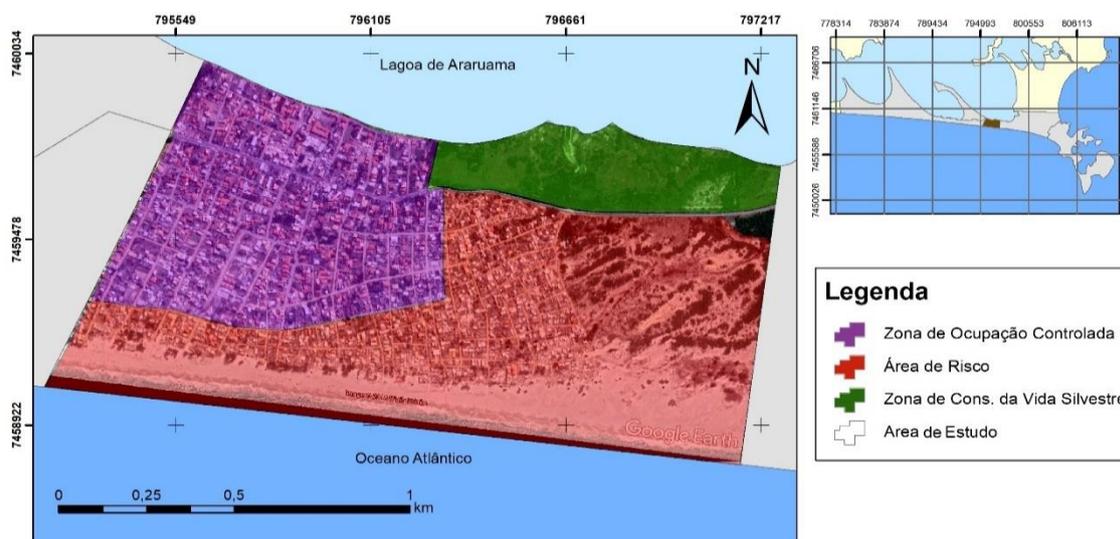
Fonte – Acervo do autor

As áreas de dunas e faixas de praia representam 24,54% (37,18 ha) da área de estudo, e servem como proteção contra a ação de tempestade, contra o avanço do nível do mar, são responsáveis pela manutenção do ecossistema, além de contribuir para a recarga e o aumento das reservas renováveis e permanentes dos aquíferos. As áreas de restinga abrangem uma área de 17,27 ha (10,95%), e também possuem papel fundamental na conservação dos aquíferos costeiros na região, já que quanto maior a densidade florestal maior é o volume de infiltração.

O poder público vem buscando meios para frear o avanço dos loteamentos desprovidos de infraestrutura mínima, ou em desconformidade com a legislação urbanística e ambiental. Pela Lei 1.715 de 04 de julho de 2011 que altera

dispositivos da Lei 1.512, de 20 de março de 2007 (Lei de Uso e Ocupação do Solo). A figura 27 apresenta o recorte do Zoneamento Urbano do Município de Arraial do Cabo conforme estabelecido pela Lei municipal 1.715/11. O recorte da área de estudo está inserido em 3 zonas distintas, Zona de Conservação das Vida Silvestre, Zona de Ocupação Controlada e Área de Risco.

Figura 27 - Recorte do Zoneamento Urbano do Município de Arraial do Cabo



Fonte - Modificado de Prefeitura Municipal, 2011

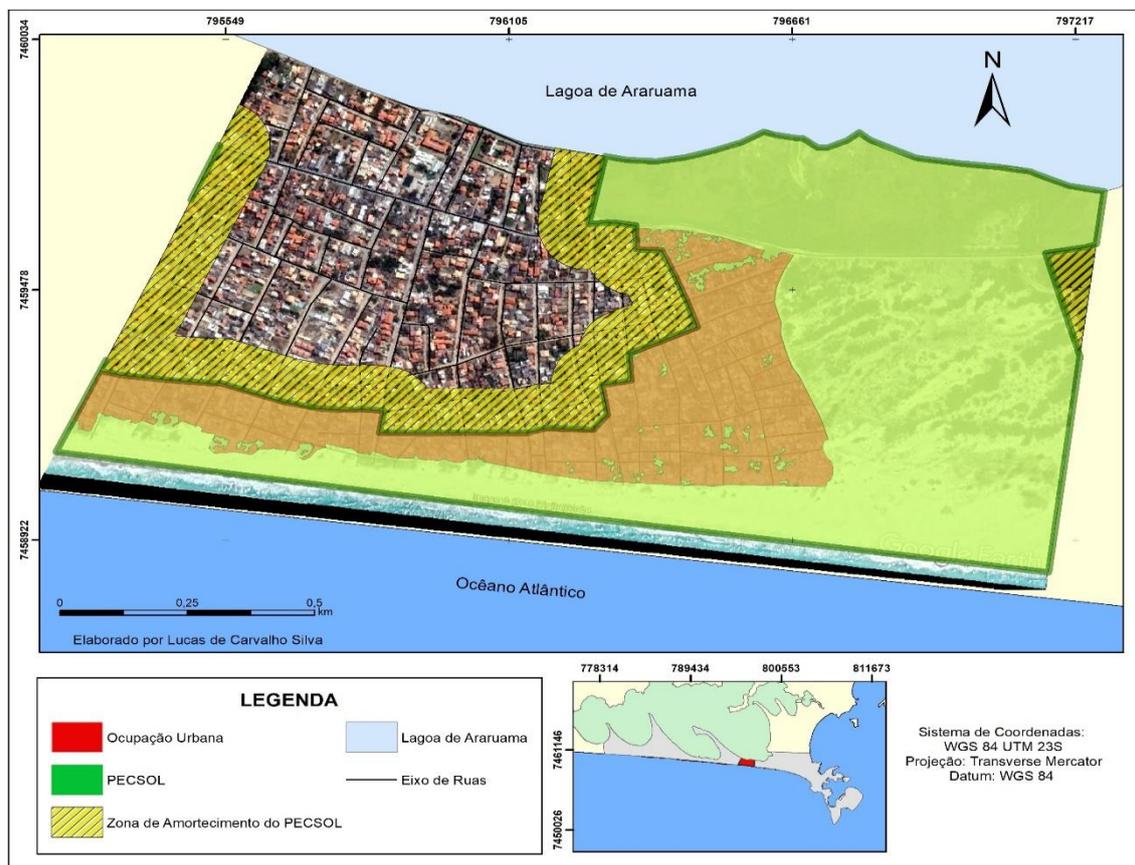
Pela Lei 1.715 de 04 de julho de 2011 que altera dispositivos da Lei 1.512, de 20 de março de 2007 (Lei de Uso e Ocupação do Solo), o município define Áreas de Risco, como:

Áreas de Risco (AR) – são áreas impróprias à ocupação humana, por serem locais de alta declividade, sujeitas à inundação, alagamentos, erosão, ressaca e outros fenômenos da natureza que ponha em risco a vida das populações humanas.

