



Artigo Original

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v16n22022p39-56

Submetido em: 14 set. 2021

Aceito em: 26 dez. 2022

.....

***MAPEAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA RASA
ATRAVÉS DE ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO EM CAMPOS DOS
GOYTACAZES***

*QUALITY MAPPING OF SHALLOW GROUNDWATER THROUGH PHYSICAL-
CHEMICAL INDEX IN CAMPOS DOS GOYTACAZES*

*CARTOGRAFÍA DE LA CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SOMERAS MEDIANTE
ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO EN CAMPOS DOS GOYTACAZES*

Cleber de Jesus Santos  <http://orcid.org/0000-0001-5450-2004>

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências, Departamento de Geologia e Recursos Naturais.

E-mail: c264746@dac.unicamp.br

Resumo: A crescente produção e o controle inadequado de resíduos sólidos em áreas urbanas sinalizam para um quadro de risco à contaminação do lençol freático, motivando assim, inúmeras discussões no meio científico acerca dos mecanismos de monitoramento da água em subsuperfície. Nesse contexto faz-se oportuno a uso de metodologias que busquem sintetizar as informações provenientes de diversos parâmetros em um único valor, oferecendo segurança e praticidade no diagnóstico sobre a qualidade do lençol freático. Desse modo, a pesquisa propõe avaliar a qualidade da água subterrânea rasa em toda a extensão do município de Campos dos Goytacazes nos anos de 2013, 2014 e 2015 através do índice físico-químico IQA_{Fis}, visando estabelecer correlações com aspectos da urbanização nessa dinâmica. Para isso, inicialmente selecionamos os indicadores para compor o índice de qualidade físico-químico (IQA_{Fis}). Em seguida catalogamos as análises de laboratório das amostras de água de 164 poços de profundidade entre 8 e 10m. Em seguida, calculamos o IQA_{Fis} referente a cada poço. Posteriormente, realizamos a espacialização dos dados com a elaboração de dois mapas contendo, em cada um deles, o mapa auxiliar com foco no setor central do município. O quadro diagnóstico revela a existência de interação socioambiental danosa aos recursos hídricos subterrâneos, de forma que nas proximidades de construções urbanas são raros os locais onde o lençol freático está totalmente preservado. Por se tratar de uma área de múltiplos usos, como residencial, agrícola, comercial, acaba por expor a região a maiores riscos de contaminação. Destaca-se que, conforme verificado em trabalho de campo, a região possui potenciais agentes poluidores, levando a um maior número de substâncias contaminantes que podem ser liberadas neste ambiente. O estudo está fundamentado nas Portaria 2.914/2011 do Ministério da saúde resolução e nas resoluções 357 e 396/08 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, os resultados obtidos revela um quadro de alterações dos elementos metálicos da água subterrânea rasa, sobretudo em áreas centrais onde temos grande concentração populacional, não sendo recomendada o uso da mesma para a dessedentação humana sem os devidos processos de tratamentos. O presente artigo configura-se num valioso método de pesquisa, seja pontual ou espacial, para identificação dos padrões característicos de qualidade da água. A metodologia estabelecida apresentou resultados satisfatórios no diagnóstico ambiental, seja em uma escala pontual ou mesmo regional, podendo colaborar nas ações de gestão da água subterrânea rasa em meios urbanos.

Palavras-chave: Água Subterrânea. Campos dos Goytacazes. Índice. Físico-química.

Abstract: The increasing production and inadequate control of solid waste in urban areas indicate a risk of groundwater contamination, thus motivating numerous discussions in the scientific community about the mechanisms of monitoring water in the subsurface. In this context, it is appropriate to use methodologies that seek to synthesize information from various parameters into a single value, offering safety and practicality in the diagnosis of the quality of the groundwater. Thus, the research proposes to evaluate the quality of shallow groundwater throughout the extension of the municipality of Campos dos Goytacazes in the years 2013, 2014 and 2015 through the physical-chemical index IQA_{Fis} , aiming to establish correlations with aspects of urbanization in this dynamic. For this, we initially selected the indicators to compose the physical-chemical quality index (IQA_{Fis}). Next, we catalogued the laboratory analyses of water samples from 164 wells between 8 and 10m deep. Then, we calculated the IQA_{Fis} for each well. Subsequently, we performed the spatialization of the data with the elaboration of two maps containing, in each one, the auxiliary map focusing on the central sector of the municipality. The diagnostic picture reveals the existence of socio-environmental interaction harmful to the underground water resources, in a way that in the proximities of urban constructions the places where the water table is totally preserved are rare. Since this is an area of multiple uses, such as residential, agricultural, and commercial, it ends up exposing the region to greater risks of contamination. It is noteworthy that, as verified in field work, the region has potential polluting agents, leading to a greater number of contaminants that can be released into this environment. The study is based on Ordinance 2914/2011 of the Ministry of Health resolution and resolutions 357 and 396/08 of the National Council on the Environment, the results obtained reveal a picture of changes in the metal elements of shallow groundwater, especially in central areas where we have a large population concentration, not being recommended for use for human consumption without the proper treatment processes. The present article is configured in a valuable research method, either punctual or spatial, for the identification of the characteristic patterns of water quality. The established methodology presented satisfactory results in the environmental diagnosis, either in a punctual or even regional scale, being able to collaborate in the actions of shallow groundwater management in urban environments.

Keywords: Groundwater. Campos dos Goytacazes. Index. Physical-chemical.

Resumen: La creciente producción y el inadecuado control de los residuos sólidos en las zonas urbanas indican un escenario de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, lo que motiva numerosos debates en la comunidad científica sobre los mecanismos de control del agua en el subsuelo. En este contexto, es apropiado el uso de metodologías que buscan sintetizar la información de varios parámetros en un solo valor, ofreciendo seguridad y practicidad en el diagnóstico de la calidad del agua subterránea. Así, la investigación propone evaluar la calidad de las aguas subterráneas someras en toda la extensión del municipio de Campos dos Goytacazes en los años 2013, 2014 y 2015 a través del índice físico-químico IQA_{Fis} , con el objetivo de establecer correlaciones con aspectos de urbanización en esta dinámica. Para ello, hemos seleccionado inicialmente los indicadores que componen el índice de calidad físico-química (IQA_{Fis}). A continuación, catalogamos los análisis de laboratorio de las muestras de agua de 164 pozos de entre 8 y 10 m de profundidad. A continuación, calculamos el IQA_{Fis} de cada pozo. Posteriormente, realizamos la espacialización de los datos con la elaboración de dos mapas que contienen, en cada uno de ellos, el mapa auxiliar centrado en el sector central del municipio. El cuadro de diagnóstico revela la existencia de una interacción socio-ambiental perjudicial para los recursos hídricos subterráneos, de modo que en las proximidades de las construcciones urbanas son raros los lugares donde la capa freática está totalmente preservada. Al ser una zona de usos múltiples, como el residencial, el agrícola y el comercial, acaba exponiendo a la región a mayores riesgos de contaminación. Cabe destacar que, tal y como se ha comprobado en el trabajo de campo, la región cuenta con potenciales agentes contaminantes, lo que conlleva un mayor número de contaminantes que pueden ser liberados en este entorno. El estudio se basa en la resolución de la Ordenanza 2.914/2011 del Ministerio de Salud y en las resoluciones 357 y 396/08 del Consejo Nacional de Medio Ambiente, los resultados obtenidos revelan un marco de cambios en los elementos metálicos de las aguas subterráneas poco profundas, especialmente en las zonas centrales donde tenemos una gran concentración de población, no siendo recomendable su uso para el consumo humano sin los procesos de tratamiento adecuados. El presente artículo se configura en un valioso método de investigación, ya sea puntual o espacial, para la identificación de los estándares característicos de calidad del agua. La metodología establecida presentó resultados satisfactorios en el diagnóstico ambiental, ya sea a escala puntual o incluso regional, pudiendo colaborar en las actuaciones de gestión de aguas subterráneas someras en entornos urbanos.

