

ESTUDO DE VULNERABILIDADE PELO MÉTODO DRASTIC EM ÁREA DE OCORRÊNCIA DE AQUÍFEROS LIVRES NA BAIXADA CAMPISTA

*Aderson Marques Martins¹; Luis Gomes Carvalho²;
Paulo José Affonso Vianna³; Cristiano dos Santos Maciel³*

RESUMO

O Serviço Geológico / Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro - DRM-RJ, através de sua Coordenadoria de Hidrogeologia, vem conduzindo diversos estudos e atendendo as demandas das Prefeituras Municipais e órgãos governamentais em geral no campo das águas subterrâneas. A crescente utilização das águas subterrâneas, realizada sem a gestão desejável, a desordenada ocupação e uso do solo, a ausência de infra-estrutura de saneamento, entre outras mazelas, trouxeram a ameaça da poluição e depleção da água subterrânea, já tornada um fato real em muitos casos. O presente trabalho tem como objetivo a produção de um mapa preliminar de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, em cima dos dados disponíveis, utilizando o método DRASTIC (Aller *et al*, 1987) combinado com a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) *ArcView 3.3* (ESRI, 1999). Localizada no município de Campos de Goytacazes, a área estudada situa-se sobre aquíferos livres da Baixada Campista, onde se encontram os aquíferos mais importantes do Estado. De acordo com a classificação da escala DRASTIC, os resultados indicaram que a área em estudo, cujos índices variaram entre 155 e 35, pode ser classificada como de vulnerabilidade intermediária a baixa.

ABSTRACT

State Geologic Service / Department of Mineral Resources of Rio de Janeiro – DRM-RJ hydrogeology coordination has been performing several studies and assisting demands on groundwater problems and related requests of municipal city halls and public agencies in general. The increasing use of underground waters, carried through without the desirable management, the disordered occupation and use of the ground, the absence of infrastructure of sanitation, among others mazelas, had brought the threat of the pollution and depletion of the underground water, already become a real fact in many cases. This paper has as objective the production of a preliminary map of vulnerability to the contamination of underground waters, on of the available data, using method DRASTIC (Aller *et al*, 1987) combined with the use of the Geographic Information System (GIS) *ArcView 3.3* (ESRI, 1999). The studied area is underlain by unconfined aquifers at Campos dos Goytacazes county in Baixada Campista region, where the most important groundwater storage of Rio de Janeiro State is located. According to scale DRASTIC, the results had indicated that the studied area presented a variation from 155 to 35, classifying itself as intermediate to low vulnerability.

Palavras Chaves: Vulnerabilidade, DRASTIC, SIG

¹ - Msc, Geólogo, Coordenador de Hidrogeologia - Departamento de Recursos Minerais (DRM- RJ)/ Serviço Geológico Estadual.

² - Msc, Geólogo - Departamento de Recursos Minerais (DRM- RJ)/ Serviço Geológico Estadual.

³ - Graduando em Geografia – Universidade Federal Fluminense

1. INTRODUÇÃO

O Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro – DRM-RJ vem auxiliando os municípios do Estado através de estudos ou orientações técnicas sobre as formas de proteção e controle dos usos hidrogeológicos. Já foram elaborados estudos sobre disposição de resíduos sólidos (Itaboraí, Nova Iguaçu, Campos de Goytacazes, Italva, Santo Antônio de Pádua, Cardoso Moreira e Porciúncula), estudos de contaminação de aquíferos (Japeri, Queimados, Nova Friburgo e Duque de Caxias), de sobreexploração com avanço da cunha salina nas áreas próximas ao mar (Cabo Frio, Região Oceânica de Niterói) e publicado uma literatura intitulada “Poços Tubulares e outras Captações de Águas Subterrâneas – Orientação aos Usuários”. Recentemente, quando subsidiou com estudos geológicos e hidrogeológicos a elaboração do Plano Diretor do município de Campos dos Goytacazes, o DRM se deparou com a necessidade de uma melhor caracterização da vulnerabilidade das águas subterrâneas da região, onde se localizam as maiores reservas deste recurso no Estado.

A acelerada ocupação e urbanização do município de Campos dos Goytacazes, impulsionadas pela indústria petrolífera, vêm provocando aumento da pressão sobre os recursos hídricos. Soma-se a isso a tradicional agroindústria do açúcar e álcool da região, hoje potencializada com as novas perspectivas do uso do álcool como combustível a nível mundial. Por outro lado, o município está situado sobre as maiores e promissoras reservas hídricas subterrâneas do Estado, reforçando a necessidade de conhecer melhor as condições de uso do solo e estabelecer critérios para a proteção dos aquíferos subjacentes.

A preocupação com a vulnerabilidade dos sistemas aquíferos tem crescido ultimamente, tendo sido formulados diversos métodos para sua avaliação. Os mais utilizados são o GOD (FOSTER, 1987 *apud* Oliveira & Ferreira, 2004) e o DRASTIC (ALLER *et al*, 1987), permitindo mapear satisfatoriamente as áreas com potencial susceptibilidade à contaminação. Os Sistemas de Informações Geográfica (SIGs) vêm facilitando o processo de gerenciamento de dados que possuem expressão espacial, potencializando a análise de dados ambientais. Nesta perspectiva, o trabalho objetiva caracterizar a vulnerabilidade dos aquíferos livres situados no município, contribuindo para o desenvolvimento sustentável regional de modo a orientar e subsidiar o planejamento do uso do solo e buscar a minimização dos impactos sobre os aquíferos livres nas áreas já ocupadas.

2. CARACTERIZAÇÃO REGIONAL

A área em estudo situa-se na baixada do município de Campos dos Goytacazes, na região norte do estado do Rio de Janeiro, distando da capital, cerca de 275 km pela rodovia federal BR 101 toda asfaltada. O município de Campos faz divisa ao norte com o estado do Espírito Santo, a nordeste com o município de São Francisco de Itabapoana, a leste com o município de São João da Barra e o oceano Atlântico, ao sul com os municípios de Quissamã, Conceição de Macabú e Santa Maria Madalena, a oeste com São Fidélis e a noroeste com Cardoso Moreira, Italva e Bom Jesus do Itabapoana (Figura 1) (Caetano, 2000).

