

Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na caracterização hidrogeoquímica de aquíferos costeiros – Estudo de caso: Distrito de Tamoios, Cabo Frio (RJ)

Ayrton Oliveira Neres¹
Luana Alves de Lima¹
Cassia Lima Cardozo¹
Ludmilla Fernandes Alves¹
Juliana Magalhães Menezes^{1,2}

¹ Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
Rua São Francisco Xavier, 524, 20550-900, Maracanã – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{ayrtonneres, cassia, alveslf, luanalima}@labgis.uerj.br

² Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional
(Curso de Geografia) da Universidade Federal Fluminense - UFF
Rua José do Patrocínio, 71, 28010-385, Centro, Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil
juliana_menezes@id.uff.br

Abstract. The hydrogeochemistry characterization of the groundwater in coastal aquifers has a vital importance to investigate this resource sustainability because the exact knowledge about this real attributes is too necessary to subsidize an efficient management of this. Also the groundwater is a resource with strategic importance because almost seventy percent of the world population needs to extract this in coastal aquifers. This study has as objective to use Geographic Information Systems in hydrogeochemistry evaluation of coastal aquifers located in Tamoios District, Cabo Frio, Rio de Janeiro state. To accomplish this, the field work was conducted with the registering of 30 wells, that were used for spatialization of physicochemical parameters: Electrical Conductivity (EC), Hydrogeoionic Potential (pH), Total Dissolved Solids (TDS) and Temperature. The GIS used was ArcGIS 9.3 desktop. The results indicate a strong salinity of waters in the central portion of the aquifer caused by the presence of artificial lakes created by the sand mining site. The Total Dissolved Solids range from 35 to 1050 ppm (parts per million), despite the maximum value allowed by Brazilian law for groundwater in Resolution nº 396 of CONAMA for human consumption is 1000 ppm, confirming the salinization trend and low quality of waters. It was concluded that the method applied provided satisfactory results and that this research showed the vulnerability to contamination of the local groundwater.

Palavras-chave: groundwater contamination, physicochemical parameters, salinization, water quality, contaminação da água subterrânea, parâmetros físico-químicos, salinização, qualidade da água.

1. Introdução

O quadro de escassez e contaminação dos recursos hídricos superficiais tem elevado a importância da água subterrânea, sobretudo em regiões costeiras, que acolhem em torno de 70% da população mundial extraindo inadequadamente suas reservas hídricas. Tal fato origina o comprometimento da qualidade dos aquíferos costeiros, que além da diminuição e da contaminação gerada pelo avanço da cunha salina, é possível assinalar ainda outras fontes de contaminação originárias do lançamento de esgotos sem tratamento prévio, fossas sépticas, depósitos de lixo, resíduos de animais, dentre outras.

O cenário exemplificado acima se assemelha ao do litoral Estado do Rio de Janeiro, onde até o final do século XX o abastecimento se dava predominantemente por captações particulares de água subterrânea. Mesmo com a ampliação dos serviços públicos de distribuição de água, coleta e tratamento de esgoto realizado por empresas como a Pró-Lagos, Águas de Juturnaíba, Águas de Niterói, CEDAE, não houve ainda uma redução satisfatória da superexploração desses aquíferos.

Dentre os municípios do Litoral Leste Fluminense Cabo Frio é um dos que mais sofrem pressão ambiental causada pela atividade humana, principalmente pelo intenso fluxo de veranistas, estudos já demonstraram que em alguns pontos a qualidade das águas subterrâneas está alterada (Menezes et al., 2008) e uma das áreas mais sensíveis da região é a que compreende o Distrito de Tamoios, 2º Distrito de Cabo Frio. Essa região apresenta peculiaridades que elevam o grau de importância do estudo das águas subterrâneas por apresentarem em seus limites importantes corredores remanescentes de Mata Atlântica, incluindo o Parque Municipal do Mico Leão Dourado (pertencente à Reserva Biológica de Poço das Antas- Rebio, dentro do domínio da APA do Rio São João) e o Parque da Preguiça em vias de legalização pelo governo do Estado. Entretanto a região tem sofrido alterações significativas por ações antrópicas de desmatamento e mineração, onde as atividades de extração de areia deram origem a amplas lagoas artificiais com cerca de dez a oito metros de profundidade (Galiotto, 2008). Esses aspectos configuram a vulnerabilidade desses aquíferos, tornando-se imperativo estudos hidrogeoquímicos que visem diagnosticar a qualidade da água com propósitos de gestão e conservação.