Apesar de representar um importante instrumento de conservação ambiental, o processo de elaboração da proposta do PECSOL aparentemente não levou em consideração as ocupações no Distrito de Monte Alto. De acordo com a proposta de Lei nº 1546/16 (ALERJ, 2016) que propõe modificação nos limites do PECSOL, o grupo de estudo que trabalhou com a demarcação do PECS na área de Monte Alto utilizou imagens de 2004 como referência. Na época a linha de corte que preservava as áreas densamente ocupadas pela população foi excluída para que não houvesse despejo, porém, a situação era

totalmente diferente da realidade de 2011 quando o decreto foi assinado, em 2011 a comunidade do entorno de Monte Alto já havia se expandido, ficando inserida dentro da área do PECSOL (Figura 28).

Figura 28 - Mapa de Ocupação Urbana na área do PECSOL



Fonte: Autor, 2018

O processo de ocupação das áreas de risco e de preservação ambiental representa 27,34% (25,79 ha) da área total do PECSOL nesta região. As construções ali instaladas apresentam condições de saneamento básico precárias e ligações clandestinas de energia elétrica. Nestes locais, as residenciais fazem uso do sistema fossa-séptica, com disposição final do efluente no solo. Essa situação pode ocasionar a poluição da água subterrânea por coliformes de origem fecal.

A expansão das ocupações sobre essas áreas, acarretam no aumento da demanda pelo fornecimento de água, entretanto, como fazem parte de uma ocupação ilegal, o abastecimento de água na região é feito de forma clandestina e pelo uso complementar de águas subterrâneas extraídas dos poços. A

exploração intensiva das águas subterrâneas pode trazer impactos negativos como rebaixamento acentuado da superfície potenciométrica e, conseqüentemente, elevando o risco de degradação da qualidade da água causada pela salinização do aquífero.

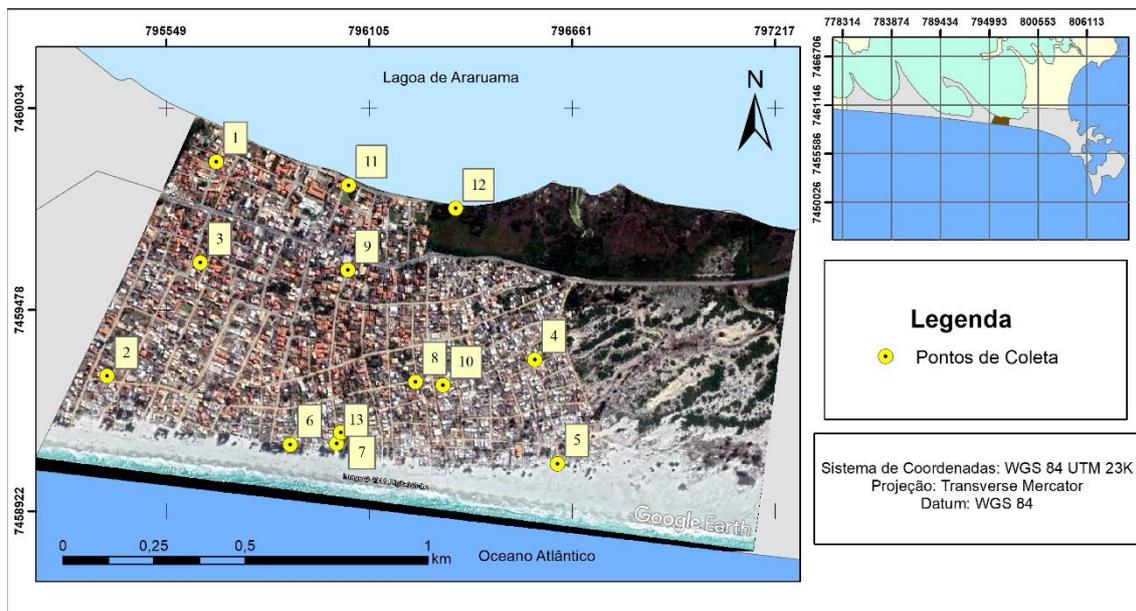
A intensa exploração das águas subterrâneas, principalmente durante o verão, quando se tem um aumento da população devido ao fluxo de veranistas, além do uso predominante de sistemas alternativos de tratamento de esgoto *in situ*, podem ser consideradas as possíveis fontes de contaminação do aquífero.

Tendo em vista que o local de estudo vem sofrendo pressão sobre as áreas de alta e média vulnerabilidade à contaminação, a predominância desse comportamento de fluxo é preocupante devido as características hidrogeológicas da região. A ocorrência de um sinistro pode causar uma contaminação do aquífero, comprometendo a qualidade da água.

6.3. CARACTERIZAÇÃO DOS POÇOS E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os poços da área de estudo são do tipo escavado e possuem um sistema de captação de água por bombeamento. São poços construídos com trado manual que penetram poucas profundidades e revestidos por tubos, na maioria das vezes de policloreto de vinila (PVC). Este tipo de construção é muito difundido para captação de água em lençol freático na periferia das cidades e em áreas rurais. A Figura 29 apresenta os diferentes poços utilizados para esta pesquisa.