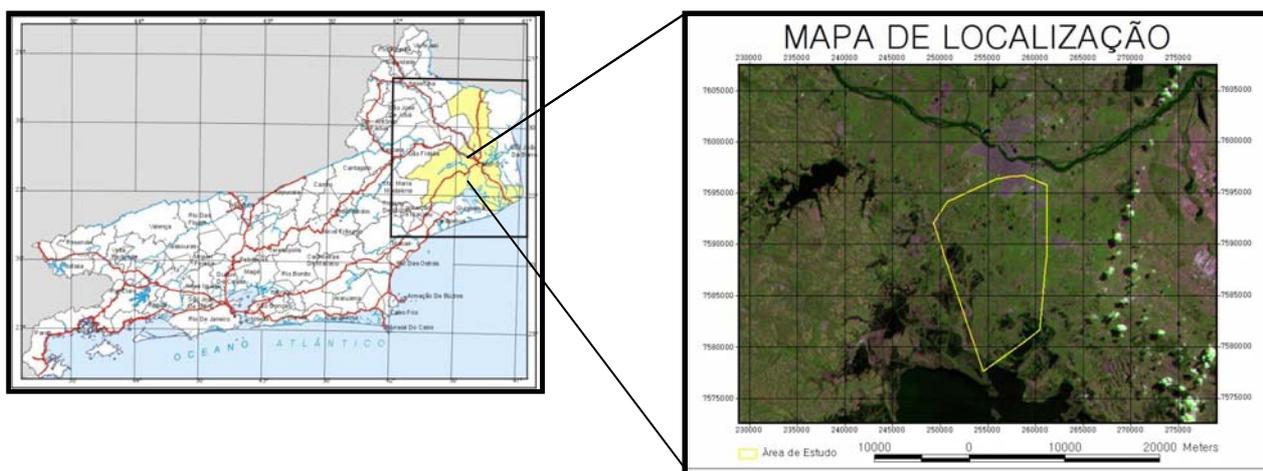


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo situada no Município de Campos dos Goytacazes-RJ.

A Baixada Campista possui núcleos urbanos e rurais, onde o abastecimento ainda é realizado predominantemente por cacimbas. Grandes áreas são ocupadas pela pecuária extensiva de corte e pelo plantio de cana de açúcar para a produção de álcool e, em menor escala, pelo cultivo de abacaxi. A ocupação destas áreas gera intensa compactação em virtude do pisoteio do gado e da mecanização agrícola, prejudicando a infiltração das águas pluviais e aumentando o assoreamento das drenagens. Aliada a citada ocupação, lixões se proliferaram, esgotos são lançados diretamente no solo ou em cursos d'água, depósitos de resíduos tóxicos são implantados e agrotóxicos utilizados sem qualquer critério e cemitérios são construídos sem estudos adequados. Por outro lado, em locais onde não há disponibilidade de abastecimento público, poços domésticos são construídos em áreas vulneráveis ou já contaminadas pela população de baixa renda (DRM, 2007).

2.1 Aspectos fisiográficos

A Baixada Campista e as planícies costeiras adjacentes compõem a planície deltáica do rio Paraíba do Sul, resultante de uma seqüência de eventos transgressivos e regressivos que remontam ao Pleistoceno Superior, marcando períodos cíclicos de erosão e sedimentação dos depósitos continentais e marinhos, que modelaram a atual morfologia da região (CPRM, 2000). O litoral é caracterizado pelo sucessivo empilhamento de cristas de cordões arenosos e, na retaguarda desses cordões, por uma extensa planície fluvio-lagunar, resultante do ressecamento da lagoa Feia recoberta, em parte, por uma extensa baixada aluvial (Martin *et al.*, 1984; Martin *et al.*, 1997 *apud* CPRM, 2000).

Com base no projeto Rio (CPRM, 2000), podem ser distinguidas as seguintes classes de solo: Cambissolo eutrófico, solos aluviais, Glei, Orgânico Podzol Hidromórfico, Podzólico, e Solonchack. Na área de estudo destacam-se os sedimentos argilosos depositados pelo rio propiciando o desenvolvimento de Cambissolos mais espessos de caráter eutrófico. Esses solos são constituídos por elevadas quantidades de argila e silte, e quando secos, apresentam acentuado fendilhamento.

O município de Campos dos Goytacazes por sua ampla baixada litorânea formada por depósitos da Formação Barreiras, foi classificado, segundo a Fundação CIDE (1997) *apud* Caetano (2000), em quente, semi-úmido e seco.

2.1.1 Geologia

A geologia da bacia de Campos vem sendo estudada desde o século XIX por diversos autores. Segundo Silva (1987) *apud* Schaller (1973), a bacia sedimentar de Campos é delimitada ao norte pelo Arco de Vitória, que a separa da bacia do Espírito Santo, e ao sul pelo Arco de Cabo Frio, com a bacia de Santos. A oeste, um sistema de falhas SW/NE coloca os sedimentos em contato com o embasamento cristalino e a leste, a 100-150 km da costa, está limitada pelo talude continental. O mesmo autor, com base em Marroquim *et al.* *apud* Martin *et al.*, (1997), que leva em consideração os levantamentos geofísicos existentes, confere a bacia de Campos uma área de quase 100.000 km², informando que a parte terrestre da bacia, no entanto, é bastante inferior à marinha, possuindo apenas 600 km² (Caetano, 2000).

Com base nos estudos de Schaller (1973), Francisco *in* Fonseca (1998) descreve a estratigrafia da bacia da seguinte forma: “*tem o seu embasamento econômico caracterizado por uma seqüência vulcano-sedimentar do Neocomiano. Em discordância sobre esta seqüência assentam os sedimentos evaporíticos da Formação Lagoa Feia do Neocomiano-Aptiano. Sobre os*

estratos da Formação Lagoa Feia, também em discordância erosional, estão os clásticos e os carbonatos da Formação Macaé, do Neo-Albiano-Eoturoniano e a Formação Campos, do Neocretáceo-Oligoceno, cuja litologia é muito variável. Mais recentes são os sedimentos arenosos e carbonáticos da Formação Emborê, cuja idade vai do Oligoceno ao Recente). Para oeste, os depósitos do “Grupo” Barreiras vão substituindo gradativamente os da Formação Emborê. Na planície campista ocorrem, em superfície, os sedimentos continentais e marinhos quaternários”. O termo “embasamento econômico” adotado por Francisco refere-se a um substrato sem qualquer possibilidade de existência de hidrocarbonetos (informação verbal in Caetano, 2005).