Segundo Gomes (2008), a aplicação da tecnologia SIG (Sistemas de Informação Geográfica) no geoprocessamento de dados relacionados à pesquisa de água subterrânea ganha, a cada dia, novos adeptos no meio dos especialistas, motivados pela versatilidade, facilidade e benefícios que o sistema proporciona.

Dessa forma o presente trabalho visa à utilização de SIG para avaliação hidrogeoquímica a partir de parâmetros físico-químicos medidos *in situ* em poços do aquífero sedimentar que permeia a região costeira do Distrito de Tamoios no município de Cabo Frio. Integra o sub-projeto “Treinamento em Sistemas de Informações Geográficas para análise integrada de questões ambientais de aquíferos costeiros”, vinculado ao projeto denominado “Análise Integrada de Questões Ambientais: Hidrologia e Geofísica” financiado pela CAPES e desenvolvido pelo Laboratório de Geoprocessamento da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – LabGIS/FGEL-UERJ.

2. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se, em torno de 95%, no Distrito de Tamoios pertencente ao município de Cabo Frio, e apenas uma pequena fração no município de Armação dos Búzios. Tamoios é limitado ao Norte pelo Distrito de Barra de São João pertencente ao Município de Casimiro de Abreu, a oeste pelos municípios de São Pedro da Aldeia e Araruama, e ao Sul pelo Município de Armação de Búzios. A principal via de acesso é Rodovia Amaral Peixoto que corta praticamente todo o Distrito (Figura 1).

2.1 Aspectos Fisiográficos

A geomorfologia da área está compreendida na chamada baixada fluminense, caracterizando-se por constituir uma região de relevo profundamente arrasado. Segundo Reis (1998), pode ser dividida em três aspectos morfológicos: tabuleiros e falésias, onde aparece a chamada “Formação Barreiras”, cujas altitudes variam desde o nível do mar até aproximadamente 80m. Por colinas baixas e arredondadas, esculpidas sobre rochas gnáissicas (Complexo Região dos Lagos), de altitudes que variam de 10 e 100m e um terceiro, representado pelas restingas e planícies aluvionares dos Rios São João, Una, e seus principais afluentes com altitudes variando desde o nível do mar até 10m. Segundo Coe et al. (2004), o quadro geomorfológico da região possuiu um regime de sedimentação quaternária que deu forma às planícies costeiras. Segundo Suguio (2003), tais planícies são superfícies deposicionais de baixo gradiente, formados por sedimentação marinha costeira.

Segundo Coe et al., (2007) os solos de Cabo Frio estão condicionados pela influência do fator climático. As áreas de clima mais úmido, localizadas no interior, predominam solos

rasos, e solos mais profundos na transição entre as serras escarpadas e a planície. Os mais representativos são os Latossolos e Argissolos. As planícies apresentam variação entre solos aluvionares e coluvionares.

A região apresenta clima quente e úmido de baixada litorânea, que se aproxima do tipo AW sem inverno pronunciado, com temperaturas variando, em média anual, entre 22,1° e 22,9° e o regime pluviométrico caracterizado pela existência de um período de chuvas no verão e estiagem no inverno (Reis, 1998).

A vegetação, nas áreas de unidades latossolos apresenta cobertura de gramíneas e associações de gramíneas com arbustos e matas. A maior parte da área compreendida por estas unidades passou, e vem passando, por um intenso processo de desmatamento. A existência de alguns núcleos isolados de matas virgens proporciona a indicação de que toda a área, originalmente tenha sido coberta por floresta correspondente à Mata Atlântica. Segundo Galioto (2008) as atividades de mineração de areia na região impunham o fim da restinga local, da mata ciliar e das árvores remanescentes.