Palabras clave: Aguas subterráneas. Campos dos Goytacazes. Índice. Físico-químico.

1 Introdução

A degradação dos recursos hídricos nos grandes centros urbanos tem gerado diversos problemas ambientais suscitando, motivando assim diversos estudos de monitoramento da água subterrânea rasa que promovam o entendimento atual sobre o estado de preservação deste recurso vital que está inserido em todas as dimensões da atividade humana, incluindo social, ambiental e econômica. Sendo assim torna-se imperioso

propor mecanismos seguros e funcionais de avaliação da qualidade da água subterrânea rasa (ALVES et al., 2010; RODWAN, 2014).

A composição química da água subterrânea reflete o resultado de aspectos geológicos, contexto hidroquímico da zona de recarga, tempo de armazenamento da água e de contribuições relacionadas à atividade antrópica (APPELO; POSTMA, 2004). Em relação aos aquíferos rasos, a condição natural de vulnerabilidade, condicionada pelas formas inadequadas de uso e ocupação do solo e facilidade de acesso, tem provocado diversos problemas ambientais e, não raro, de saúde pública (CHRISPIM, 2016).

Cabe destacar que em áreas urbanas comumente ocorrem problemas associados transformação das águas superficiais (rios, lagos e canais) em depósitos de esgoto; aumento na quantidade e variedade de resíduos sólidos provenientes de atividades domésticas; uso pretérito de fossas rudimentares; além da deposição inadequada de resíduos sólidos diretamente no solo (ALMEIDA; CARNEIRO, 2001; DOS SANTOS; PEREIRA, 2011). Agravantes que promovem alterações hidroquímicas na água subterrânea rasa.

Em condições normais, os solos agem como verdadeiros filtros, retendo micro-organismos, porém, em circunstâncias de intensa deposição de resíduos sólidos, a capacidade de depuração dele torna-se incompatível com o considerável volume a ser degradado. Durante a recarga do lençol freático, a infiltração de água das chuvas favorece o carreamento de contaminantes em direção ao lençol freático, podendo ocasionar a deterioração da água subterrânea rasa (UÇISIK; RUSHBROOK, 1998). Uma vez contaminada, a água subterrânea apresenta uma resiliência ambiental lenta e, por vezes, apresentando custos elevados de remediação (CABRAL; SANTOS, 2006; DE VASCONCELLOS; DA FONSECA, 2017).

Constatando-se a importância da água não apenas em quantidade, mas sim em qualidade, considera-se necessário dimensionar a influência de construções urbanas nas alterações da qualidade da água subterrânea rasa. O uso de variáveis químicas neste dimensionamento consiste no principal desafio a ser enfrentado no presente estudo. Desafio que visa estabelecer discussões e colaborar para o aprimoramento dos mecanismos de gestão destes recursos, colaborando para aprimorar os mecanismos de gestão ambiental.

Os Índices de qualidade da água são propostos visando sintetizar as variáveis analisadas em atribuição qualitativa, de modo que seja possível observar a evolução da qualidade da água no tempo e no espaço e que sirva como indicadores de controle ambiental em um determinado recorte espacial. Deste modo, o objetivo da presente pesquisa é propor um índice de qualidade inorgânica da água (IQA_{Fis}) para avaliar a influência de atividades do cemitério Campo da Paz, localizado em Campos dos Goytacazes/RJ no que se refere à qualidade da água subterrânea rasa.

O IQA_{Fis} consiste numa metodologia funcional e conjunta de avaliação a qual buscou-se incorporar indicadores de contaminação orgânica e inorgânica cujas alterações estão relacionadas a construções

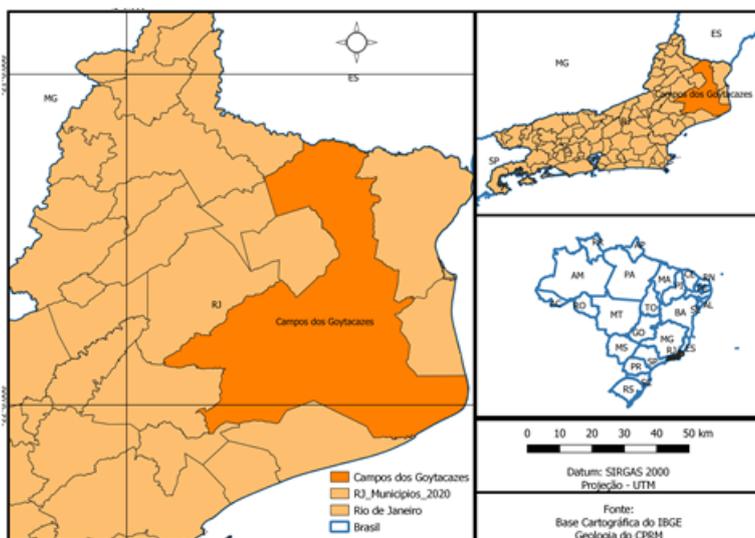
urbanas, destacando os domicílios e cemitérios. O presente índice fez uso do arcabouço matemático do índice de qualidade da água (IQA), desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF) para monitorar corpos hídricos superficiais sujeitos a ação antrópica (JUNIOR; SOBREIRA; BORTOLOTTI, 2007).

Diversas pesquisas destacam a capacidade da análise estatística e modelagem, a partir de dados geoespaciais e hidroquímicos, para identificar e projetar cenários futuros de contaminação da água subterrânea (ALHAMED; WOHNLICH, 2014; AYER et al., 2020). Esta pesquisa objetiva detectar o panorama da qualidade da água no município de Campos dos Goytacazes - RJ, visando ampliar os conhecimentos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos da área no município. Para tal, foi elaborado um índice de qualidade da água com base em parâmetros físico-químicos contidos nos relatórios de 164 poços de profundidade variando entre 8 e 10m. O índice calculado será espacializado, originando mapas referentes aos anos de 2013, 2014 e 2015. Diante dos mapas faremos análises individual e comparativa, estabelecendo qualificação de domínios e correlações com a geologia local.