Em relação às suas feições estruturais e gênese, a Bacia de Campos se enquadra perfeitamente no sistema evolutivo geral das bacias mesozóico-cenozóicas da margem continental brasileira (Projeto Radam-Brasil (1983), Folhas 23/24, Vol.32 in Caetano, 2005). Silva (1987) esclarece que *“a evolução geológica da Bacia de Campos está ligada e foi controlada pelos importantes eventos resultantes do processo de fraturamento e separação entre os continentes brasileiro e africano”*. Sua estratigrafia segue o modelo das demais bacias e apresenta uma espessura máxima entre 6.000 a 8.000 m. No Cenozóico, a tectônica foi aparentemente reativada, localmente ainda influenciada pelas principais estruturas preexistentes, cujos efeitos, já mais suavizados, continuaram sensíveis no Terciário (Caetano, 2005).

2.1.2 Hidrogeologia

A ocorrência de água subterrânea na Bacia de Campos está relacionada com a evolução tectônica do Sudeste Brasileiro, marcada pela ocorrência de grandes lineamentos responsáveis pela inicial formação de diversas falhas de basculamentos na direção NE / SW do cristalino imerso na bacia de Campos. O cristalino sofreu reativação por falhas de rupturas em direções aproximadamente ortogonais aos lineamentos citados, configurando a estrutura geológica em três principais blocos tectônicos: os altos estruturais de Itabapoana e Quissamã e o bloco rebaixado de Campos e São João da Barra (Figura 2) (Capucci, 2003).

Estes blocos foram capeados por sedimentos de origem continental e marinha, constituindo o aquífero sedimentar de campos, composto pelas formações terciárias Barreiras primitiva e Barreiras recente, e as formações quaternárias Emborê e Aluviões de Campos (Figura 3). Na Tabela 1 encontra-se descrito de uma forma geral tais aquíferos.

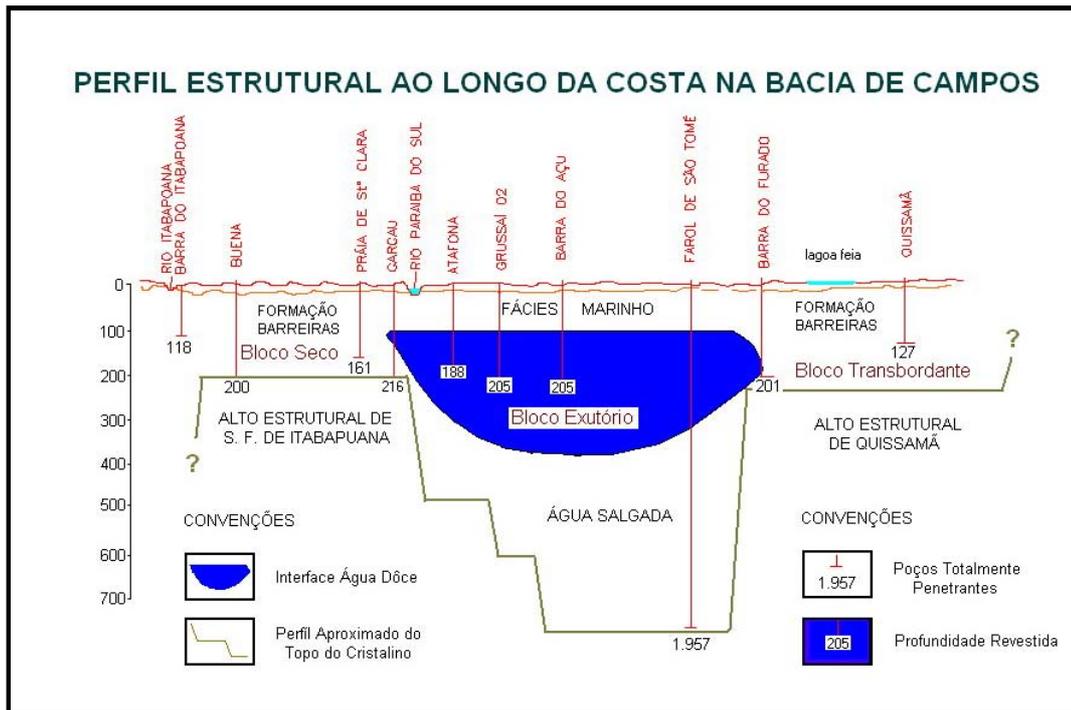


Figura 2 - Blocos tectônicos representando os altos estruturais de Itabapoana e Quissamã e o bloco rebaixado de Campos e São João da Barra (modificado de Capucci, 2003).

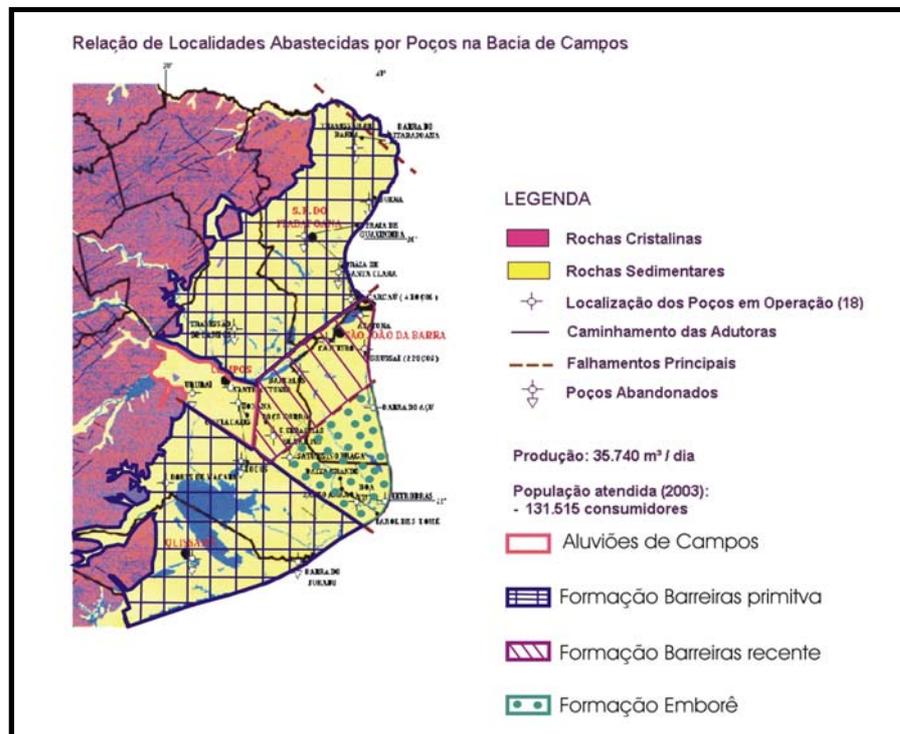


Figura 3 - Subdivisão do Aquífero sedimentar de Campos (modificado de Capucci, 2003).