Quanto à hidrografia a maior parte da região é drenada pela rede hidrográfica do Rio São João, que desemboca no mar, em Barra de São João. Outra grande parte da área, ao sul, é drenada pela rede hidrográfica do Rio Una, que desemboca na Praia Rasa. Na porção central da área de estudo se insere o córrego Gargoá, afluente do Rio São João, que séculos atrás servia de rota para navegação indígena cortando longitudinalmente o Parque da Preguiça (Galiotto, 2008).

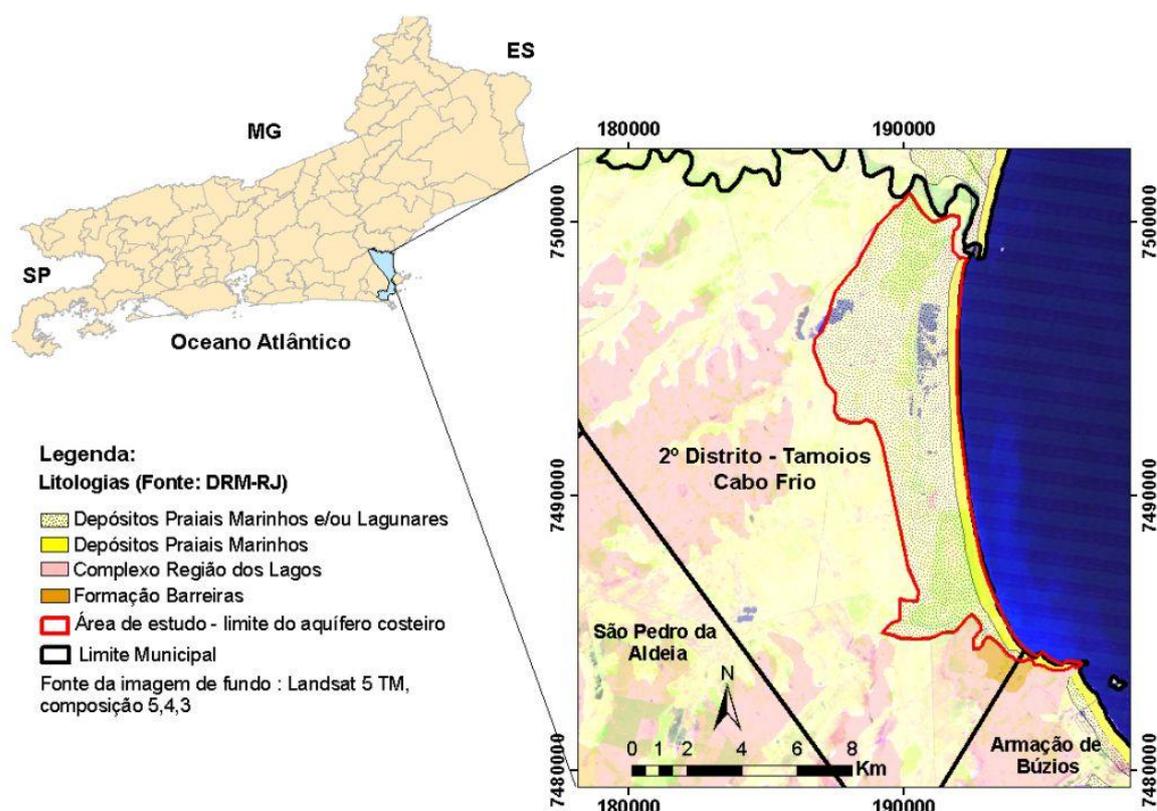


Figura 1. Localização da área de estudo e as litologias associadas.

2.2 Geologia Local

No Distrito de Tamoios afloram rochas correspondentes à Unidade Região dos Lagos (Schmitt, 2001), equivalentes ao embasamento cristalino, recobertos por sedimentos quaternários associados aos depósitos fluviais e costeiros.

Martim et al., (1997) determinaram as principais unidades litológicas correspondentes à sedimentação quaternária costeira de parte da Região dos Lagos onde a distribuição dos depósitos na planície dos Rios Una e São João na região de Tamoios. Os depósitos quaternários (pleistocênicos e holocênicos) da região de Búzios e Tamoios constituem sedimentos continentais (depósitos fluviais e pantanosos); sedimentos arenosos de paleocanais; sedimentos lagunares e de fundo de baía; e areias marinhas litorâneas. Estes últimos exibem morfologia de alinhamentos de antigos cordões litorâneos, como, por exemplo, a planície litorânea dos Rios São João e Una, localmente retrabalhados por ação eólica (dunas). Sendo que na região de Tamoios, predomina a ocorrência de cordões litorâneos holocênicos.

