



Uso do método TDEM (eletromagnético no domínio do tempo) na investigação de pluma de contaminação.

Lis Franco Rocha* (LAGEMAR- UFF), Emanuele F. La Terra, (ON-MCT)

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The raise of the population has caused an increase in the amount of solid waste and place of their eviction has been widely discussed. Unfortunately, in Brazil, most of them is destined to landfills without any form of protection to the environment. Therefore, the slurry of waste that may be percolating underground infiltration reaching the water table, causing damage to the people that supply of artesian wells. In this work, we attempt to map the plume of contamination by leachate from Campos dos Goytacazes, RJ. For this, we used the geophysical method time domain electromagnetic and directly samples and the result was contamination in the first sedimentary layers (20 meters).

Introdução

O aumento da população tem provocado um crescimento na quantidade de resíduos sólidos e o local de seu despejo vem sendo bastante discutido. Infelizmente, no Brasil, a maior parte deles é destinado a lixões a céu aberto, sem nenhuma forma de tratamento. Assim, o chorume, líquido poluente escuro originado de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição de resíduos orgânicos, apresenta-se como uma substância ácida, com alta condutividade elétrica e alta demanda bioquímica de oxigênio, podendo percolar do lixo e se infiltrar no subsolo. Dessa forma, pode atingir o lençol freático e ocasionar danos à população que se abastecem de poços artesianos. O objetivo desse trabalho é o de mapear a pluma de contaminação causada pelo chorume no lixão de Campos dos Goytacazes, RJ. Para isto, foi utilizado o método eletromagnético no domínio do tempo e sondagens de poço. Com estas técnicas, estimou-se a variação da condutividade elétrica em subsuperfície visto que a pluma de contaminação nos lixões ocorre devido à presença de chorume, substância altamente condutiva.

Área de estudo

A área de estudo está localizada no bairro Codin, município de Campos dos Goytacazes (Fig.1), região Norte do Estado do Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil. Situa-se a aproximadamente 279 km da capital do estado, ocupando uma área de 4.037 km² e possui uma população de 426.154 habitantes, de acordo com a pesquisa efetuada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007).

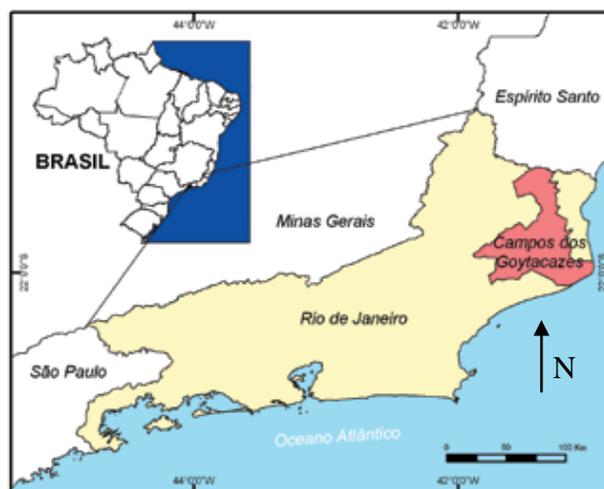


Figura 1: Mapa de localização da área. Fonte: IBGE.

O lixão de Campo está localizado na porção emersa da Bacia de Campos. Esta porção está situada ao longo da borda Oeste (W), onde se encontram sobre o embasamento cristalino rochas vulcânicas do Mesozóico, sedimentos Terciários do grupo Barreiras e sedimentos do membro São Tomé do Quaternário (Carrasquilla et al, 2006). O lixão de Campos se situa próximo à área urbana do município de Campos dos Goytacazes e perto também de diversos corpos de água, sendo o rio Paraíba do Sul o mais importante. A geologia local da área é representada principalmente por rochas sedimentares, da formação Barreira. Segundo Moraes (2001) os sedimentos da formação Barreiras são representados por areias, com níveis de cascalhos, intercalados com sedimentos argilosos.

Metodologia

A fim de se obter o mapeamento do chorume e como este se comportou (migrou) em subsuperfície, foi utilizado o método eletromagnético transiente (TDEM), o qual detecta corpos com anomalia de contrastes de resistividade. Sendo o chorume um líquido altamente condutivo e o meio geológico sedimentar, em geral, mais

resistivo, pode-se detectá-lo com o uso do método eletromagnético transiente. Além disso, realizaram-se 18 sondagens diretas (disponível na tese de Moreira, 2002), representando as amostras sedimentares presentes em subsuperfície e indicando o nível de profundidade do lençol freático. As amostras diretas são de suma importância, pois auxiliam no processo de interpretação dos dados. Com essas amostras conhecem-se as litologias que podem ser utilizadas como base da interpretação da resistividade (Carrasquila *et al*, 2006).