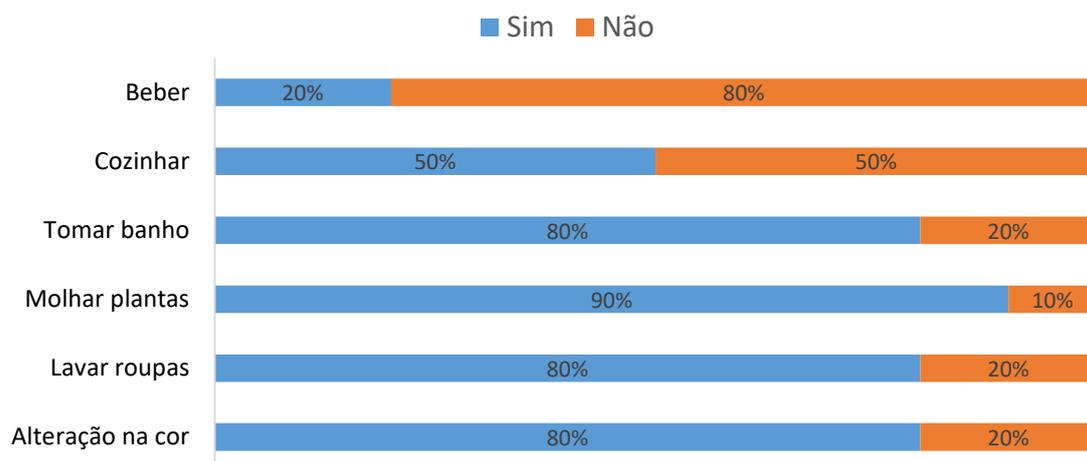
Figura 29 - Área de estudo e os pontos de coleta



Fonte – Autor, 2018

A aplicação do questionário trouxe dados significativos sobre os hábitos higiênico-sanitário dos usuários dos poços na área de estudo. O gráfico 2 traz as respostas obtidas após aplicação do questionário (Apêndice).

Gráfico 2 - Respostas do questionário aplicado aos proprietários dos poços analisados



Fonte - Autor, 2018

Apenas 2 (20%) dos 10 proprietários dos poços analisados na área de estudo revelaram que utilizam água do poço para beber. Durante a aplicação do questionário, foi observado que a maioria das respostas negativas para essa

pergunta poderia estar relacionado a um certo receio do proprietário na hora de revelar que bebe esta água. Nenhum dos dois consumidores afirmam ter tido algum tipo de doenças de veiculação hídrica após consumir esta água.

Com relação a utilização da água para outros fins, 50% afirmaram utilizar a água para o preparo de alimentos. Já 80% dos entrevistados disseram utilizar a água para tomar banho e lavar suas roupas, e por fim, 90% utilizam a água para regar as plantas.

Pode-se observar que 80% dos entrevistados disseram que a água apresenta uma cor amarelada. Este aspecto físico está associado com a qualidade da água, pois se espera que a água seja transparente, sem cor e sem cheiro. A alteração na cor da água pode ter relação com a presença de alguns íons metálicos ou até devido a contaminação das fossas sépticas das residências.

Mesmo apresentando uma coloração amarelada, os entrevistados consideraram que água subterrânea é de boa qualidade. Esse comportamento, segundo Seoane (1988) está relacionado a utilização dessas águas por longos períodos sem a ocorrência de problemas evidentes, somado ao bom aspecto da água, que proporciona aos usuários uma sensação de pureza. Isso impede que os consumidores tratem essa água, pelo menos por um processo de desinfecção.

Com relação à forma de abastecimento domiciliar, 50% das residências visitadas possuíam abastecimento feito pela rede pública, os outros 50% possuíam abastecimento clandestino. Foi relatado pelos entrevistados que devido ao aumento significativo da demanda nos períodos de alta temporada, costuma-se faltar água nas residências.

Segundo Ayach et al. (2009), mesmo nos domicílios que são abastecidos pela rede pública, por questões econômicas e culturais, é comum a utilização de água de poço. Não existindo por parte do poder público, de qualquer tipo de orientação por meio de campanhas ou programas educativos, relacionados aos cuidados que devem ser tomados com os poços e com relação à deposição de lixo e esgoto doméstico no entorno.

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos das análises físico-químicas e microbiológicas das águas dos poços da área de estudo. Os resultados serão comparados a valores máximos permitidos (VMP) pela Portaria nº 2.914, de 12

de dezembro de 2011 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

Tabela 6 - Apresentação dos parâmetros analisados na pesquisa

Parâmetros/ Pontos	pH	CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$	STD (ppm)	Dureza (mg L^{-1} CaCO_3)	Col. Totais	E.Coli	Profundidade (m)
1	6,51	858	429	930,00	Ausente	Ausente	2,5
2	6,56	872	436	658,67	Ausente	Ausente	5,1
3	*	*	*	*	*	*	3,6
4	6,77	727	363	706,67	Presente	Ausente	3,4
5	6,71	670	335	381,33	Ausente	Ausente	4,2
6	7,86	947	474	994,67	Presente	Ausente	6
7	7,45	1315	658	1125,33	Presente	Ausente	5,2
8	7,39	477	238	941,33	Ausente	Ausente	3
9	7,05	1064	532	1006,67	Ausente	Ausente	3,3
10	7,25	741	379	659,33	Presente	Presente	3
11	7,09	1062	531	1222,00	Presente	Ausente	1,6
12	*	*	*	*	*	*	1
15	*	*	*	*	*	*	4,9
Média	7,13	873,30	436,00	815,00	-	-	
Dev. Padrão	0,41	238,06	119,31	223,05	-	-	

*Não foram analisadas por problemas técnicos

O pH representa a concentração de íons H^+ na água, dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água devido à presença de sólidos e gases dissolvidos (MANZIONE, 2015). Nos poços estudados, os valores de pH indicaram águas variando entre 6,51 e 7,86 e valor médio de 7,13. Esses valores indicam que as águas subterrâneas dos poços analisados podem ser consideradas pouco ácidas ($\text{pH} < 7$) e pouco básicas ($\text{pH} > 7$), tendendo a neutralidade ($\text{pH} = 7$). Neste estudo, 100% das amostras analisadas estão dentro do padrão da Portaria nº 2914/11 do Ministério da saúde, que recomenda os valores de pH entre 6,0 e 9,5.