2 Caracterização da Área de Estudo

O município de Campos dos Goytacazes pertence à mesorregião Norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro, Brasil, possuindo uma área de 4026,696 km²- o maior do estado-, e uma população de 483,970 habitantes (INMET, 2016). Segundo PMCG, (2018), o clima da região é tropical com temperatura média anual de 22,7 °C e precipitações pluviométricas de 1055,3 mm anuais.

Figura 1: Localização da área de estudo, Campos dos Goytacazes - RJ.



Fonte: Adaptado de IBGE, (2002).

Geomorfologicamente, o município possui unidades como a planície fluvial e marinha (36,66% em área), tabuleiros originados dos depósitos terciários da Formação Barreiras (11,4%), colinas suave-onduladas

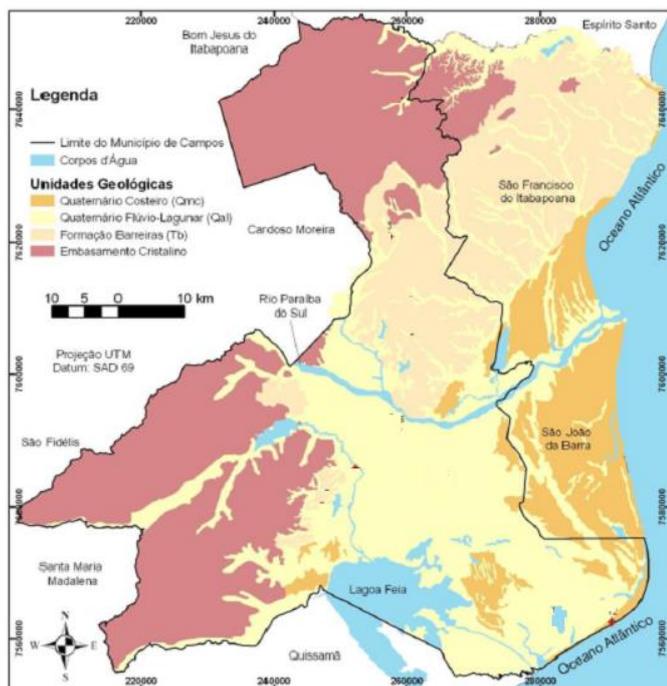
ou mar de morro pertencente ao embasamento cristalino (37,44%) e escarpas de serras (12,4%)(RAMALHO, 2005). Naturalmente, a maioria dos poços utilizados para a presente pesquisa situa-se no setor central do município, uma vasta área de planície com característica argilosa, variando de 5 a 10 metros de altitude.

As tipologias de solos predominantes na área de estudo são: argissolo (podzólico vermelho-escuro eutrófico) - de maior ocorrência nos tabuleiros costeiros; latossolo vermelho – nas áreas oeste e norte do município; neossolo flúvico (solo aluvial) – na área central da cidade; e espodossolos – tornam-se predominantes a medida que se aproxima do litoral. A vegetação presente na região é basicamente secundária, visto que a original foi praticamente destruída pela atividade humana (BARRETO et al., 2000).

O município está inserido no contexto geológico da bacia de campos e pode ser resumida em duas partes: Formação das Rochas do Embasamento Cristalino (Pré-cambriana) e Formação da Bacia Sedimentar (Fanerozóico). As rochas do embasamento cristalino são em sua maioria gnaisses, migmatitos, charnockitos e granitos cuja direção preferencial destas estruturas é NE-SW, com algumas variações locais. A unidade sedimentar do Fanerozóico é composta por sedimentos do quaternário fluvio-lagunar (argilas e siltes de planície de inundação), do quaternário costeiro (areias quartzosas), e do terciário, representado pela Formação Barreiras (sedimentos continentais arenosos e argilosos) (FERRARI et al., 1981).

Hidrogeologicamente, podemos destacar que os principais aquíferos estão contidos nos sedimentos terciários (centro norte) e quaternários (centro sul). Secundariamente temos aquíferos fraturados, localizado no extremo N e SW, ligado a vergência de planos de ruptura de falhas do embasamento cristalino. Nas proximidades da cidade de Campos dos Goytacazes, na margem sul do rio Paraíba Sul, ocorre o aquífero Flúvio-deltáico, um aquífero livre com uma espessura aproximada de 90m. Nas imediações do localidade de Farol de São Tomé ocorre o aquífero emborê com espessura média de 200m. O Aquífero São Tomé tem dois compartimentos distintos contendo águas ferruginosas. Por fim o Aquífero Barreiras, livre e de baixa produtividade (ALBUQUERQUE; OLIVEIRA, 1999) (Figura 2).

Figura 2: mapa Geológico de Campos dos Goytacazes.



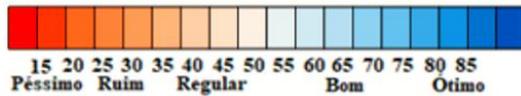
Fonte: Alves et.al. (2010)

3 Metodologia

A pesquisa prescindiu inicialmente da coleta de informações bibliográficas sobre a área em questão seguido da coleta de dados de análise poços rasos que, por sua vez, foram obtidos através da FUNDENOR (Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional). Na sequência, a partir dos parâmetros físico-químicos contidos nos relatórios de poço, desenvolvemos um índice de qualidade físico-química. A metodologia consiste em estabelecer um índice de qualidade físico-química (IQA_{Fis}) que agregue indicadores de contaminação inorgânica de modo a avaliar a disposição espacial da qualidade da água subterrânea rasa no recorte espacial escolhido. Na seleção dos indicadores, foi considerado a estreita relação deles com a ação antrópica contaminadora.