Os métodos eletromagnéticos envolvem a propagação de ondas eletromagnéticas e obtém como resposta a condutividade elétrica de subsuperfície. Os fenômenos eletromagnéticos são governados pelas equações empíricas de Maxwell, as quais descrevem o comportamento dos campos eletromagnéticos em uma Terra condutora não homogênea.

Nos métodos eletromagnéticos transientes no domínio do tempo (TDEM) utiliza-se corrente elétrica gerada artificialmente. Essa corrente elétrica, geralmente na forma de pulsos quadrados intermitentes (Fig. 2), é aplicada sobre a superfície terrestre e a forma de decaimento experimentado pela corrente elétrica (após esta ser desligada) depende da condutividade elétrica do meio, da forma e da dimensão de condutores em subsuperfície. A presença de bons condutores em subsuperfície faz com que as curvas de decaimentos da corrente sejam mais suaves, quando comparada com áreas pouco condutivas (Nabighian *et al* 1989).

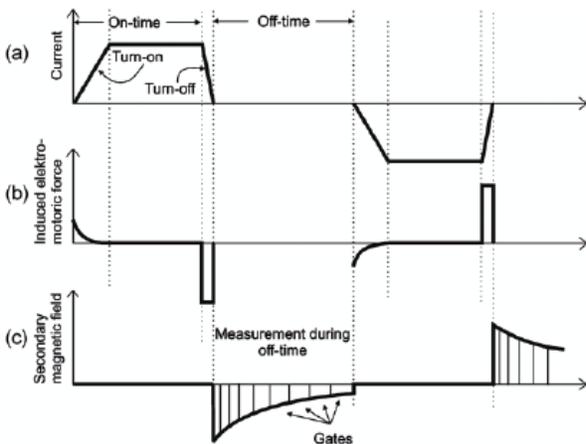


Figura 2: Pulsos quadrados intermitentes gerados no transmissor. Com o corte da corrente no Transmissor, o campo magnético primário se anula, causando picos de força eletromotriz e possibilitando a medição do campo eletromagnético secundário que é medido pela bobina receptora na superfície do terreno. Fonte: Rumpel *et al*, 2006.

A aquisição dos dados TDEM foi realizada pela equipe do Observatório Nacional com o uso do equipamento SIROTEM MK3. Foi utilizado como transmissor um fio disposto sobre a superfície do terreno com uma geometria quadrada de 25 metros de lado. A profundidade de investigação teórica, alcançada utilizando-se este equipamento é de 2 a 3 vezes o valor do comprimento lateral do arranjo, variando então neste caso de 50 a 75 metros. O arranjo para a aquisição foi o

in loop, em que a bobina receptora se localiza no interior do *loop* transmissor. Foram coletadas 110 estações, localizadas na figura 3.

Foram utilizados dados de 18 testemunhagens diretas (fig 3), sendo 5 foram do tipo SPT (*Standard Penetration Test*) e 13 foram do tipo trado manual (ST). Estes dados foram retirados do trabalho de Monteiro 2002 e auxiliaram na interpretação dos dados.

Mapa de localização das estações TEM e poços

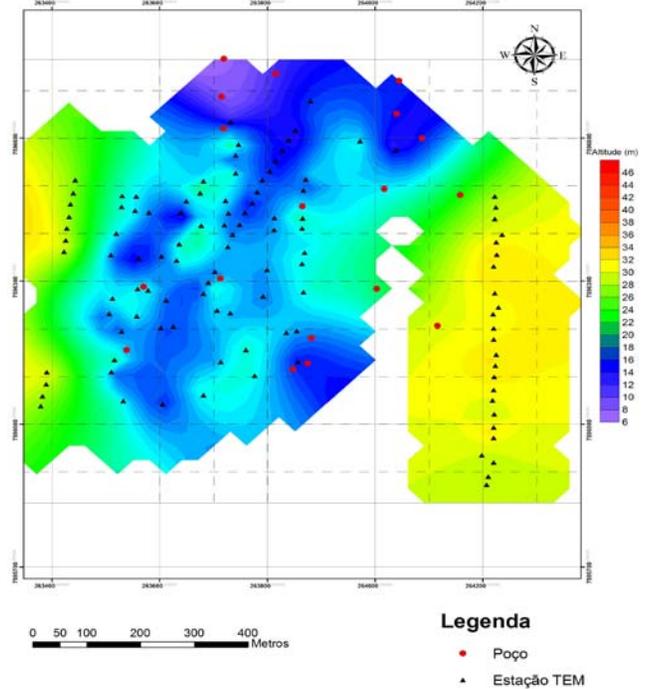


Figura 3: Mapa de relevo com a localização das estações TDEM em azul e sondagens diretas em vermelho.