Os valores de dureza variaram de 1125,33 a 381,33 mg.L^{-1} de CaCO_3 , tendo um valor médio igual a 815,00 mg.L^{-1} . Todas as amostras apresentaram valores superiores ao estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da saúde, 500 mg.L^{-1} CaCO_3 . De acordo com CUSTÓDIO e LLAMAS (2001) as águas com concentrações acima de 200 mg.L^{-1} de CaCO_3 são classificadas como muito

dura. A dureza indica a presença de sais de cálcio e magnésio ou ainda metais bivalentes.

Águas muito duras podem possuir sabor desagradável, produzir efeitos laxativos (BRASIL, 2006), além de reduzir a formação de espuma, o que implica em um maior consumo de sabões e xampus, também pode vir a provocar incrustações nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, devido à precipitação dos cátions em altas temperaturas e está associada a formação de cálculos renais (ALVES, 2007).

Como relação aos coliformes totais, das 10 amostras analisadas, 5 (50%) deram positivo para coliformes totais e apenas 10% (1) amostra deu positivo para *Escherichia coli*, que é o principal contaminante fecal. A Portaria nº 2.914/11 estabelece que em água para consumo humano, incluindo fontes individuais como poços, deve estar isenta de coliformes totais e *Escherichia coli*.

Segundo Klock et al. (2014), a presença de coliformes totais, indica problemas nas condições higiênicas do poço, porém, não significa necessariamente contaminação fecal ou ocorrência de enteropatógenos. Por sua vez, o parâmetro *Escherichia coli* indica a “possível presença” de organismos patogênicos, de origem entérica, na água. Este parâmetro procura apenas evidenciar a presença de microrganismos de origem intestinal, atestando que água teve contato com fezes de animais de sangue quente.

Conforme a Tabela 6 é possível observar uma predominância das fossas sépticas localizadas próximas aos poços analisados com 90% a uma distância de até 10 metros, sendo que todos os poços possuem uma profundidade inferior ou igual a 6 metros. Somando essas características a um solo com altas taxas de infiltração, a área torna-se um local susceptível a contaminação das águas do lençol freático que abastece os poços rasos.

Silva e Araújo (2003) analisaram amostras de água subterrânea e constataram que o crescimento de *Escherichia coli* está associado a poços rasos com até 10 metros de profundidade.

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) é o conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas num líquido sob formas moleculares ionizadas ou microgranulares. (ARAÚJO et al, 2013). A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos) (GASPAROTTO, 2011).

Em relação aos STD nas amostras, os valores variaram de 658 a 238 PPM a uma temperatura média de 27,4°C, estando, portanto dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria nº 2914/11. O padrão de potabilidade refere-se apenas aos sólidos totais dissolvidos (limite: 1000 mg.L⁻¹), já que esta parcela reflete a influência de lançamento de esgotos. Teores elevados deste parâmetro indicam que a água tem sabor desagradável, podendo causar problemas digestivos principalmente em crianças.

Para efeito da classificação das águas dos poços analisados considera-se a resolução Conama nº357 de 2005 (CONAMA, 2005), para os seguintes intervalos de STD, conforme a Tabela 8. Observa-se que 30% das amostras de água são classificadas como salobras, enquanto 70% são águas doces.

Tabela 7 - Classificação das águas conforme o intervalo de STD

STD	Classificação
0 a 500 PPM	Água doce
501 a 1500 PPM	Água salobra
> 1500 PPM	Água salgada

Fonte - CONAMA (2005)

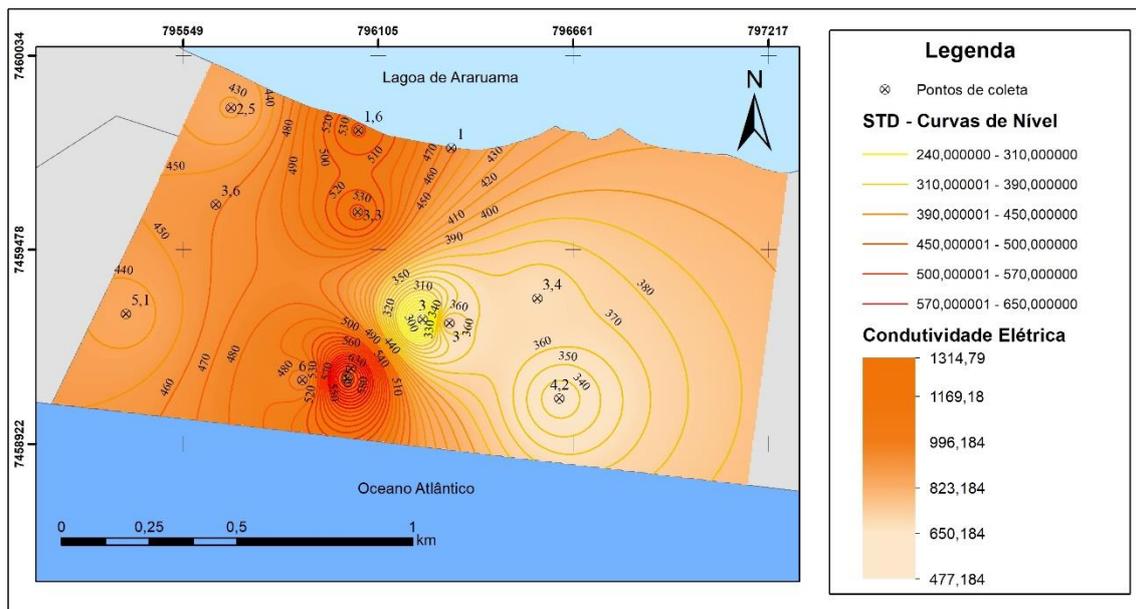
A condutividade refere-se à capacidade que a água tem de transmitir correntes devido aos íons, cátions e aos ânions, dissolvidos na água, sendo um bom indicador da sua qualidade total. Geralmente, infere-se, a partir da condutividade, medidas indiretas de salinidade, que é um parâmetro importante para consumo humano, atividades industriais e irrigação (MANZIONE, 2015), e diretamente proporcional ao teor de sólidos dissolvidos sob a forma de íons.

A Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde não determina um VMP para condutividade elétrica (CE) nas águas, porém, seus valores podem expressar a contaminação pela intrusão salina. Segundo Custódio e Llamas (2001), os valores de condutividade em águas subterrâneas variam entre 100 e 2000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 18 °C, já que na água do mar pode atingir até 45000 $1062 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

A Figura 30 mostra o mapa de isolinhas da distribuição dos dados de condutividade elétrica, obtidos *in situ*, e dos valores de STD das águas subterrâneas analisadas na área de estudo. Os valores variaram entre 1315 a 477 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, obtendo valor médio igual a 873,30 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Os valores mais

elevados foram encontrados no ponto 7 ($1315 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) que também obteve o maior valor de STD (658 PPM), este ponto é o mais próximo ao oceano e também é o ponto que possui o nível freático mais profundo. Os valores encontrados nos pontos 9 (CE $1064 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e STD 532 PPM) e 11 (CE $1062 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e STD 531 PPM) são muito semelhantes e são pontos mais próximos da Lagoa de Araruama.

Figura 30 - Mapa de Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos.



Fonte – Autor, 2018

Nota-se que as águas mais próximas a Lagoa de Araruama e do oceano, possuem valores mais elevados de CE e respectivamente, são águas com maiores níveis de sais.

Cruz (2004) obteve resultados semelhantes em sua pesquisa. Os resultados indicaram que a Condutividade Elétrica geralmente variava com a proximidade do litoral. Em Piratininga (Niterói) foi observada uma variação da condutividade do mar em direção a lagoa. Os quiosques próximos à orla marítima apresentam poços com altos valores de CE, enquanto que as residências próximas à lagoa apresentavam valores bem inferiores, porém igualmente influenciados.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O método GOD se mostrou uma boa ferramenta, haja visto que o método considera apenas 3 parâmetros a serem avaliados. Com auxílio de ferramentas de geoprocessamento foi possível a construção do mapa de vulnerabilidade da área de estudo, obtendo um resultado que apontam que 149,44 Ha da área de estudo apresenta classe de vulnerabilidade alta, o que corresponde 94,76% da área de estudo. Enquanto 8,30 Ha apresenta classe vulnerabilidade mediana, correspondendo a 5,26%. Esse resultado evidencia a necessidade de desenvolvimento de políticas de proteção e monitoramento das águas subterrâneas.

A vulnerabilidade é justificada pela natureza livre do aquífero com constituição basicamente arenosa, as diferentes profundidades do nível estático do aquífero contribuiu para a variação entre média e alta, pois quanto mais próximo a superfície o nível d'água mais vulnerável será o aquífero.

Também foi possível avaliar por meio das ferramentas de geoprocessamento a elaboração do mapa de Uso e Ocupação das Terras, onde identificou-se um avanço das ocupações sobre as áreas de risco e preservação ambiental. Essas áreas estão sujeitas a fenômenos naturais tais como erosão, inundações, alagamentos e etc, podendo vir a comprometer as construções ali instaladas, além de ser uma área de influência direta para preservação da qualidade das águas subterrâneas da região.

As análises de pH e STD apresentaram valores dentro dos padrões recomendados pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde. Os resultados de dureza revelaram que as águas subterrâneas locais são majoritariamente, do tipo "muito dura". Ficou comprovado que os principais riscos são, a intensa exploração das águas subterrâneas, principalmente durante o verão quando ocorre um aumento da população devido ao fluxo de veranistas, podendo ocasionar em problema da disponibilidade hídrica de qualidade potável por causa do processo de salinização devido ao avanço da cunha salina, risco este comprovado pelos altos valores de condutividade elétrica nas áreas mais próximas ao oceano. Assim como, a contaminação pelo o uso predominante de

sistemas alternativos de tratamento de esgoto *in situ*, já que foram encontrados valores positivos para Coliformes Totais e *E. Coli*.

Recomenda-se como proposta para trabalhos seguintes, a elaboração do mapa de vulnerabilidade utilizando métodos mais detalhados como por exemplo o método DRASTIC, e também a realização de análises periódicas das águas subterrâneas em diferentes estações do ano, e que eventualmente sejam analisados outros parâmetros físico-químicos (nitrito, nitrato, cloreto, ferro total) para complementar o acompanhamento da evolução da contaminação dessas águas. Inicialmente havia a proposta de fazer outras análises físico-químicas durante este trabalho, porém, devido aos diversos problemas técnicos e financeiros não foi possível a sua realização.

Recomenda-se que medidas sejam implantadas para reduzir o risco ou escala de poluição das águas subterrâneas pelo sistema de saneamento "*in situ*". Essas medidas incluem o disciplinamento da ocupação territorial e investimento em saneamento básico.

Recomenda-se que o poder público faça o cadastramento dos poços da região para garantir a segurança e racionalidade na utilização da água subterrânea, além de investir em educação ambiental com a finalidade de conscientizar a comunidade sobre a importância da água subterrânea como bem de consumo, instruindo a população a praticarem ações como a utilização de filtros, construção de fossas longe de poços, incluindo medidas de adoção de procedimentos de desinfecção, como por exemplo, a cloração.

8. REFERENCIA

ÁGUAS DE JUTURNAÍBA – Concessionária de Serviços Públicos de Água e Esgoto do Grupo Águas do Brasil. **Diagnóstico do sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Araruama, 2011.

AGÜERO VALVERDE, J.; MESALLES, R. P. **Análisis de vulnerabilidad a la contaminacion de una seccion de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica**. 2002.

AGUIAR, D. B. **Análise Socioambiental do Uso e Ocupação do Solo no Morro do Forno – Arraial do Cabo, RJ**. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) Universidade Federal Fluminense, Niterói. 123p. 2005.

AGUIAR, R. B. **Impactos da Ocupação Urbana na Qualidade das Águas Subterrâneas na Faixa Costeira do Município de Caucaia – Ceará**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 88f. 1999.