A Tabela 1 descreve de forma geral estes aquíferos. Um maior detalhamento destas formações pode ser encontrado em Caetano (2000) e Capucci (2003).

Formações	Descrição	Vocação Hidrogeológica
Barreiras Primitiva (continental)	Formado predominantemente por sedimentos clásticos argilo-siltosos lateríticos avermelhados, de idade terciária originários de terrenos graníticos adjacentes que não sofreram processos de retrabalhamento;	Baixa permeabilidade (quase um aquífero) e reduzido regime pluviométrico conferem a esta formação fraca vocação hidrogeológica, dificultando o abastecimento imediato das comunidades ali residentes. Águas de má qualidade, ferruginosas. Aquífero livre,
Barreiras Recente (continental)	Originada por processos de retrabalhamento da Formação Barreiras Primitiva após a reativação dos blocos tectônicos, com sedimentos de cor bege a avermelhada, mas com diferenças marcantes no que tange a sua maior permeabilidade e espessura.	Águas muito mineralizadas até 70 m, o teor de STD diminui gradativamente a partir de 130m. Apresenta água de boa qualidade entre 150 e 205m. Abastece alguns distritos de Campos, S. João da Barra e São Francisco do Itabapoana, incluindo a sede municipal deste último município. Aquífero confinado.
Emboré (marinho/ continental)	Constituída predominantemente por intercalações de folhelhos (origem marinha) e arenitos (origem continental) com a presença de feldspato branco, quartzo e glauconita e linhita (índice-guia de águas continentais). Sua espessura varia entre 60 e 130 metros, aumentando em direção ao mar.	Até 90m metros é predominante a fácies marinha, apresentando vazas e corais com água de baixa qualidade. Entretanto, sua alta permeabilidade e a excelente qualidade da água, partir de 90 metros (fácies continental) lhe conferem forte potencialidade. Aquífero confinado
Aluviões de Campos (Continental)	Formada predominantemente por sedimentos depositados pelo rio Paraíba do Sul, composta por frações arenosas, siltosas, e argilosas. Sua espessura aumenta em direção ao mar, variando entre 30 e 100 metros.	Devido ao teor de matéria orgânica sua porção superior, deve ser captado na porção inferior onde predominam areias amareladas e diminuem sensivelmente os teores de ferro na água, conferindo-lhe melhor qualidade. É considerado o mais importante aquífero pela grande permeabilidade, transmissividade e reserva disponível. Aquífero livre.

Tabela 1: Síntese das características hidrogeológicas dos aquíferos sedimentares da Bacia Campista.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado para a caracterização da vulnerabilidade dos aquíferos na área de estudo foi o DRASTIC, desenvolvido nos Estados Unidos por Aller *et al.* (1987), resultando do esforço conjunto da NWWA (National Water Well Association) em parceria com USEPA (United States Environmental Protection Agency) em estabelecer uma metodologia flexível, podendo ser utilizada em diferentes regiões nos Estados Unidos. Os autores definiram 7 parâmetros hidrogeológicos que condicionam a susceptibilidade à poluição das águas subterrâneas, conforme ilustrado na figura 4, e os seus respectivos pesos, como destacado na tabela 2:

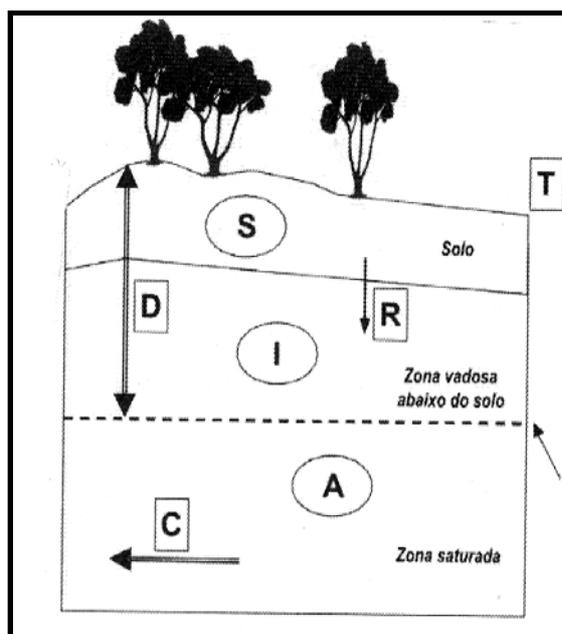


Figura 4 – Ilustração dos parâmetros incorporados no método DRASTIC (Oliveira e Ferreira, 2004).

Fatores	Peso (p)
Depth (Profundidade do topo do aquífero)	5
Recharge (Recarga do Aquífero)	4
Aquífer Media (Aquífero)	3
Soil Media (solo)	2
Topography (topografia/declividade)	1
Impact of Vadose Zone (Influência da Zona Vadosa)	5
Conductivity (Condutividade Hidráulica)	3

Tabela 2 - Parâmetros DRASTIC e respectivos Pesos (Aller *et al*, 1987).

3.1 Análise dos Parâmetros DRASTIC

3.1.1 Profundidade do topo do aquífero – *Depth*

A profundidade do topo do aquífero se refere à distância que determinado contaminante deverá percorrer para atingir o aquífero. Em aquíferos livres, como o caso estudado, a profundidade é a distância da superfície ao lençol freático.

Os dados relativos a este parâmetro são encontrados em Caetano (2000). A partir dos dados sobre os níveis estáticos dos poços foi gerado o mapa de potenciométrico (Figura 5). As linhas de equipotenciais ou isopiezométricas foram traçadas com referência as cotas do nível estático (NE) dos poços, aplicando-se o método de interpolação utilizado na cartografia para a determinação de curvas de nível (Oliveira & Brito, 1998) empregando-se o software DataGeosis 2005.