Na etapa de processamento, realizou-se a análise estatística dos dados, além da edição dos dados ruidosos, causados pela heterogeneidade das camadas superficiais e pelo efeito de polarização induzida, (nos *early times*). Além disso, foram realizadas inversões eletromagnéticas 1D, para auxiliar na interpretação dos dados, os quais foram confrontados com as sondagens diretas e os modelos diretos, permitindo a caracterização (dimensão) da contaminação.

A modelagem inversa e direta dos dados está representada na figura 4. O modelo inverso consiste num algoritmo matemático iterativo que estima um modelo geofísico de subsuperfície a partir dos dados observados, de forma a auxiliar no processo de interpretação. Existem diversos processos de inversões eletromagnéticas unidimensionais (1-D), neste trabalho foi utilizado o método Occam, que impõe a suavização do modelo em situações com camadas geológicas ou litotipos com altos contrastes de resistividades. De um modo geral a inversão 1-D TDEM tem como objetivo a determinação da estratigrafia geoeletrica em subsuperfície de cada estação, fornecendo um modelo de resistividade em

função da profundidade, obtendo-se assim um monitoramento, ou seja, um modelo de como a resistividade se comporta com o aumento da profundidade (Santos, 2008).

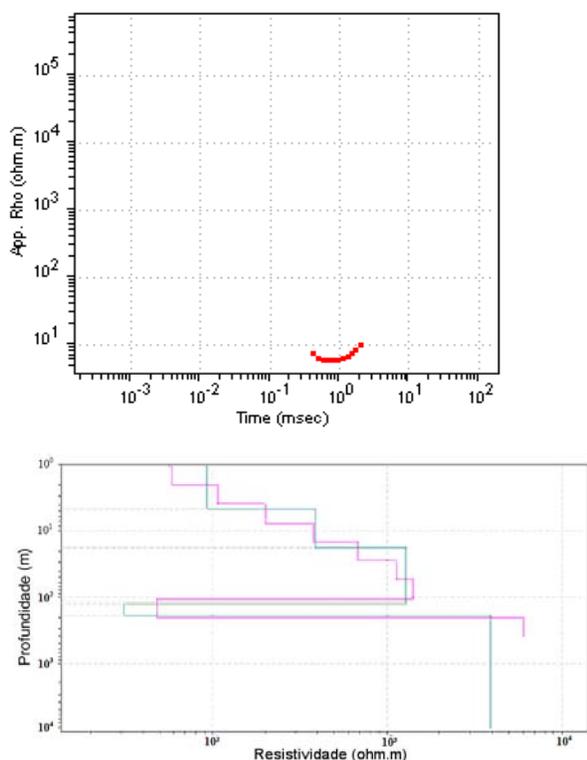


Figura 4: Acima, observa-se a variação da resistividade em função do tempo e o ajuste dos modelos nos dados. A modelagem direta (em verde) e inversa (rosa) de uma das estações é mostrada abaixo.

Resultados e discussão

As seções geofísicas, geradas para análise da contaminação por chorume, do tipo horizontais e verticais, permitiram visualizar o comportamento da pluma contaminante em subsuperfície. Foram escolhidos 5 perfis cobrindo toda a área do aterro, utilizando a maior quantidade de estações possíveis.

Para a interpretação das áreas utilizou-se os valores de referências propostos por Greenhouse, et al (1983). Neste trabalho ele propôs os valores de condutividade, em mili-Siemens (mS/m), de diversos materiais, incluindo o chorume. Os valores de condutividade para o chorume, segundo o autor, varia entre 100 a 10000 mS/m, o que corresponde a 0.1 a 10 S. Como a condutividade é o inverso da resistividade, temos que a resistividade do chorume varia de 0.1 a 10 ohm.m.