O índice de qualidade da água referente aos metais foi desenvolvido exclusivamente para a presente pesquisa. O IQA_{Fis} é calculado pelo somatório do produto ponderado da qualidade de cada metal na amostra. Na composição do indicador, foi selecionado 10 (dez) elementos, a saber: Pb (chumbo), Al (alumínio), Zinco (Zn), Fe (Ferro), Mn (Manganês), Na (Sódio), Ca (Cálcio), Mg (Magnésio), S (Enxofre) e Cu (cobre). Pesquisas envolvendo avaliação da água subterrânea em áreas contendo passivos ambientais semelhantes a área de estudo, revelaram alterações consideráveis nos teores destes metais em exames físico-químicos, razão pela qual os 10 elementos foram selecionados (MATOS; PACHECO, 2001; PACHECO, 1986). A equação (01) a seguir apresenta a formulação matemática utilizada para compor o índice IQA_{Fis} .

$$IQ_{Fis} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$



Legenda:

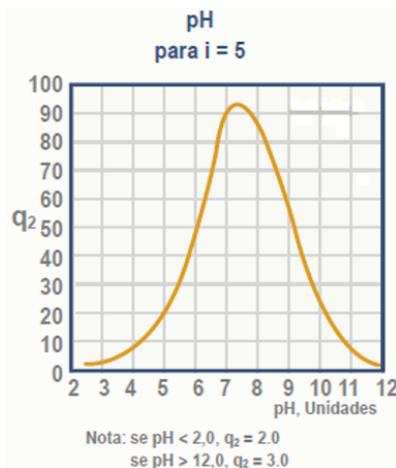
n: número de parâmetros
q: qualidade em cada parâmetro.
w_i: peso referente a cada parâmetro.
IQ_{Fis}: índice de qualidade físico-química.

$$0 < IQ_{Fis} < 100$$

A variável “q” representa a qualidade de cada parâmetro, a saber - pH, Fe, Mn, Na, Ca, Cl, Mg, S, Cu, Zn. A Portaria 2.914/2011 do Ministério da saúde constitui o documento legal que fundamenta a análise, contendo os valores máximos permitidos (VMP) referente a cada parâmetro, assim como a resolução 396/08 do CONAMA. *W_i* é os pesos atribuídos a cada indicador que compõe o *IQ_{Fis}* foram sintetizados através da Análise de Componentes principais (ACP).

O pH (Potencial Hidrogeniônico) representa a quantidade de íons hidrogênio numa determinada amostra. Um indicador que possui relação com a proliferação bacteriana, sendo que o intervalo mais favorável para esta condição ocorre entre 6,5 e 7,5 (SOARES; MAIA, 1999). A portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde sugere que o pH esteja no intervalo entre 6 e 9,5 para consumo humano (Figura 03).

Figura 03: Curva de qualidade referente ao potencial hidrogeniônico (pH).



Fonte: ANA (2005).

A Agência Nacional das Águas (ANA) não estabelece a curva de qualidade para os metais. Sendo assim, a presente pesquisa propõe calcular as qualidades referentes a cada metal individualmente com base nos valores máximos permitidos (VMP) que estão fundamentadas na Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da

Saúde. Essa portaria estabelece os valores de referência que cada metal pode assumir, de modo que preserve o padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

A partir do valor de referência de cada metal será atribuído a qualidade, onde os valores acima do VMP possuem 0% de qualidade, enquanto os valores abaixo do VMP possuem 100% qualidade. A atribuição dos pesos para os metais foi estabelecida a partir da aplicação da técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) sobre o conjunto dos dados sobre o teor de metais na pesquisa. A tabela a seguir apresenta de maneira detalhada informações dos elementos que vão compor o índice IQA_{Fis} .

Tabela 01: Elementos estabelecidos para integrar o indicador Metais, seus respectivos pesos e valores de referência.

Metal	VMP*	Peso	Legenda
Fe	0,3	0,1	*VMP: Valor Máximo Permitido de acordo com a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, Governo Federal. Qualidade referente ao metal na amostra. Teor do metal > VMP: 0% qualidade Teor do metal < VMP: 100% qualidade
Cu	2	0,05	
Zn	5	0,02	
Al	0,2	0,14	
Pb	0,01	0,2	
Mg	150	0,05	
Na	200	0,04	
Mn	0,1	0,16	
Ca	200	0,04	
pH	0,02	0,2	

O procedimento de coleta das amostras de água nos poços foi feito com base na Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (BRASIL, 2016). As amostras destinadas à análise de metais foram armazenadas em recipientes estéreis de 250ml, em cada recipiente foi acrescentado 1ml de ácido nítrico.

O índice de qualidade (IQ_{Fis}) calculado para todos os poços foi utilizado na confecção dos mapas. Estes foram produzidos no software SURFER 11 da Golden Software. Um programa que, dentre outras utilidades, faz mapeamento de curvas de contorno a partir de processos de interpolação em malha regular dos dados de campo. Com base no método da Krigagem o software interpolou os índices de qualidade da água partindo do princípio de que os pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que os pontos mais afastados.

Durante o processamento da imagem optou-se pela krigagem como método de interpolação. A razão da escolha se dá por ser um método no qual a imagem produzida apresenta fidelidade aos dados originais bem como por apresentar melhor precisão geral, de acordo com a análise comparativa de (KRAJEWSKI; GIBBS, 1966). A escala quantitativa está calibrada e equi-espçada na forma de uma distribuição de cores, as quais possuem uma atribuição qualitativa do grau de influência de construções urbanas no lençol freático.