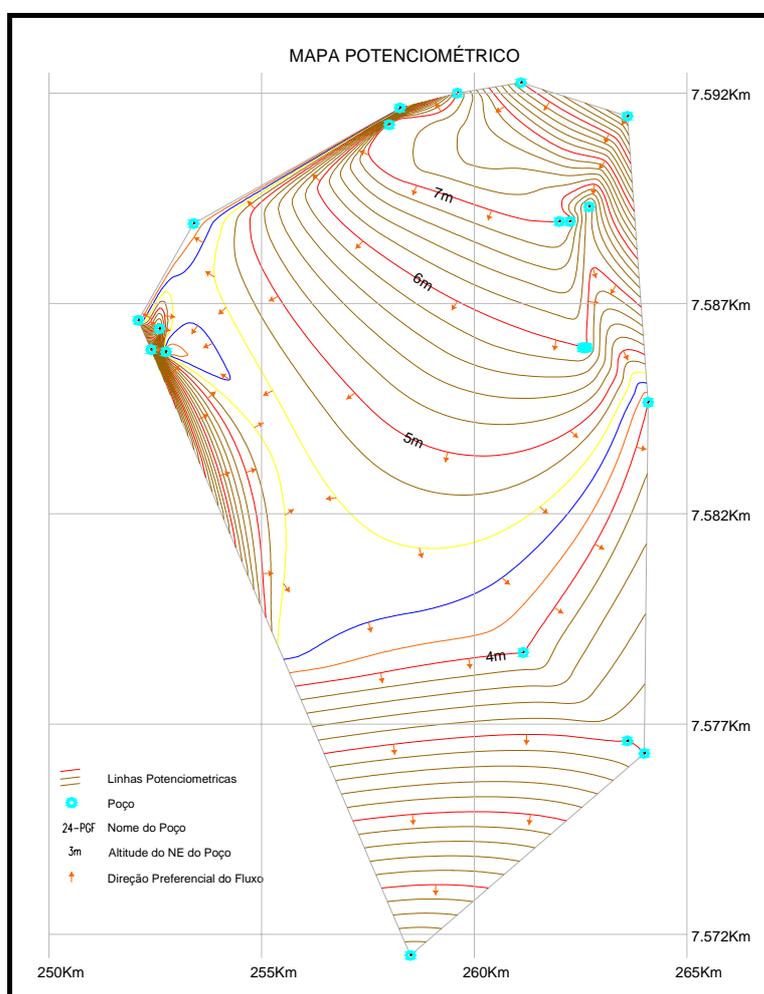


Figura 5 – Mapa potenciométrico da área de estudo

As linhas de fluxo indicam os caminhos preferenciais da água subterrânea, direcionados perpendicularmente às isopiezométricas de menor cota imediatamente adjacentes, convergindo e definindo a área de descarga. Observa-se na parte oeste do mapa um encontro entre duas direções

divergentes de fluxo, levando a uma inflexão deste para sul, em direção à área de descarga. Tal situação, semelhante aos efeitos de uma barreira hidráulica deve ser atribuída à presença da Formação Barreiras Primitivo no local.

Com base nas informações do mapa potenciométrico foram adotadas notas correspondentes a intervalos de diferença de nível de 1,5m do nível freático (Tabela 3):

D – Profundidade do Nível freático (m)	Nota
0 – 1,5	10
1,5 – 3	9
3 – 4,5	7
4,5 – 6	5
6 – 7,5	4
7,5 – 9	2
> 9	1

Tabela 3 – Notas com base na profundidade do nível freático (modificado de Aller *et al*, 1987).

3.1.2 Recarga – Recharge

A recarga do aquífero condiciona o transporte do poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para os processos de dispersão e diluição na zona vadosa e na zona saturada. Neste ponto, observa uma dualidade no papel da recarga para análise da vulnerabilidade: por um lado, com uma alta recarga pode-se transportar um grande volume de contaminantes e por outro, os processos químicos como a diluição atenuam a concentração destas substâncias. Para a área de estudo, os dados de recarga foram retirados do trabalho de Caetano (2000), destaca-se o espantoso volume de $1,55 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Entretanto, baseado na cartografia adotada por Capucci (2003), que define duas formações sedimentares distintas na área estudada, o valor da recarga não foi extrapolada para todo o sistema aquífero. Foi estimado para o aquífero Aluviões de Campos valor próximo a 90% do volume de recarga, enquanto para o aquífero Barreiras Primitivo, valor de 10%. Estes valores foram estimados com base na permeabilidade do meio.

3.1.3 Meio Aquífero - *Aquifer Media*

O parâmetro meio aquífero refere-se ao material constituinte da zona saturada, condicionando a capacidade de atenuação da formação sobre os efeitos do contaminante. Além disso, a par da condutividade e gradiente hidráulicos, a natureza da litologia condiciona determina o tempo disponível para a ocorrência dos processos de atenuação. A área de estudo abrange parte dos aquíferos Aluviões de Campos e Barreiras Primitivo. Estes aquíferos apresentam características distintas, recebendo notas 7 e 2 respectivamente (Tabela 4).

A – Aquífero	Nota
Aluviões	7
Barreiras Primitivo	2

Tabela 4 – Classes e notas para o fator meio aquífero.

3.1.4 Solos - *Soil Media*

O solo, entre outras diversas atribuições, regula a distribuição, o armazenamento, o escoamento e a infiltração da água, condicionando a sua ação filtrante. Referente ao parâmetro solo, as propriedades mais relevantes são a textura, a sua contratibilidade/expansibilidade e o teor de matéria orgânica, que definem o potencial de atenuação do contaminante. Em função das características apresentadas os solos mostrados na Figura 6, receberam notas conforme mostrado na Tabela 5.