ALBINET, M.; MARGAT, J. **Cartographie de la Vulnérabilité á la Pollution des Mappas d’auae Souterraine**. Bulletin du BHRGM, 2^{ème}. Série, Orléans, v. 3, n. 4, 1970, p. 13-22.

ALERJ. PROJETO DE LEI Nº 1546/2016. Disponível em <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/scpro1519.nsf/1061f759d97a6b24832566ec0018d832/4292cce4ee88be7a83257f77004e24f8?OpenDocument>. Acessado em 11 de junho de 2018.

ALIEVI, A. A.; PINESE, J. P. P.; CELLIGOI, A. **Espacialização de concentrações hidrogeoquímicas na água subterrânea da 17ª Regional de Saúde de Londrina-PR**. In: VII Simpósio Nacional de Geografia da Saúde e IV Fórum Internacional de Geografia da Saúde, 2015, Brasília-DF. Saúde e fronteiras: Interações espaciais e saberes, 2015.

ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. A.; PETTY R.; HACKETT, G. **DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings**. US Environmental Protection Agency, USA. 641p. 1987.

ALMASRI, M. N. **Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer, Palestine**. Journal of Environmental Management. v. 88, p. 577–593, 2008.

ALVES, C. **Tratamento de Águas de Abastecimento**. 2ª Edição. Publindústria, Edições Técnicas. Porto. 335p. 2007.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília, ANA, 74 p., 2005.

AUGE, M. **Vulnerabilidad de Acuíferos**. Universidad de Buenos Aires – Departamento de Ciencias Geológicas. Revista Latino-Americana de Hidrogeologia, n.4, p.85-103, 2004.

ARAÚJO, D. S. D.; **Centres of Plant Diversity: a guide and strategy for their conservation. Cabo Frio Region.** p. 373-375. In: Davis, S.D., V.H. Heywood, O. Herrera-MacBryde, J. Villa-Lobos & A.C. Hamilton (eds). Volume 3, The Americas, WWF/IUCN, Oxford. 1997.

ARAÚJO, K. V. **Risco e impactos de poluição nas águas subterrâneas pelo uso e ocupação do solo no Porto das Dunas - Aquiraz/CE.** 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

ARAÚJO, M. C.; SANTOS, F. M. S.; Oliveira, MBM. **Análise da Qualidade da Água do Riacho Cavouco- UFPE.** In: Arminda Saconi Messias; Paulo Fradique. (Org.). *Gestão de água: água, meio ambiente e saúde.* 7ed. Recife: FASA, v, p. 1-905. 2013.

ARRAIAL DO CABO. Lei 1.715 de 04 de julho de 2011 que altera dispositivos da Lei de Uso e Ocupação do Solo 1.512, de 20 de março de 2007.

AYACH, L. R; PINTO, A. L.; CAPPI, N.; GUIMARÃES, S. T. de L. **Contaminação das águas subterrâneas da cidade de Anastácio-MS.** CLIMEP, Rio Claro, V.4. n 1. Janeiro/junho/2009. p.5-26

BARBIERI, E.B. **Cabo Frio e Iguaba Grande, dois microclimas distintos em um curto intervalo espacial.** Niterói: CEUFF, p. 3-13. 1984.

BARBOSA, C. M. S. ; MATTOS, A. . **Conceitos e diretrizes para recarga artificial de aquíferos.** In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, NATAL. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

BARCELLOS, RENATO G.; BARROS, SERGIO R. S.; WASSERMAN, JULIO CESAR. **Disponibilidade de água da bacia do Rio São João para um complexo petroquímico no Estado do Rio De Janeiro, Brasil.** 2011.

BASTOS R. K. X.; BEVILACQUA P. D.; HELLER L.; VIEIRA M. B. C. M.; BRITO L. L. A. **Abordagem sanitário-epidemiológica do tratamento e da qualidade da água: entre o desejável e o possível.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2003.

BERNARDES, A. M. **Uso e ocupação do solo e qualidade da água na bacia do córrego do Engenho, Viçosa, Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas)) - Universidade Federal de Viçosa. 2009.

BISPO, Soraia Conceição. **Análise da variação morfológica das dunas costeiras ativas da reserva biológica de Santa Izabel (se) no período de 1955-2005.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2008.

BORGHETTI, N.; BORGHETTI, J. R; ROSA, E.F.F. **Aquífero Guarani – A verdadeira integração dos países do Mercosul.** Curitiba, 2004.

BRAGA, B. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, 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**. Disponível em: Acesso em: 23 junho 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente Resolução. CONAMA 357, de 17 de março de 2005.

BRITO, V. S. **Vulnerabilidade Natural à Contaminação de Aquíferos no Município de Campo Formoso** – Bahia. 2013. 60 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Curso de Geologia/Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA, 2013.

CABRAL, J.J.S.P. **Boundary Element Method**. In Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Coordenado por Fernando A.C. Feitosa e João Manoel Filho. Fortaleza, CPRM/REFO, LABIH-UFPE, 391p. 2000.

CAMPOS, H.C.N.S. **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do estado de São Paulo**. São Paulo. 1993. 176 p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

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

CAVALCANTE, I. N.; GOMES, M. da C. R. **As Águas Subterrâneas do Ceará: Ocorrências e Potencialidades**. In: Medeiros, C. N. de; Gomes, D. D. M.; Albuquerque, E. L. S.; Cruz, M. L. B. da (Org.). Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades. Fortaleza: IPECE, 2011. Seção III. p. 165-199.

CLEARY, R. W. **Águas subterrâneas**. Princeton Groundwater, Inc. Clean Environment Brasil, Produtos e Tecnologias para o Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.clean.com.br>>. Acesso em: 10 de junho de 2018.

COELHO NETTO, A. L.; SANCHE, M.; PEIXOTO, M. N. O. **Precipitação e interceptação florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Engenharia, v. 4, n. 2, p. 55-71, 1986.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO (CILSJ). Características ambientais – bacias hidrográficas (Lagoa de Araruama). Disponível em: Acesso em: 27 julho de 2018.