As seções horizontais (mapa de superfície) permitiram a análise de como os valores de resistividade se comportam lateralmente. Além disso, permite obter o comportamento da resistividade com a variação da profundidade, (*depth slices*).

Os mapas horizontais deste trabalho mostram no aumento da profundidade, as camadas subterrâneas vão se tornando mais resistivas, permitindo delimitar a pluma

de contaminação para menores profundidades. Neste caso, os valores de resistividade referentes ao chorume, consideradas anômalas em comparação com a geologia da área, estão distribuídos uniformemente até os 5 metros e limitados até os 20 metros de profundidade. Assim, no mapa de cobertura da profundidade de 1 metro (fig. 5), encontram-se baixos valores de resistividades (até 80 ohm.m), ou seja, representando uma área bastante condutiva. Estes dados são indicativos de que os possíveis contaminantes estão presentes próximos à superfície.

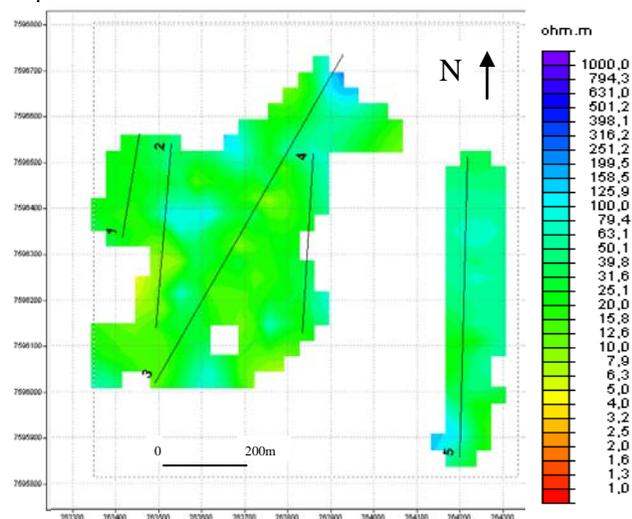


Figura 5: Mapa de variação da resistividade na profundidade de 1 metro.

Em 10 metros de profundidade os valores da resistividade, em geral, aumentam, apresentando um predomínio de resistividades maiores (acima de 10 ohm.m), principalmente no perfil 5 à direita, mas também ao longo de extensas áreas. Áreas condutivas são ainda encontradas na área central do mapa, locais onde os resíduos são depositados, sendo importantes indícios de áreas restritas contaminadas (fig. 6).

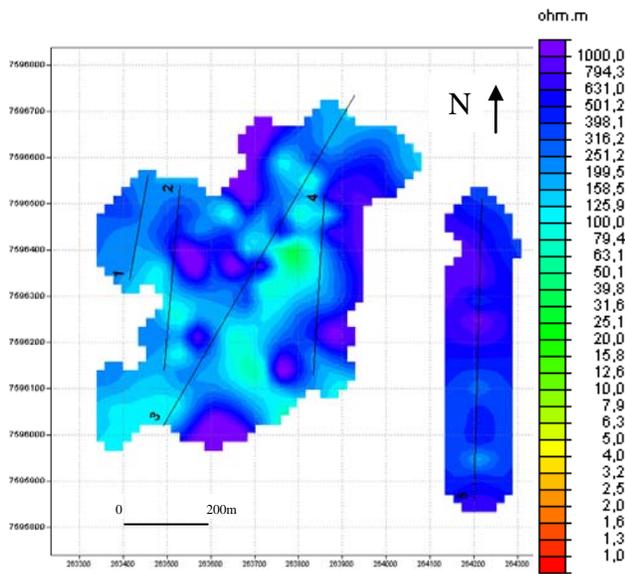


Figura 6: Distribuição das resistividades na profundidade de 10 metros.

Em 20 metros de profundidade (fig. 7), os valores de resistividade são predominantemente mais altos (acima de 100 ohm.m), apresentando pequenas e limitadas regiões condutivas no interior do mapa. A partir desta profundidade, ocorre um aumento gradual da resistividade nos mapas, de forma que foi considerado somente até os 20 metros a possibilidade de se encontrar camadas contaminadas por choro.