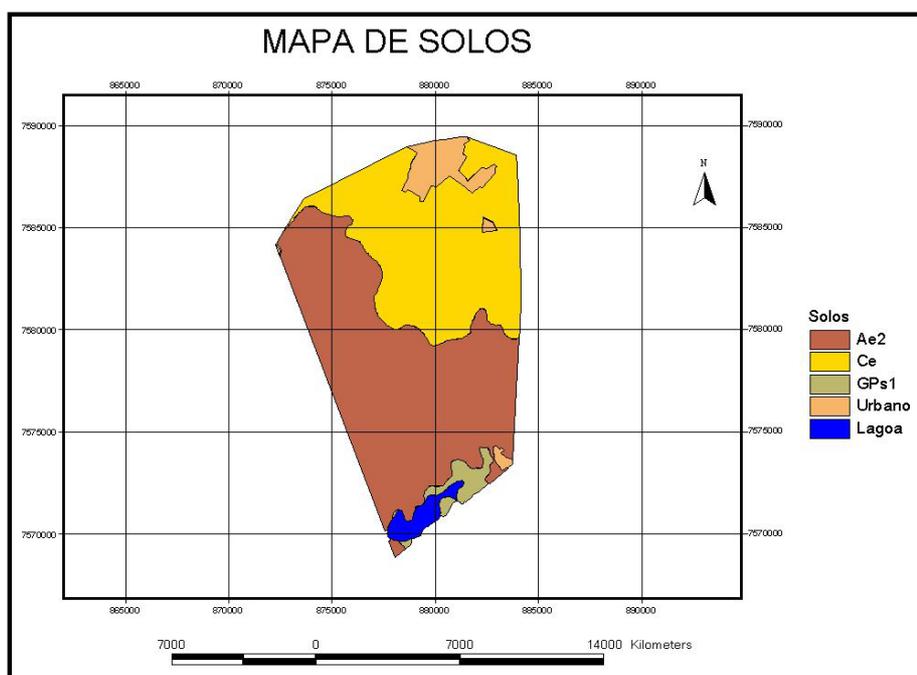


Figura 6 – Mapa Solos da área de estudo (Modificado de CPRM, 2000).

S – Solo	Nota
Ce	4
Gps1	5
Ae	6
Urbano	1

Tabela 5 – Classes e notas para o fator solo.

Os Cambissolos (**Ce**) apresentam características variadas, sendo geralmente caracterizados como solos de relevo acidentado, pouco espessos. Entretanto, em situações completamente diversas como a área estudada, situada em baixadas fluviais, os Cambissolos apresentam horizonte superior a 1 metro, com teores elevados de argila e silte. Devido a estas características, o tempo de residência pode ser estendido e o efeito de atenuação, potencializado.

Materiais argilosos, de procedências distintas dão origem a solos hidromórficos como Glei húmico, Glei pouco húmico (**GPs1**), desenvolvidos bem próximo à zona saturada ou na própria zona saturada e, portanto, em condições de excesso de umidade. Estes solos, ricos em matéria orgânica, ocupam os terrenos baixos, em que o lençol está próximo à superfície do terreno, podendo aflorar nos períodos mais chuvosos. São mal drenados e apresentam baixa qualidade de água subterrânea, pela concentração de sais. Apesar da proximidade do lençol freático, o conteúdo de matéria orgânica e a sua má drenabilidade constituem fatores desfavoráveis à penetração da carga poluente.

Os solos aluviais (**Ae**) compreendem uma classe de solos minerais pouco evoluídos, desenvolvidos a partir de depósitos aluviais recentes, referidos ao Quaternário. Têm seqüência de horizontes do tipo A-C, eventualmente com evidências de gleização em subsuperfície, em geral associados a Gleissolos. Estas características conferem a este tipo de solo uma nota pouco superior à dos solos Glei. Segundo o método utilizado, a susceptibilidade das águas subterrâneas em áreas urbanas foi considerada baixa, devido ao alto grau de impermeabilização do solo. No entanto, a ocupação urbana é acompanhada pela instalação de sistema de esgotos, cacimbas e fossas que obrigam a escavação do solo, caracterizando uma situação de risco.

3.1.5 Declividade - *Topography*

O parâmetro topografia se refere à declividade do relevo, que condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou infiltrar. Além disso, a declividade condiciona o desenvolvimento dos solos. Na área de estudo a declividade não atinge 2%, sendo considerada nula. Desta forma, o referido parâmetro recebeu a nota 10, sendo inserida diretamente na fórmula.

3.1.6 Influencia da Zona Vadosa - Impact

O parâmetro influência da zona vadosa se refere ao tipo de material que constitui a referida zona, considerando o tempo de contato com o contaminante, permitindo a ocorrência de diversos processos físico-químicos. Podem ser citados a biodegradação, a neutralização, filtração mecânica, a volatilização e a dispersão dos contaminantes. Segundo o mapa geológico na escala de 1:50.000 (Figura 7), produzido no âmbito do Projeto Carta Geológica (DRM, 1981), a área de estudo é constituída sedimentos subdivididos em duas unidades distintas: Sedimentos paludiais (QI) e Sedimentos Fluviais (Qp) (Tabela 6).

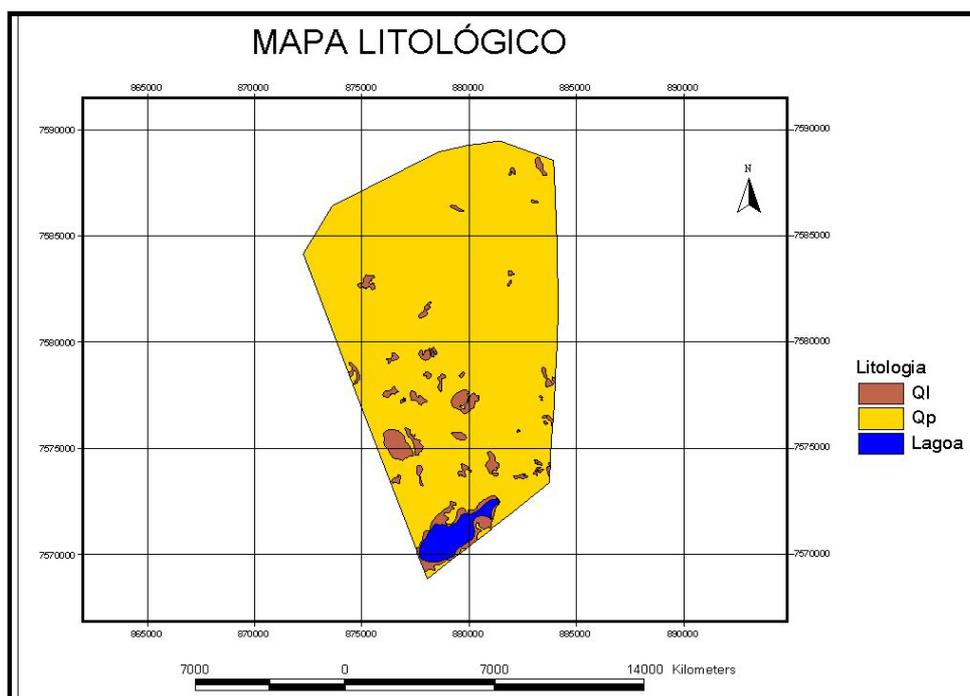


Figura 7 – Mapa Litológico da área de estudo.