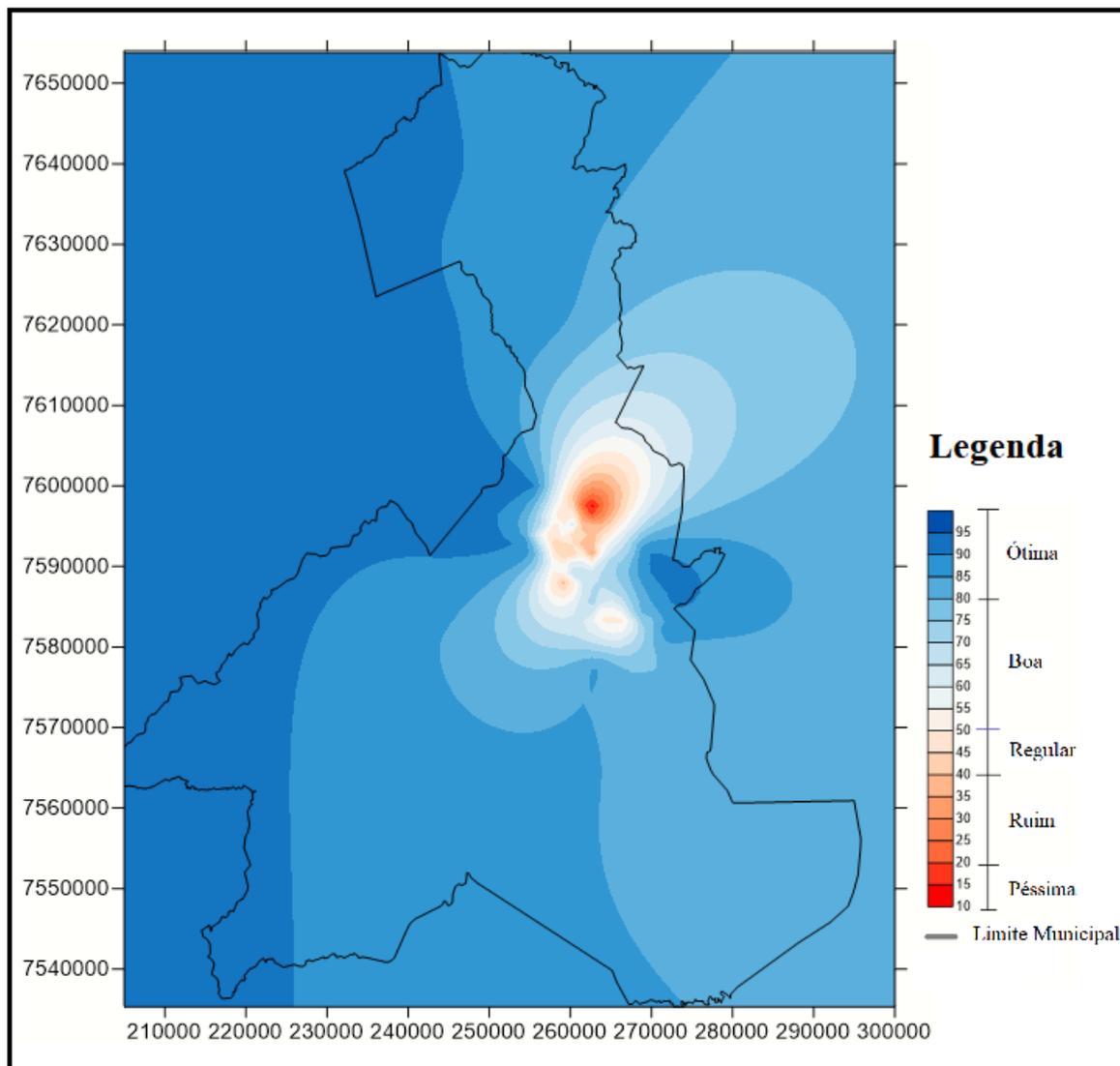
4 Resultados

No âmbito geral, os mapas de qualidade físico-química (Figura 04, 05 e 06) apresentaram alterações consideráveis no perímetro urbano, naturalmente, por ser um espaço onde as alterações no solo ocorrem com maior intensidade. Neste perímetro comumente ocorrem passivos ambientais que, por sua vez, constitui um contexto socioambiental com alto grau de vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos em questão.

O quadro diagnóstico a partir das imagens revela um quadro de interação socioambiental danosa a estes recursos de forma que são raros os locais onde o lençol freático está totalmente preservado. No âmbito geral existem dois domínios característicos, sendo um de boa qualidade correspondente a alguns pontos do setor oeste e norte, contendo distritos rurais no qual a concentração populacional é reduzida. O segundo domínio, ampliado em ambos os mapas, correspondente ao setor central, possui diversos pontos cuja qualidade vai de regular a ruim, característicos de poluição das águas superficiais.

O segundo domínio (Figura 04, 05 e 06), corresponde ao setor central do município, intensamente urbanizados, é onde ocorre maior adensamento populacional e redução considerável da vegetação e solos originais (proteção primeira do lençol freático). No perímetro urbano, a alteração físico-química dos dados, dentre outros fatores, está relacionada à transformação das águas superficiais (rios, lagos e canais), comuns na cidade, em depósitos de esgoto, favorecendo a contaminação do lençol freático nas proximidades destes corpos hídricos, aja vista a íntima relação entre ambos. Estes fatores reduzem consideravelmente o valor do pH destas águas (ANTUNES; FILHO, 2013).

Figura 04: Mapa de Índice de qualidade físico-químico (IQ_{Fis}) referente ao ano de 2013.

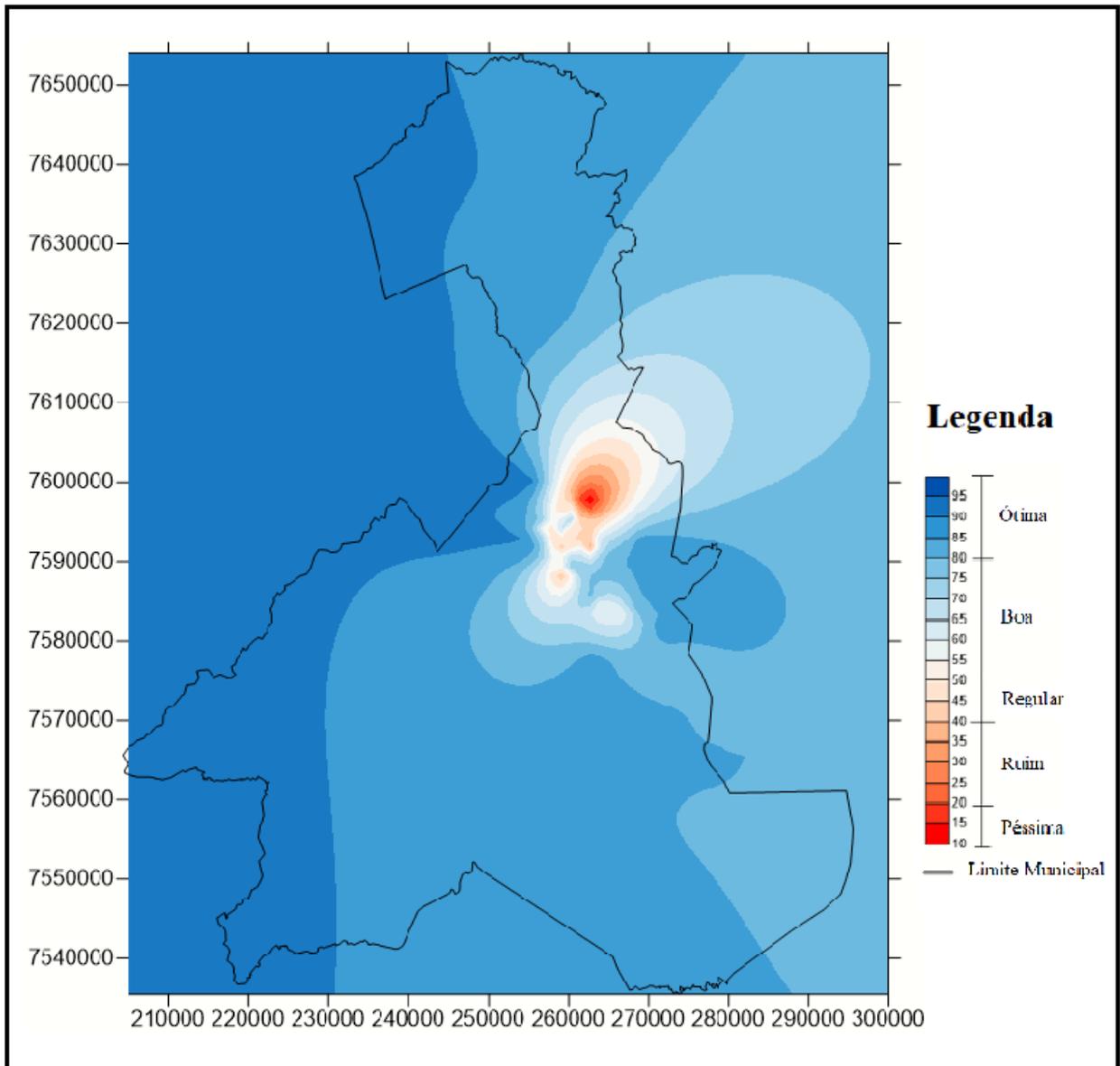


Ainda sobre este domínio, cabe considerar também a influência de estabelecimentos comerciais como postos de gasolina e cemitérios, como fontes diretas de contaminação do lençol freático (ANTUNES; FILHO, 2013). Há ainda fatores associados a falta de infraestrutura e saneamento básico como deposição de lixo em locais inapropriados, uso de fossas sépticas instaladas diretamente na superfície, sem isolamento adequado e vazamentos em tubulações de esgoto.