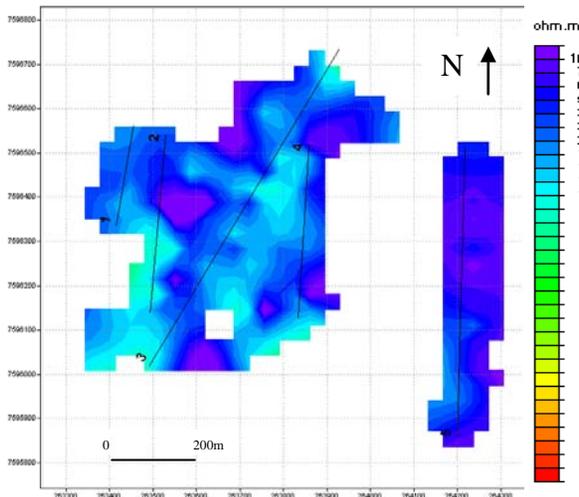


Figura 7: Resistividade na profundidade de 20 metros.

Os perfis verticais permitem a observação de como a resistividade se comporta em profundidade. Os cinco perfis que compõem a área de estudo analisados foram numerados da esquerda para a direita, de 1 a 5. O perfil que corta o centro da área foi denominado 3 e apresenta uma camada superficial bastante condutiva, até os 5 metros. As camadas continuam com resistividade baixa até os 10 metros, aumentando progressivamente seu valor que se torna máximo em aproximadamente 70

metros de profundidade. A partir de então os dados tornam-se não confiáveis, como explicitado anteriormente. Observa-se esse resultado abaixo, na figura 8. Nesta figura, confeccionou-se um modelo geológico baseado no perfil geofísico de inversão 1-D. Interpretando-se assim, o choro nas profundidades de até 20 metros, associada a sedimentação quaternária. Seguida de uma camada mais resistiva, composta por sedimentação terciária e um sistema de falhas, as quais devem ser confirmadas com perfis transversais.

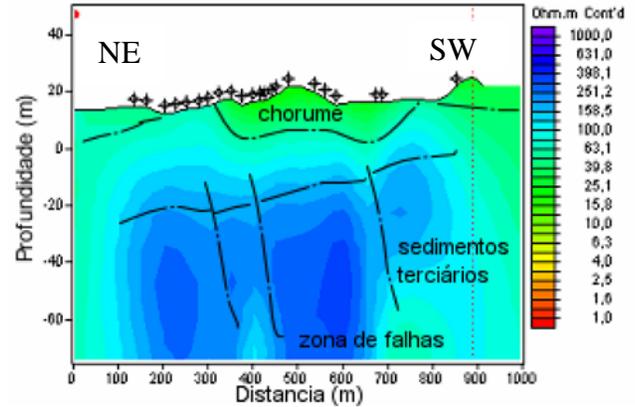


Figura 8: Seção vertical do perfil 3, com interpretação geológica.

Os dados de TDEM foram analisados a partir do contraste dos valores de resistividade. Os dados de 16 poços, espalhados na área de estudo, obtidos a partir da tese de mestrado Monteiro, 2002, compostos por amostras a trado e a percussão foram confrontados com os dados TDEM. Foi observado que em alguns poços ocorre uma seqüência sedimentar grano-decrescente, em que a camada superior é representada por areia (mesmo que muitas vezes misturadas com argila), alguns locais pedregulhos e materiais provenientes do aterro. Em seguida, com o aumento da profundidade, predomina-se uma seqüência fina, argilosa e impermeável.

De forma semelhante, os dados TDEM permitiram a constatação de valores de baixa resistividade, até os primeiros 5 metros, profundidade tal, na maioria dos casos, alcançada no processo de perfuração dos poços. Assim, associando estes dados, pode-se inferir que a contaminação está presente uniformemente até os 5 metros iniciais. No entanto, se encontra limitada a profundidade de 20 metros, onde valores de baixa resistividade estão mais localizados. Em seguida, a camada argilosa encontrada nas sondagens, pode representar o progressivo aumento das resistividades observadas nas estações TDEM, pois apesar da argila ser bastante condutiva, seu valor comparado ao choro é menor. Assim, as baixas resistividades encontradas nas profundidades de 10 a 20 metros, podem não conter contaminantes, e sim argila. De forma que, para futuros estudos de contaminação na área, o ideal seria um projeto com sondagens mais profundas.

Por outro lado, algumas estações apresentam uma seqüência grano-crescente, em que a argila se apresenta na superfície. Nestas regiões, o líquido contaminante escoar superficialmente, de forma que a possibilidade de

o chorume não penetrar no solo e impregnar o lençol freático é maior, pois a camada é impermeável.