3. Metodologia

A metodologia da presente pesquisa consistiu em três etapas distintas: 1) Trabalhos de campo para coleta de dados; 2) Armazenamento e tratamento de dados em ambiente SIG e 3) Interpretação dos resultados e caracterização hidrogeológica.

3.1. Trabalhos de campo e cadastro de poços

Os trabalhos de campo ocorreram no período de 9 a 13 de agosto de 2010 e tiveram dois objetivos principais: a) Cadastro de poços e b) medição de parâmetros físico-químicos *in situ*: pH, CE (Condutividade Elétrica), T (Temperatura) e STD (Sólidos Totais Dissolvidos).

Foram cadastrados 19 pontos de controle para georreferenciamento da base cartográfica e 37 poços distribuídos por toda a Região de Tamoios correspondente ao aquífero sedimentar, com o objetivo de se obter uma abrangência espacial dos dados e garantir a representatividade local. Os poços registrados são particulares e para a realização do cadastro foi necessário utilizar os equipamentos listados a seguir:

- GPS (Sistema de Posicionamento Global) - Modelo *Garmin eTrex*, para a determinação das coordenadas geográficas dos poços cadastrados e dos pontos de controle;

- Medidor portátil de parâmetros físico-químicos *in situ*, CE (condutividade elétrica), TSD (sólidos totais dissolvidos), pH (potencial hidrogeniônico) e T (temperatura) da marca Hanna Instruments modelo HI98130;

Os pontos cadastrados no GPS foram georreferenciados em coordenadas UTM WGS 84 Fuso 23S e foram descarregados no *software GPS Trackmaker*.

3.2. Armazenamento e tratamento dos dados obtidos em campo em ambiente SIG

A etapa seguinte consistiu no armazenamento dos dados em um banco de dados georreferenciados (BDG) a partir do qual os dados puderam ser espacializados e tratados. Em um primeiro momento foram processados e espacializados os dados obtidos *in situ* em ambiente de SIG (Sistema de Informação Geográfica), com a utilização do *software ArcGIS 9.3.1* da *ESRI*. Foram gerados mapas de isovalores para CE, pH, temperatura, e TDS a partir do uso da ferramenta *Spatial Analyst*, com o emprego de método de interpolação disponível na mesma (*Inverse Distance Weighted*). Dos 37 pontos cadastrados, apenas 30 poços puderam ser utilizados para a espacialização (Figura 2), pois alguns poços não foram amostrados, já que alguns poços estavam lacrados e outros continham pastilha de cloro, fato este que poderia alterar os resultados finais, prejudicando a interpretação.

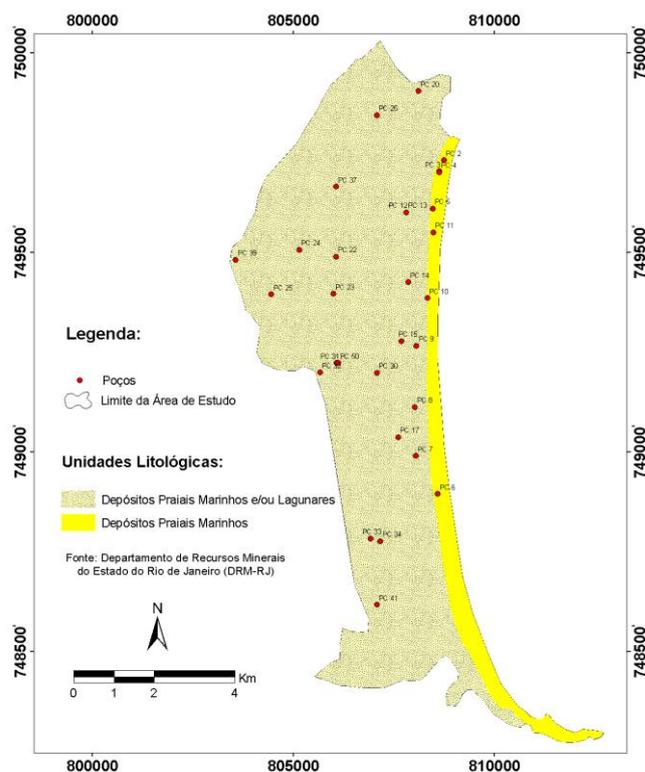


Figura 2. Localização dos 30 poços utilizados na espacialização dos parâmetros físico-químicos