Para além da zona urbana os mapas (04, 05 e 06) não apresentam consideráveis contrastes de qualidade. Um fato a ser considerado é a baixa densidade de poços fora da zona urbana diante da grande extensão territorial do município de Campos dos Goytacazes. Cabe destacar também a baixa densidade populacional das áreas rurais responde pelo grau de preservação do solo nestas localidades. A partir dos dados mapeados o software, através do método da krigagem, faz interpolação, obtendo o IQA_{Fis} em toda extensão do território.

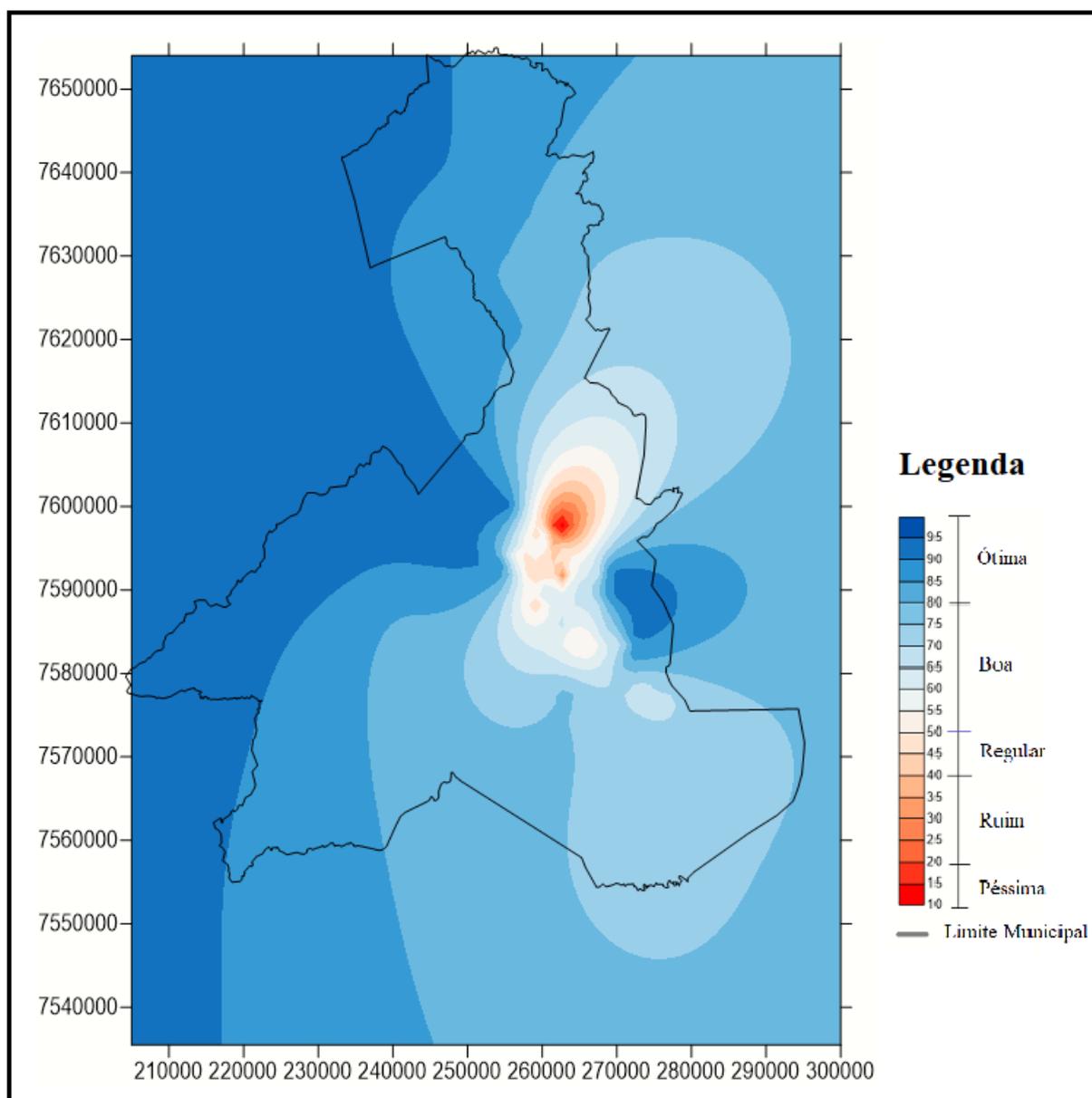
Em 2014 (Figura 05), no setor sul do perímetro urbano, ocorreram alterações na qualidade da água (IQA_{Fis}) em relação ao ano de 2013 (Figura 04), de boa para regular em alguns trechos. A ocupação humana com empreendimentos imobiliários, indústrias e estabelecimentos comerciais implantados nos últimos anos responde por estas mudanças.

Figura 05: Mapa de Índice de qualidade físico-químico (IQA_{Fis}) referente ao ano de 2014.



Alguns parâmetros físico-químicos apresentaram considerável influência nos valores de IQA_{Fis} , sendo que o ferro (Fe) e o pH (potencial hidrogeniônico), em uma quantidade considerável dos dados, apresentou divergência quanto ao valor máximo permitido (VMP) estabelecidos em leis atualmente em vigor no país. O fator hidrogeoquímico, proveniente da interação água/rocha, responde por esta característica visto que os sedimentos do Grupo Barreiras, marcante no município, apresenta-se na forma de sedimentos detríticos intemperizados, contendo argilas de características ferruginosas.

Figura 06: Mapa de Índice de qualidade físico-químico (IQA_{Fis}) referente ao ano de 2015.



A zona urbana apresentou alto grau de detalhamento do IQA_{Fis} em virtude da alta disponibilidade de poços, fato este que permitiu um obter uma imagem com satisfatório detalhamento quanto ao estado de preservação do lençol freático. No geral percebemos que, na zona urbana, são raros os locais nos quais o lençol freático encontra-se com as características hidroquímicas do lençol freático preservadas.