CORRÊA, W. B.; FONTENELLE, T. H.; **O Parque Estadual Costa do Sol: Contextualização e Críticas ao Processo de Instituição**. Revista Geonorte, v. Esp VI, p. 1150-1160, 2012.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Serviço Geológico do Brasil. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia do Estado do Rio de Janeiro**. Orgs. Silva, L.C. & Cunha, H.C.S. Brasília, 2001.

CUSTODIO, E.; BRUGGEMAN, G.A. **Groundwater Problems in Coastal Areas - Imprimerie Bietlot Frères**. Flerus, Belgique - ISBN 92-3-102415-9 – UNESCO, 1987.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrología subterránea**. 2. ed. Barcelona, OMEGA, 1200 p. 2001.

CRUZ, A.; SILVA JR., G.C. **Spatial and Temporal Hydrochemical Behavior of Piratininga Coastal Aquifer, Niterói City, Brazil**. First International Joint Salt Water Intrusion Conference (1st SWIM-SWICA). Cagliari - Chia Laguna, Italy. eptember 24-29, 2006.

CRUZ, A. **Estudo hidrogeológico e análise da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos costeiros entre os municípios de Niterói e Rio das Ostras-RJ**. Estágio de Campo IV – Universidade Federal do Rio de Janeiro, CCMN, Instituto de Geociências, 2004.

DI MAURO, ROBERTA. **Parque Estadual da Costa do Sol: recurso potencial para o planejamento turístico da Região Costa do Sol, RJ**; 2016; Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação em Turismo) - Universidade Federal Fluminense.

IG/CETESB/DAEE. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. IG; CETESB, p. 129. 1997.

FEEMA, FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Perfil Ambiental do Município de Arraial do Cabo**. Rio de Janeiro. 1998. 43p.

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

FEITOSA, F. A. C. **Hidráulica de Poços**. In Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Coordenado por Fernando A.C. Feitosa e João Manoel Filho. Fortaleza, CPRM/REFO, LABIH-UFPE, 391p. 2000.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater Pollution Risk: Assessment: a Methodology using Available data**. Lima. World Health Organization. Pan American Health Organization. Centre for Sanitary Engineering and Environmental Sciences. 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R. **Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas**. Una mitología basada en datos existentes. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Programa de Salud Ambiental (HPE). 2ª ed., Perú, 90p. 1991.

FOSTER, S.; 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**. Edição brasileira: Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda, Banco Mundial. 104 p. 2002.

FOSTER, S.; 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. Edição brasileira: SERVIMAR – Serviços Técnicos Ambientais Ltda, 2006. Banco Mundial. 104 p.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP.** Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 90. 2011.

GOMES, R. L. et al. **Estudo ambiental sobre o Parque da Praia do Forno.** (Monografia) Cabo Frio: Fundação Educacional da Região dos Lagos, 36p. 2002

GUEDES JUNIOR, A. **Áreas de proteção ambiental para poços de abastecimento público em aquíferos costeiros.** Florianópolis, 1 v, 184p. 2005.

HIRATA, R. C. A. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudos de casos no Estado de São Paulo.** (Tese de doutoramento Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – São Paulo – SP, Universidade de São Paulo – USP, 210p. (1994).

HIRATA, R. C. A. In: TEIXEIRA, W. et al (Org.) Recursos hídricos. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, p. 15-25. 2000.

HIRATA, R.; FERNANDES, A. J. **Vulnerabilidade à Poluição de Aquífero.** In: Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Org. por Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J.; Feitosa, E. C.; Demetrio, J. G. A., CPRM: LABHID, Rio de Janeiro – RJ, p.405-424. 2008.

HIRATA, R.; REBOUÇAS, A. **La protección de los recursos hídricos subterráneos: Una visión integrada, basada en perímetro de protección de pozos y vulnerabilidade de aquíferos.** Boletín Geológico y. Minero. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. v.110. p.79-92. 1999.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **Cadernos de educação ambiental:** as águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Geológico. São Paulo, 104 p. 2009.

KALAOUM, Jaqueline. **Vulnerabilidade de Contaminação do Sistema de Aquíferos do Município de Queimados-Rj.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 72f. 2016.

KEMERICH, P. D. C.; SILVÉRIO da SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; VOLPATTO, F.; SAUCEDO, E. M. **Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no Bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro em Santa Maria, RS.** Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n.3, p. 85-98, jul/set. 2011.

KLOCK, A. L. S.; GUARDA, J. S.; CELLA, J.; SILVA, Michelle de Liz; KLOCK FILHO, L. P. Qualidade das águas de poços profundos do município de Águas Frias-Sc em relação Portaria 2914 do Ministério da Saúde. In: Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo/SP: Abas, 2014. P. 1-13.

KRUEL, V. S. F.; PEIXOTO, A. L.; ARAÚJO, D. S. D.; SÁ, C. F. C.; SILVA, W. L.; FERREIRA, A. J.; **Plantas úteis da restinga: O saber dos pescadores artesanais de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2006.

LEITE, G. S.; DOURADO, Marcelo.; CANDELLA, R., **Estudo Preliminar da Climatologia da Ressurgência em Arraial do Cabo/RJ**. In: XI ENAPET, 2006, Florianópolis. XI ENAPET amostra de Atividades Petianas, 2006.

LEITE, C. E. S.; MOBUS, G. **Vulnerabilidade natural à contaminação dos Aquíferos da região de rochas sedimentares da bacia do rio Mundaú/Ceará**. Congresso Brasileiro de Água Subterrânea, 10, 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: ABAS, 1998.

LOBO FERREIRA, J. P. C. **Vulnerabilidade à Poluição de Águas Subterrâneas: Fundamentos e Conceitos para uma Melhor Gestão e Protecção dos Aquíferos de Portugal**. In: IV CONGRESSO DA ÁGUA. Anais, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa. 1998.

LOBO FERREIRA J. P. C.; OLIVEIRA, M. M. **Cartografia Automática da vulnerabilidade de Aquíferos com Base na Aplicação do Método DRASTIC**. Relatório final. Lisboa, LNEC. 1997.