I – Influencia na Zona Vadosa	Nota
QP –Predominantemente depósitos argilosos, argilo-siltosos e siltosos.	4
QI – Depósitos argilosos com alto conteúdo de matéria orgânica	2

Tabela 6 – Classes e notas para a influencia da Zona Vadosa.

A primeira unidade se refere aos corpos sedimentares predominantemente argilosos, com significativo conteúdo de matéria orgânica, ocorrentes nas margens das lagoas, nas lagunas, em vales encaixados de rochas do Pré-Cambriano e nos sedimentos terciários da Formação Barreiras.

A unidade sedimentos fluviais é constituída por argilas, argilas-sílticas e siltes, de planície de inundação, incluindo também areias quartzosas, geralmente mal selecionadas, grãos subangulares a subarredondados, bem como as areias e conglomerados quartzosos com matriz argilosa em depósitos aluviais.

3.1.7 Condutividade Hidráulica - *Conductivity*

Similarmente à recarga, a condutividade hidráulica encontrada por Caetano (2000) de 93 m/dia foi adotada apenas para o Aquífero Aluviões de Campos. Sendo adotado para o Barreiras Primitivo o valor de $8,64 \times 10^{-5}$ m/dia com base em valores de condutividade estipulados por Fetter (1988) *apud* Feitosa & Filho (2000), para argila-siltosa.

3.2 A aplicação do SIG

Para confecção do mapa de vulnerabilidade foi criado um banco dados com os dados acerca dos parâmetros DRASTIC. Os dados foram processados em ambiente SIG, no software *ArcView 3.3* (ESRI, 1999), sendo atribuídas as notas com posterior conversão para o formato GRID. Para a confecção do mapa de Vulnerabilidade foi utilizada a extensão *Spatial Analyst*, um aplicativo que permite realizar álgebra de mapas no *Arcview 3.3*, acessando a opção *Map Calculator*, onde foi aplicada a seguinte equação:

$$Dp * Dn + Rp * Rp + Ap * An + Sp * Sn + Tp * Tn + Ip * In + Cp * Cn = vulnerabilidade$$

Onde **p** é o peso e **n** a nota para cada fator analisado.

Na avaliação dos parâmetros que condicionam a susceptibilidade à poluição das águas subterrâneas o índice DRASTIC pode variar entre 26 (mínimo) e 226 (máximo), significando que quanto maior o valor do índice em questão mais vulnerável a área em estudo.

4 RESULTADOS

Com base nos parâmetros adotados, foi obtido o mapa de vulnerabilidade da área de estudo (Figura 8), com índice DRASTIC variando entre 35 (mínimo) e 155 (máximo).

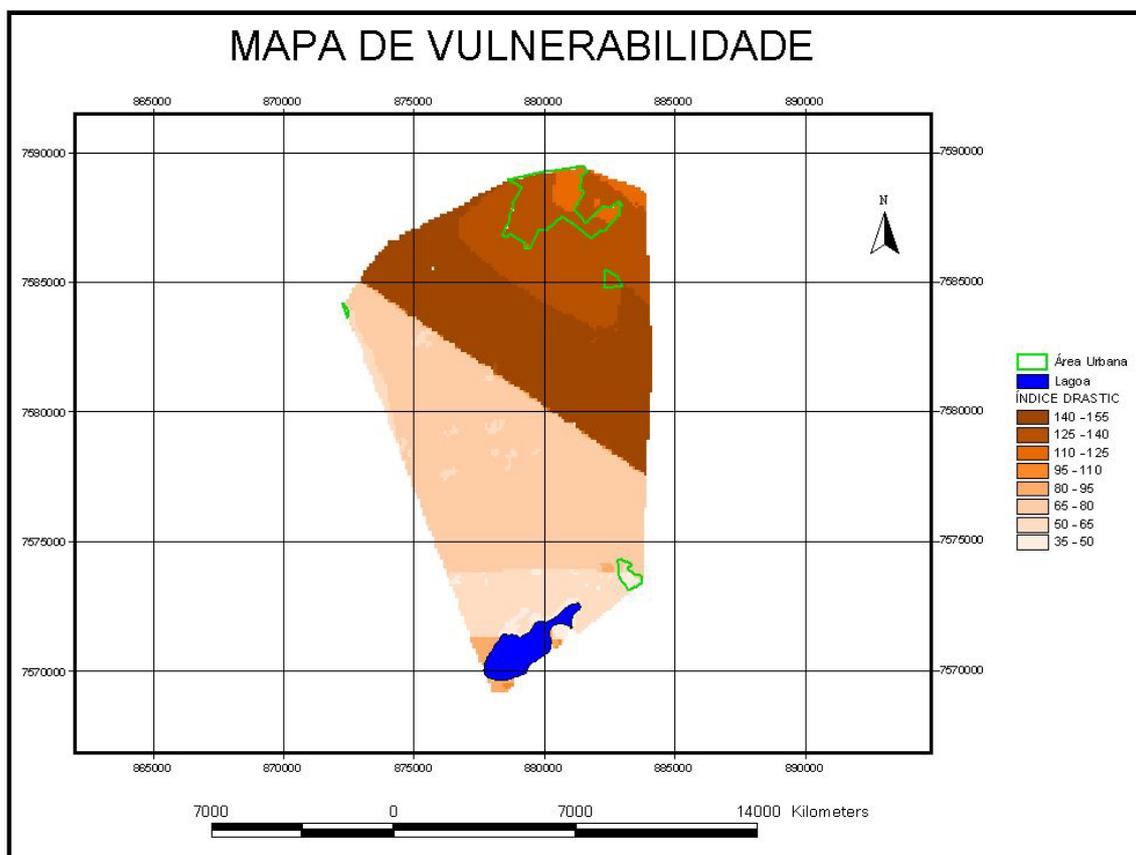


Figura 8 – Mapa de Vulnerabilidade da área de estudo.