4. Resultados e Discussões

A planície costeira pertencente às Praias de Aquarius, Unamar e Praia Rasa, localizadas no Distrito de Tamoios, Cabo Frio/RJ é constituída por sucessivos alinhamentos de cristas praias, tendo como principal fonte de sedimentos os Rios Una e Barra de São João.

Em termos hidrogeológicos esses sedimentos originam aquíferos do tipo sedimentar granular constituídos por cordões arenosos de idade Holocênica retrabalhados no ambiente sedimentar costeiro e apresentam profundidades rasas que variam de 1 a 5 metros. Estes cordões arenosos estão assentados sobre os possíveis arenitos e conglomerados da Formação Barreiras de Idade terciária que apresentam espessuras que variam de 20 a 50 metros. Limitando as camadas aquíferas ao sul e a oeste se acha o Embasamento Cristalino constituído por ortognaisses e ortoanfíbolitos (Complexo Região dos Lagos) de transmissividade nula que constituem verdadeiras barreiras hidráulicas e a leste o aquífero é limitado pela zona de interface da água doce com a água salgada constituindo uma zona de mescla que permanece em equilíbrio dinâmico. A interface água doce e salgada confere um dos principais riscos de contaminação dos aquíferos da região por salinização das águas. A principal recarga desses aquíferos se dá por águas pluviais e fluviais com contribuições hídricas significativas do Rio São João e do Rio Una.

Com base nos 30 poços incluídos no Banco de dados geográficos, foram gerados mapas de isovalores dos parâmetros físico-químico obtidos. As Figuras 3A, 3B, 3C e 3D apresentam os mapas de isovalores para CE, T, TDS, e pH, respectivamente.

A condutividade mede a facilidade de uma água em conduzir corrente elétrica, estando diretamente ligado com o teor de sais dissolvidos na água (Santos, 2000), parâmetro fundamental para indicar a possível contaminação da água por pelo avanço da cunha salina. Em contrapartida o parâmetro igualmente medido *in situ* Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) constitui a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água correlacionando-se diretamente com a condutividade elétrica. No mapa resultante é possível

observar maiores valores de CE na porção central do aquífero, em detrimentos das regiões limítrofes com o Rio São João e Rio Una. Esse fato pode ser explicado pela salinização das águas na região próxima aos lagos artificiais.

Os Sólidos Totais Dissolvidos apresentam valores que variam de 35 a 1050 ppm, sendo que o Valor Máximo Permitido (VMP) pela legislação na Resolução nº396 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) para consumo humano é de 1000 ppm. Evidencia, dessa forma, a forte contaminação dessas águas que circulam no sistema lagoas artificiais-aquífero. Outra evidência que pode justificar a salinização na porção central é de que as lagoas artificiais propiciam o afloramento do lençol freático, onde as águas do sistema aquífero granular apresentam seu fluxo em direção às lagoas corroborando para o avanço da cunha salina. O mesmo não ocorre com os poços medidos nas proximidades com os Rios Una e São João, onde existe um grande aporte de água doce, propiciando a diluição dos sais.

O pH é a medida de concentração hidrogeniônica da água, controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons presentes que varia de 1 a 14. Os principais fatores que determinam o pH da água são o gás carbônico dissolvido e a alcalinidade (Santos, 2000). A alcalinidade por sua vez é a capacidade de neutralização de ácidos que a água apresenta, consequência direta da presença de carbonatos e bicarbonatos e forte indicativo de sais minerais dissolvidos na água (Custodio & Llamas, 1983). Essa teoria explica a correlação de valores de pH mais elevados e por isso mais alcalinos coincidirem com as áreas mais salinizadas indicadas pelas taxas de CE e TDS, e por correlação com maiores quantidades de sais dissolvidos.