LORDELO, L. M. K.; PORSANI, J. M.; BORJA, P. C. **Qualidade físico-química da água para abastecimento humano em municípios do sertão da Bahia: um estudo considerando diversas fontes de suprimentos**. in: REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. v. 32, n. 1 (2018)

LOWSBY, M.G. **Estudo da intrusão salina no aquífero costeiro de Piratininga (Niterói), Região Oceânica do município de Niterói - RJ**. Dissertação de Mestrado, IGEO-UFRJ. 2000.

MANZIONE, R. L. **Águas subterrâneas: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar**. Jundiaí: Paco Editorial, 388 p. 2015.

MUEHE, D. **Distribuição e caracterização dos sedimentos arenosos da plataforma continental interna entre Niterói e Ponta Negra, RJ**. Revista Brasileira de Geociências, 19(1):25-36. 1982.

MUEHE, D.; CARVALHO, V. G. **Geomorfologia, cobertura sedimentar e transporte de sedimentos na plataforma continental interna entre Ponta de Saquarema e o Cabo Frio (RJ)**. Bolm Inst. Oceanogr., S Paulo, v. 41, v.1, pp. 1-12, 1993

MUEHE, D. CORRÊA, C.H.T. **Morfologia e distribuição dos sedimentos na plataforma continental interna entre Saquarema e Cabo Frio**. 1º Simpósio sobre Oceanografia. Resumos. p. 87-58. São Paulo, SP. 1989.

PEREIRA, R.; GUIMARÃES JUNIOR, J. A. **Capacidade de Infiltração nas Dunas de Natal/Capital do RN**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió.

XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Boletim de Resumos. Maceió: ABRH, 2011.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE ARRAIAL DO CABO – RJ. Disponível em - https://pmsblsj.files.wordpress.com/2012/12/apresentac3a7c3a3o-1c2ba-semin-local_arraial_0413_r2.pdf. Acessado em 13 de maio de 2018.

PEREIRA, W. L. C. de M. **Cabo das tormentas e vagas da modernidade: uma história da Companhia Nacional de Alcalis e de seus trabalhadores**. Tese (Doutorado em História/UFF). Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2009.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

ROCHA, S. F. **Análise da vulnerabilidade e risco de contaminação de aquíferos livres em Campos dos Goytacazes – RJ**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 2004.

SANTOS, M. M. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)**. 2005.158 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

SANTOS, M.M. CAETANO-CHANG, M.R.; KIANG, C.H. CELLIGOI, A. **Avaliação da Vulnerabilidade Natural à Poluição Utilizando o Índice Drastic em Área Selecionada na Cidade de Londrina (PR)**. *Águas subterrâneas*, v.20, n.1, p.29-46, 2006.

SANTOS, P. R. P.; Oliveira. **Estudo da Vulnerabilidade à poluição do aquífero Marizal na região de influência do Polo Industrial de Camaçari (PIC) - Bahia**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia. 2010.

SEABRA, V.S. **Utilização de técnicas de geoprocessamento no estudo de vulnerabilidade ambiental dos aquíferos costeiros do leste fluminense**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia - PPGL, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 89 p. 2007.

SEOANE G. A. **Calidad del agua de fuentes p'ublicas e pozos particulares, com especial referencia al Termino Municipal de Vigo**. *Rev Sanid Hig P'blica (Madri)* 1988;62:1303-16.

SILVA JÚNIOR, G. C.; PIZANI, Tiago Carvalho. **Vulnerability assessment in coastal aquifers of Rio de Janeiro state, Brazil**. *Revista Latino Americana de Hidrogeologia*, Curitiba PR, v. 3, n.1, p. 93-99, 2003.

SILVA, R. C. A.; ARAUJO, T. M. **Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA)**. *Rev Ciência & Saúde Coletiva*. Rio de Janeiro. v 8, n4, p.1019-1028. 2003.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Org.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568 p.

TERRA, A. D. G. **Uma janela para o Mar: Ocupação irregular na localidade de Monte Alto, na restinga de Massambaba, em Arraial do Cabo.** XXI Congresso Nacional do CONPEDI/UFF. RJ. 2012.

TREIN, Heinz Alfredo. **A implicação antrópica na qualidade dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do rio Urussanga – SC.** Tese de Doutorado, UNESP / Rio Claro, 149p. 2008.

VON SPERLING, M.; OLIVEIRA, S. M. A. C.; SOUKI, M. I. O. **Wastewater characteristics in a developing country, based on a large survey (166 treatment plants).** In: 5th World Congress of IWA International Water Association, Pequim. Proceedings. Londres: IWA International Water Association. 2006.

VRBA, J.; ZAPOROZEC, A. **Guidebook on mapping groundwater vulnerability.** International Contributions to Hydrogeology, v.16, Hanover, Verlag Heinz Heise, 131 p. 1994.

9. APÊNDICE

Questionário sobre utilização de poços – Pesquisa Lucas Silva – data _/~/_

Identificação:

Nome:

GPS:

- 1- Há quantos anos o poço foi instalado? _____
 - 2- Algum órgão já passou aqui e pediu para fazer análise da água do poço? () sim () não
 - 3- () pH () turbidez () Condutividade elétrica () nível da água do poço
 - 4- Caso positivo resposta 3, O monitoramento foi realizado com frequência semestral?
()sim () não
 - 5- Quantos metros da fossa séptica se encontra o poço perfurado? _____
 - 6- Qual a profundidade do poço? _____
 - 7- Qual o nível da água do poço? _____
 - 8- O poço é revestido? () sim () não
 - 9- Caso positivo. O poço apresenta filtro? () Sim () não
 - 10- O poço possui hidrômetro? () sim () não
 - 11- Você possui outorga/ liberação para utilização da água? () sim () não
 - 12- A água do poço é utilizada para: () beber () cozinhar () tomar banho () molhar plantas
() lavar roupa ()
-
- 13- Para beber/cozinhar, a água é filtrada? () sim () não
 - 14- Para beber/ cozinhar a água é fervida? () sim () não
 - 15- Alguém da sua casa já passou mal por beber esta água?
 - 16- Você percebe alguma dificuldade em retirar o sabão da roupa ou louça quando utiliza esta água?
()sim () não
 - 17- Alguém da casa apresenta hipertensão/ pressão alta? () sim () não