Conclusão

A grande demanda por métodos capazes de contribuir para o monitoramento ambiental coloca a geofísica como uma importante ferramenta. Como, em geral, os contaminantes apresentam grandes valores de condutividade, contrastando com as rochas encaixantes, seu mapeamento pode ser efetuado utilizando o método eletromagnético no domínio do tempo.

O método contribuiu na verificação da área contaminada, visando possíveis ações para a diminuição deste impacto e alertando sobre o risco do consumo de água subterrânea na região, caso seja identificado que o chorume atinja o lençol freático.

A metodologia permitiu um bom recobrimento da área, visto que contou com dados geofísicos que permitem o estudo da subsuperfície de uma grande área em pequeno espaço de tempo além de amostragens diretas, que fornecem dados precisos, porém pontuais. Os estudos geofísicos permitem a investigação de maiores profundidades em um rápido tempo, ao contrário dos métodos diretos. Assim, a integração dos dados permite um estudo mais fidedigno com a litologia presente e mais abrangente.

Os métodos eletromagnéticos vêm apresentando ótimos resultados quando utilizado para estudos ambientais, neste caso não foi diferente. A utilização cada vez maior deste método é de suma importância para seu contínuo processo de aprendizagem, de forma a ganhar cada vez mais respaldo na geofísica. Como este método permite um imageamento de corpos a partir dos contrastes de resistividade, diferente da sísmica, pode vir a ser ótimo complemento nos estudos de prospecção de petróleo, ainda que este não penetre grandes profundidades de investigação até o momento. Assim, destaca-se a relevância em se utilizar diferentes métodos geofísicos, visto que cada um trabalha com uma propriedade física e definição distinta, tanto para estudos ambientais como de exploração.

A análise dos mapas, seções e das amostras diretas, permitiu caracterizar a pluma de contaminação, sendo interpretada como a camada contaminada por chorume, as primeiras camadas, até uma profundidade de 5 metros em que a pluma se estende uniformemente na área estudada. Até os 20 metros são ainda encontrados indícios de contaminação, em áreas restritas, precisando ser confirmada com futuros poços de sondagem.

Agradecimento

Os autores agradecem a infraestrutura computacional fornecida pelo Observatório Nacional.

Referências

CARRASQUILLA A.A.G. & ULUGERGERLI E. Evaluation of the transient electromagnetic geophysical method for stratigraphic mapping and hydrogeological delineation in

Campos basin, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(3): 333-341. 2006.

GUTTMANN, A.M. Utilização do Método Geofísico Eletromagnético Transiente (TEM) no Aterro Sanitário de Gramacho, Duque de Caxias, Estado do Rio de Janeiro. 110pps. Dissertação (Mestrado em Geofísica – ON). 2003.

GREENHOUSE, J.P. e HARRIS, R.D. Migration of contaminants in groundwater at a landfill: A case study, 7. DC, VLF, and inductive resistivity surveys, *Journal of Hydrology*, vol. 63, pg. 177-197. 1983.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2007. Contagem da População em 2007. Dados digitais. Disponível em: <http://www.ibge.com.br>. Acesso em: 27 maio 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2008. Figura de Localização. Dados digitais. Disponível em: <http://www.ibge.com.br>. Acesso em: 27 maio 2009.

MONTEIRO, L.A.C. Estudo da contaminação da área de disposição de resíduos sólidos na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ pela técnica eletromagnética domínio do tempo, 168p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia – UENF). 2002.

MORAIS, R.M.O. Estudo Faciológico da Formação Barreiras na região entre Maricá e Barra de Itabapoana, estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 113p. Dissertação (Mestrado em Geologia, Depto. Geologia - IGEO/UFRJ). 2001.

NABIGHIAN, M.N. and MACNAE, J.C. Time-domain Electromagnetic Prospecting Methods, in Nabighian, M.N., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics 2*, SEG. 1989.

RUMPEL, H.M, KIRCH R., SCHEER W. WIEDERHOLD H., Groundwater resource in buried valleys. Hannover, Germany. 2006.

SANTOS H. S., O Método Transiente Eletromagnético. Aplicação ao Estudo da Estrutura Geométrica da Bacia de Resende (RJ, Brasil). Dissertação de mestrado/ON. Rio de Janeiro 2008. 57pps.

SANTOS H. S., FLEXOR, J. M. O Método Transiente Eletromagnético (TEM) Aplicado ao Imageamento Geométrico da Bacia de Resende (RJ, Brasil). *Revista Brasileira de Geofísica*. Vol. 26 (4). 2008.