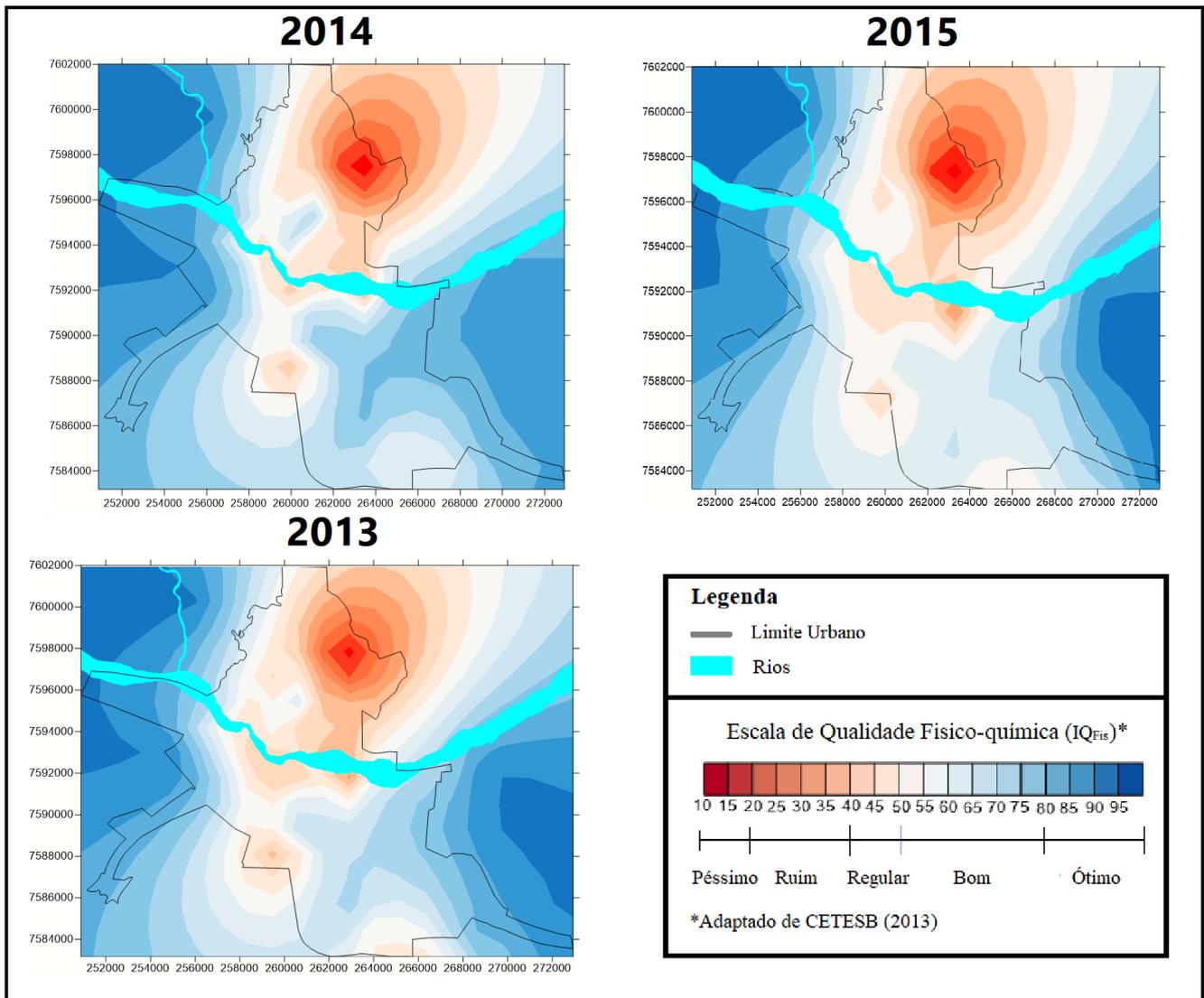
Nos mapas da zona urbana (Figuras 06), nos 3 (três) anos, é perceptível a presença de feições em vermelho, no compartimento norte da zona urbana, sinalizando um padrão característico de alteração danosa. A referida feição encontra-se diretamente associado à ação antrópica na forma de passivo ambiental. O indicativo de baixa qualidade no setor da zona urbana está associado ao bairro da CODIN (Companhia de Distritos Industriais). Além de conter um complexo de indústrias, o bairro possui um antigo local de

deposição direta de resíduos sólidos no solo, sem qualquer tipo de tratamento, forma inadequada de deposição de resíduos sólidos que comprometeu a longo prazo o lençol freático das imediações. Um lixão desativado que funcionou por mais de vinte anos (GONÇALVES, 2018).

Os 3 (três) mapas (Figura 06) detectamos que as principais alterações na qualidade da água ocorreram no setor central da cidade (perímetro urbano). Os baixos valores de IQA_{Fis} estão localizados ao norte do rio Paraíba Sul, local correspondente ao distrito de Guarus. Nesse distrito, as condições deficitárias de saneamento básico, a deposição inadequada de resíduos sólidos em determinados locais bem como a proximidade com lagoas contaminadas por dejetos de esgoto pode estar relacionada a esses baixos índices.

Algumas destas lagoas estão próximas a antigas áreas de cultivo agrícola onde os pesticidas, historicamente utilizados nas lavouras, são carregados através das chuvas até o lençol freático. Conseqüentemente, o corpo hídrico contaminado desaguará na lagoa poluindo-a em períodos de baixo índice pluviométrico. Ocorre o oposto em épocas de alto índice pluviométrico, onde as lagoas contaminadas recarregam o lençol freático, produzindo o recíproco efeito poluidor.

Figura 06: Mapa de qualidade físico-química (IQ_{Fis}) do lençol freático na zona urbana nos anos de 2013, 2014 e 2015.



Em relação aos lençol freático, cabe destacar que a condição natural de vulnerabilidade, condicionada pelas formas inadequadas de uso e ocupação do solo e facilidade de acesso, tem provocado diversos problemas ambientais e, não raro, de saúde pública (CHRISPIM, 2016). Cabe destacar que em áreas urbanas comumente ocorrem problemas associados transformação das águas superficiais (rios, lagos e canais) em depósitos de esgoto; aumento na quantidade e variedade de resíduos sólidos provenientes de atividades domésticas; uso pretérito de fossas rudimentares; além da deposição inadequada de resíduos sólidos diretamente no solo (ALMEIDA; CARNEIRO, 2001; DOS SANTOS; PEREIRA, 2011).

5 Considerações finais

A oferta e a facilidade de acesso ao lençol freático, devido às baixas profundidades de captação, aliado a problemas pretéritos de abastecimento residencial, responde por esta demanda crescente no município.