A espacialização dos parâmetros físico-químicos pH, CE e TDS apresentam de certa forma uma mesma tendência (*trend*) de variação. Os valores de pH mais baixos, inseridos na Região do parque do Mico leão Dourado, podem ser explicados pela maior ocorrência de matéria orgânica presente na água subterrânea onde a decomposição da mesma gera ácidos flúvicos e úmidos que reduzem o pH. No geral as águas subterrâneas apresentam os valores de pH entre 5,5 e 8,5 (Santos, 2000), sendo assim a área de estudo está dentro do padrão, apresentando variações de pH 6 a 8.

A temperatura da água é um parâmetro importante e auxiliou na calibração dos valores de CE, pois quanto maior as temperaturas maiores são os valores de CE. Apresentou uma variação entre 21 a 25° relacionando-se com a T° atmosférica por se tratar de amostras de aquíferos sedimentares costeiros e rasos.

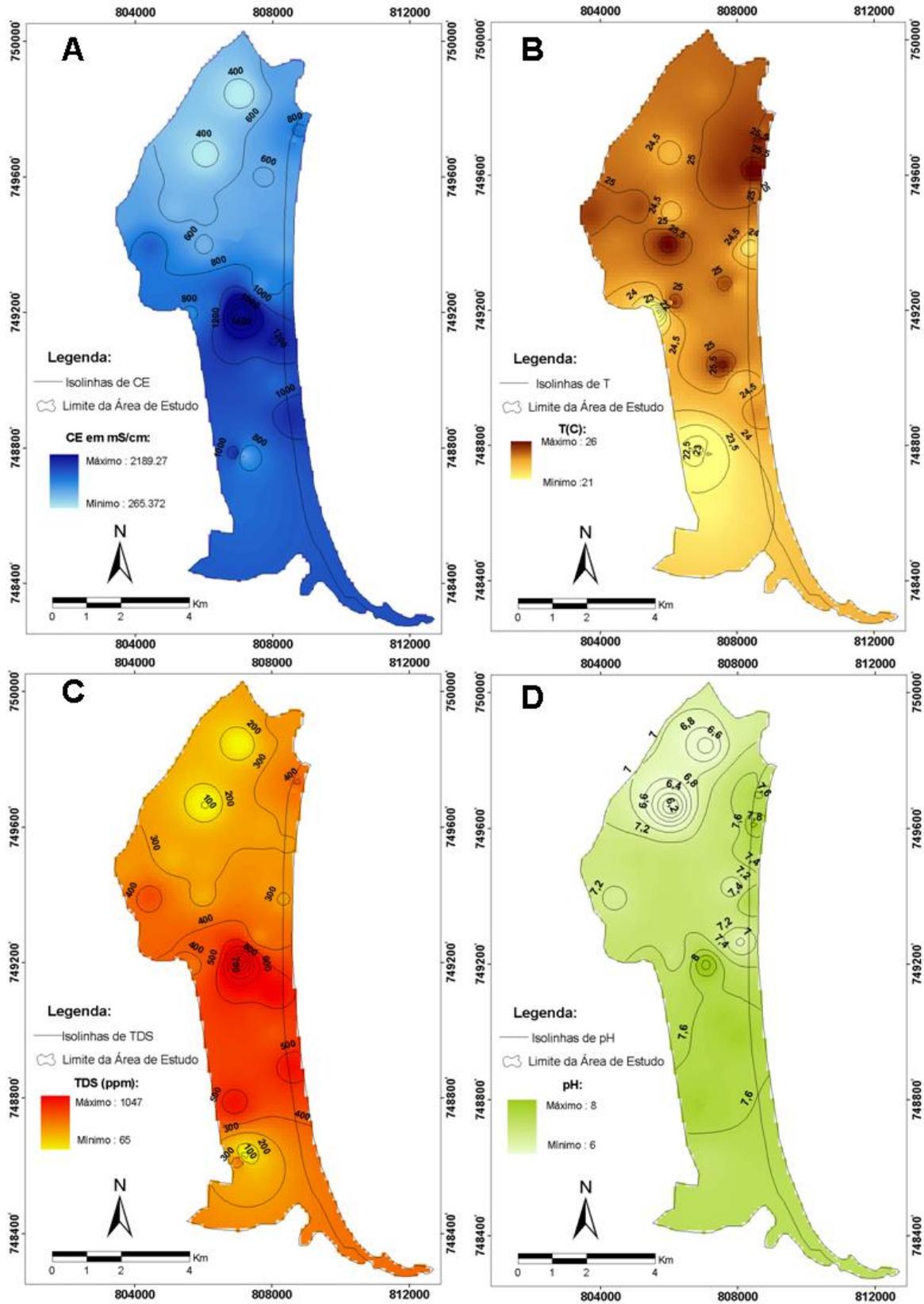


Figura 3. Mapas de Isovalores dos parâmetros físico-químicos.

5. Conclusões

Concluiu-se que a metodologia aplicada com a utilização de SIG para a espacialização dos dados químicos da água subterrânea se mostrou eficiente para a avaliação hidrogeológica do aquífero estudado.

Igualmente pode-se afirmar, com base no estudo, que as águas subterrâneas, para região de Tamoios, principalmente próximas às regiões dos lagos artificiais apresentam sua qualidade comprometida, determinada principalmente pelas altas taxas de CE, indicando avanço da cunha salina neste trecho. A recarga do Rio São João e Una confere a amenização desse quadro apresentando influência de águas continentais nas proximidades de suas margens. Os dados indicam que a Região de Tamoios do ponto de vista hidrogeológico apresenta grande vulnerabilidade à contaminação e risco à saúde dos usuários. Os estudos nessa temática precisam ser aprofundados, a fim de se avaliar de forma mais precisa os processos de contaminação. É preciso oferecer aos órgãos gestores, em termos práticos, uma ferramenta de manejo eficaz para a sustentabilidade do recurso hídrico subterrâneo na região.