Na região central da área ocorre um contato abrupto entre os índices de vulnerabilidade, onde são colocados em contato índice 155 (máximo) e índice 65. Este fato pode ser relacionado ao contato por falha entre a formação Barreiras Primitiva e o Quaternário.

A região central norte apresenta uma maior vulnerabilidade atingindo índices máximos que variam entre 140 e 155. Este índice foi claramente condicionado pela baixa profundidade do freático aliado à formação litológica quaternária e alto valor de recarga. Em direção a porção norte da área ocorre um suave declínio na vulnerabilidade passando de 155 na região central norte a 95 na região do extremo norte.

A região sul apresenta menores vulnerabilidades com índices variando entre 50 e 35 situados numa faixa delimitada pelos paralelos 7.585.000m e 7.575.000m. No extremo sul os índices sofrem um suave aumento passando a variar entre 110 e 80.

4. CONCLUSÕES

Segundo a avaliação dos parâmetros que condicionam a susceptibilidade à poluição das águas subterrâneas com base no índice DRASTIC qualitativo, índices variando entre 120 e 159 são considerados de vulnerabilidade intermediária e índices inferiores a 120 de vulnerabilidade baixa (Aller *et al.*, 1987 *apud* Cabral *et al.*, 2004). Seguindo esta classificação, a área em estudo, cujos índices variam entre 155 (máximo) e 35 (mínimo) pode ser classificada como de vulnerabilidade intermediária a baixa (muito baixa).

Estes resultados encontram-se em pleno acordo com os parâmetros utilizados.

O contato abrupto que ocorre na região central da área pode ser relacionado ao contato por falha entre a formação Barreiras Primitiva e o Quaternário. Enquanto que na região central norte os maiores índices de vulnerabilidade claramente estão condicionados pela baixa profundidade do freático aliada à litologia da formação quaternária e alto valor de recarga. Na porção norte o suave declínio na vulnerabilidade está condicionado pela presença da ocupação urbana que interfere drasticamente na recarga pela impermeabilização por pavimentação e compactação do solo.

A baixa vulnerabilidade apresentada na região situada entre os paralelos 7.585.000m e 7.575.000m esta condicionada principalmente a litologia da Formação Barreiras Primitiva. O suave aumento do índice no extremo sul está condicionado principalmente pela proximidade ou afloramento do lençol freático.

É importante destacar o caráter preliminar do mapa de vulnerabilidade, considerando que o seu uso deve ser ponderado pela pequena quantidade de dados disponíveis e pela existência do aquífero Formação Barreiras Primitivo.

AGRADECIMENTOS

À Coordenadoria de Geoinformação do DRM-RJ e ao Professor Dr da Universidade Federal Fluminense Reiner Olíbano Rosas, pelo auxílio e informações no uso do programa *Arcview 3.3*.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, L. BENNET, T. LEHR, J. H. PETTY, R. J. e HACKETT, G. (1987) *DRASTIC: A standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential using Hydrogeologic Settings*. United States Environmental Protection Agency, Report EPA/600/2-85/018.

CAETANO, L. C. (2000). *Água subterrânea no município de Campos dos Goytacazes (RJ): uma opção para o abastecimento*. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP. 163 p

CAETANO, L. C. (2005). *A Política da Água Mineral: Uma Proposta de Integração para o Estado do Rio de Janeiro*. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP.

CAPUCCI, E. A. (2003). *Água subterrânea na Baixada Campista*. In: Anais do XIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Petrópolis, RJ.

CAPUCCI, E. [on line]. *A Importância da Gestão Compartilhada dos Aquíferos dos Municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra*, RJ. Disponível em /www.abas.org.br. [Capturado em 15 de junho de 2007]

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. D.; MANSUR, K. L. e MONSORES, A. L. M. (2001). *Poços Tubulares e outras captações de água subterrânea – Orientação aos usuários – DRM-RJ, Projeto Planágua SEMADS/GTZ de cooperação técnica Brasil – Alemanha*. Rio de Janeiro, RJ.

CPRM (2000). *Projeto Rio de Janeiro: relatórios técnicos*. Brasília.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br>. [Capturado em 05 de julho de 2007].

DRM/GEOSOL LTDA. (1981). *Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro – Sinopse Geológica. Bloco Campos, Folha Campos (SF.24-G-IV-3)*, escala 1:50.000. Rio de Janeiro, RJ.

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO J. (1997). *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 2. ed. Fortaleza: CPRM, LABHID – UFPE, 412 p.

FONSECA, M.J.G. (1998). Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, Capítulo 1.5 Mesozóico e Cenozóico. DNPM. Rio de Janeiro. 141p.

MARTIN, L., SUGUIO, K., DOMINGUEZ, J.M.L. e FLEXOR, J-M. (1997). *Geologia do Quaternário costeiro do Litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo*. CPRM. Belo Horizonte. 112p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, SECRETARIA GERAL, PROJETO RADAM (1983). *Levantamento de Recursos Naturais volume 32, Folha SF.23/24 - RIO DE JANEIRO/VITÓRIA*, Projeto RADAM, Rio de Janeiro, 775p.

OLIVEIRA, A. M. dos S. & BRITO, S. N. A. (1998). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE.

OLIVEIRA, M. M. & FERREIRA, J. P. C. L. (2004). *Cartografia da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do Conselho de Montemor-O-Novo utilizando o método DRASTIC*. In: CABRAL, J. S. P. *et al.* (orgs). *Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento*. Ed. Universitária da UFEP, 447p.

SCHALLER, H. (1973). *Estratigrafia da Bacia de Campos*, In: Anais do XXVII Congresso de Geologia, v. 3. SBG. Aracaju, SE. Out.p. 247 – 258.

SILVA, C.G. (1987) *Estudo da Evolução Geológica e Geomorfológica da Região da Lagoa Feia, RJ*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências - UFF – Agosto. 1987. 160p.

SOFTWARE ARCVIEW 3.3. Distribuidor ESRI.Califórnia.EUA. 1999.

SOFTWARE DATAGEOSIS 2005. Distribuidor ALEZI TEODOLINI. Disponível em: <http://www.hezolinem.com> ou www.datageosis.com. São Paulo, 2006.