O nível de análise estabelecido possibilitou o entendimento do panorama municipal da qualidade da água subterrânea em profundidades rasas, tendo como base a análise físico-química de 164 poços num período de três anos (2013, 2014 e 2015). A partir dos estudo apresentado percebe-se que a aplicação do índice melhora o entendimento sobre a natureza do lençol freático.

Destaque para as águas de boa qualidade no setor oeste e norte, em sua maioria distritos rurais, mais especificamente, localizados nas proximidades das regiões de alto relevo. Nestes locais a reduzida influência da ação antrópica, a preservação de alguns remanescentes de vegetação e solos, possibilitam certo grau de preservação do ambiente.

No setor sul do município, rumo ao litoral, ocorre também, em ambos os mapas, indicativo de boa qualidade das águas, porém cabe ressaltar que na espacialização dos dados nesta região, a pouca disponibilidade de dados sinaliza para a necessidade de um maior detalhamento na investigação nestas áreas.

Considerando que se trata de um município de grande extensão territorial, no qual a oferta de dados disponíveis para a presente pesquisa encontra-se adensadas em determinados locais. Cabe salientar que a catalogação de mais poços em regiões de pouco adensamento favorecerá a obtenção de um mapeamento cada vez mais detalhado. Nos estudos onde é possível dispor de uma malha regular de amostragem, a espacialização apresenta alto grau de detalhamento da qualidade da água no lençol freático.

O presente estudo obteve sucesso na medida em que identifica padrões característicos de qualidade da água em toda extensão do município; oferece subsídios para estudos de remediação em aquíferos degradados; apresenta-se como estímulo a novas pesquisas desta natureza; e colabora para o entendimento do estado atual dos corpos hídricos subterrâneos, auxiliando diretamente na promoção de políticas públicas de preservação ambiental em Campos dos Goytacazes.

O índice IQA_{Fis} consiste em uma ferramenta metodológica de uso prático em estudos ambientais para a caracterização de lençol freático, tendo aplicação em diversas circunstâncias como em estudos de monitoramento, ou mesmo em análise técnica periódicas. Caso a técnica seja bem desenvolvida, será um diferencial nas ações para a gestão de aquíferos rasos.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Caderno de Recursos Hídricos - 1: Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. [s.l: s.n.].

ALBUQUERQUE, H. J.; OLIVEIRA, J. E. C. A Importância das Águas Subterrâneas. **Revista Abastece**, v. I, n. 4, 1999.

ALHAMED, M.; WOHNLICH, S. Environmental impact of the abandoned coal mines on the surface water and the groundwater quality in the south of Bochum, Germany. **Environmental Earth Sciences**, v. 72, n. 9, p. 3251–3267, 2014.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Água para o Mercosul no Século XXI. **Ciência Hoje**, v. 24, n. 143, p. 36–43, 2001.

ALVES, M. G. et al. Qualidade das águas de poços rasos provenientes de áreas urbanas e rurais de Campos dos Goytacazes (RJ). **Abas**, v. 1, n. 1, p. 11, 2010.

ANTUNES, O.; FILHO, C. Impacto na qualidade da água do lençol freático pela irrigação com efluente de lagoa facultativa em área cultivada com eucalipto. 2013.

APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. **Geochemistry, Groundwater and Pollution**. 2° ed. London: CRC Press, 2004.

AYER, B. E. J. et al. Hydrosedimentological dynamics in the Guarani Aquifer System, Ribeirão Preto, State of São Paulo, Brazil. **Agriculture and Forestry**, v. 1, n. 66, p. 215–232, 2020.

BARRETO, A. B. DA C. et al. **Estudo geoambiental do Estado do Rio de Janeiro - Higrogeologia do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: [s.n.].

BRASIL. Portaria MS Nº 2914/2011. **Diário Oficial da União**, p. 1–16, 2011.

BRASIL. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**. [s.l.: s.n.].

CABRAL, J. J. DA S. P.; SANTOS, S. M. DOS. **CONSIDERAÇÕES SOBRE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA**. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Anais...**Curitiba: 2006

CHRISPIM, Z. M. P. Análise da Vulnerabilidade e Caracterização Hidrogeoquímica dos Aquíferos Livres Rasos da Parte Emersa da Bacia Sedimentar de Campos. p. 350, 2016.

DE VASCONCELLOS, J. F. S.; DA FONSECA, F. V. Avaliação de custos de sistema de remediação utilizando peroxone para tratamento de etenos clorados. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 4, p. 365, 27 out. 2017.

DOS SANTOS, M. G.; PEREIRA, S. Y. AVI method (Aquifer Vulnerability Index) for groundwater vulnerability classification in Campos dos Goytacazes region, Rio de Janeiro, Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 281–290, 2011.

FERRARI, A. L. et al. **Projeto Carta Geológica do Rio de Janeiro – Bloco Campos**. Rio de Janeiro: [s.n.].

GONÇALVES, V. S. **Mapeamento e identificação dos itens para avaliação da qualidade de serviço de um programa de coleta seletiva**. [s.l.] UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES, 2018.

JUNIOR, R. M. C.; SOBREIRA, F. G.; BORTOLOTTI, F. D. Modelagem geoestatística a partir de parâmetros da qualidade da água (IQA-NSF) para a sub-bacia hidrográfica do rio Castelo (ES) usando sistema de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 3, p. 241–253, 2007.

- KRAJEWSKI, S. A.; GIBBS, B. L. **Understanding Contouring: A practical Guide to Spatial Estimation and Contouring Using a Computer and Basics of Using Variograms**. usa: Gibbs Associates, 1966.
- MATOS, B. A.; PACHECO, A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha , município de São Paulo**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Anais...**2001
- PACHECO, A. Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. **Revista do Sistema de Planejamento e Administração Metropolitana - SPAM**, v. 17, p. 25–31, 1986.
- RAMALHO, R. DE S. **Diagnóstico do Meio Físico como Contribuição ao Planejamento do Uso da Terra do Município de Campos dos Goytacazes** **Diagnóstico do Meio Físico como Contribuição ao Planejamento do Uso da Terra do Município de Campos dos Goytacazes**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2005.
- RODWAN, J. G. Bottled water 2013: Sustaining vitality. U.S. and international developments and statistics. **International Bottled Water Association**, p. 13–22, 2014.
- SOARES, J. B.; MAIA, A. C. F. **Água: microbiologia e tratamento**. Fortaleza: UFC, 1999.
- UÇISIK, A. S.; RUSHBROOK, P. The Impact of Cemeteries on the Enviroment and Public Health. **Waste Management And Soil Pollution by Who regional office for Europe**, v. 01, p. 15, 1998.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (FUNDENOR) pela disponibilização dos relatórios de poço, e à Universidade Federal Fluminense (UFF) pela infraestrutura disponibilizada para a execução da pesquisa.