6. Referências Bibliográficas

Coe, H. H. G.; Carvalho, C. N.; Souza, L. O. F. & Soares, A. Peculiaridades Ecológicas da Região de Cabo Frio, RJ. **Revista de Tamoios**, julho/dezembro, Ano IV, nº 2, 2007, Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/tamoios/article/view/626>>. Acesso em: 10-08-2010.

Custodio, E.; Llamas, M. R. **Hidrología Subterránea**. Barcelona: Omega, 2º ed., vol.1, 1983. 2350p.

Galloto, E. **Natureza Intacta e Agredida**. Cabo Frio, RJ: WalPrint Editora, 2008, 336p.

Gomes, F.E.M.; 2008. Geoprocessamento em ambiente SIG aplicado à hidrogeologia. In: Feitosa, F. A. C. & Filho J. M. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Edição Revisada e Ampliada Fortaleza: CPRM, 2008, ii, pp. 133-174.

Martin, L.; Suguio, K.; Dominguez, J. M. L.; Flexor, J. M. **Geologia do Quaternário Costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo**. São Paulo, FAPESP /CPRM. (Escala 1:200.000 e texto explicativo).

Menezes, J.M.; Souza, M.; Cristo, V.N.; Silva Junior, G.C.; Prado, R.B. Aplicação do IQA_{CCME} em Aquíferos do Estado do Rio de Janeiro. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 2., 2008. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRH, 2008. 1 CD-ROM.

Reis, A. P. **Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro**. Folhas: Morro De São João e Barra De São João. Escala: 1:50.000. Niterói: DRM, 1998.

Santos, A.C. **Noções de Hidroquímica** in Feitosa, F. A. C. & Filho, J. M. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, 2000, p. 81-102.

Schmitt R.S. 2001. Orogenia Búzios - Um evento tectonometamórfico cambro-ordoviciano caracterizado no Domínio Tectônico de Cabo Frio, Faixa Ribeira - sudeste do Brasil. 273p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

Suguio, K. Tópicos de Geociências para o Desenvolvimento Sustentável: as Regiões Litorâneas. **Revista do instituto de Geociências**- USP. Série Didática, 40p, 2003.