

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PROSPECÇÃO DE AQUÍFEROS FRATURADOS
COM O EMPREGO DE ELETRORESISTIVIDADE
E EMANOMETRIA DE RADÔNIO**

Pedro Lazaneo Sanchez

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2009/21)**

TF
L431
P.p

SÃO PAULO
2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**PROSPECÇÃO DE AQUÍFEROS FRATURADOS
COM O EMPREGO DE ELETGORRESISTIVIDADE
E EMANOMETRIA DE RADÔNIO**

Pedro Lazaneo Sanchez

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2009/21)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900026917

SÃO PAULO

2009

TP
L432
P-C



Sumário

Agradecimentos	i
Resumo do Projeto	ii
Abstract	ii
1. Introdução	1
2. Objetivos	1
3. Radônio e Trabalhos Prévios	1
3.1 Formação e Migração do Radônio	2
3.2 Dados Geológicos do Radônio	3
3.3 Estudos Prévios com Utilização de Emanometria do Gás Radônio	5
4. Materiais e Métodos	8
4.1 Eletrorresistividade	9
4.1.1 Caminhamento elétrico	10
4.2 Emanometria de radônio	11
5. Desenvolvimento do Trabalho	12
5.1 Atividades Realizadas	12
5.1.1 Área 1 – Inapel	13
5.1.2 Área 2 – Usina Piratininga	16
5.1.3 Áreas 3 e 4 – Flamboyant e Aveiro	19
6. Resultados Obtidos	24
6.1 Área 1 – Inapel	24
6.2 Área 2 – Usina Piratininga	26
6.2.1 Perfil Usina A	26
6.2.2 Perfil Usina B	29
6.3 Área 3 – Flamboyant	31
6.3.1 Perfil Flamboyant A	31
6.3.2 Perfil Flamboyant B	34
6.4 Área 4 – Aveiro	36
7. Conclusões	38
Referências Bibliográficas	39

Agradecimentos

Primeiramente a minha família, minha mãe Vânia Lazaneo, ao meu pai Arnaldo José Sanchez, meus avôs Juraj, Leonor, José e Ana Maria, que sem eles eu não estaria aqui.

Aos meus irmãos Arnaldo Raphael e Ivan.

Meus grandes amigos de Poá: Mauri, Juno, Layenta, Max e Fritas por todos os momentos.

Minha amiga Talita pela ajuda com traduções e revisões.

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas pela orientação e amizade.

Prof. Dr. Francisco Yukio Hiodo, ao técnico Paulinho e ao Mestre Cláudio Márcio Almeida Pereira pela ajuda durante os trabalhos de campo.

Empresa EMAE pelo acesso a área para pesquisa.

Pessoal da Geo Júnior consultoria, pelos grandes momentos de discussões e amizade.

A todo o pessoal da ERM.

À FAPESP que disponibilizou os recursos necessários, tanto financeiros como a infra-estrutura de equipamentos para viabilização deste TF via Projeto de Pesquisa processo 2007/50754-0.

Resumo do Projeto

A emanometria de gás radônio foi realizada em três municípios do estado de São Paulo e os resultados comparados com a eletrorresistividade, tendo sido observada uma boa correlação entre os dois métodos. A prospecção de fraturas em rochas ígneas ácidas para locação de poços tubulares de abastecimento de água é o objetivo da eletrorresistividade – anomalias de baixas resistividades – e da emanação natural de gás radônio – valores mais elevados de emanação deste gás.

A prospecção destas fraturas pelos referidos métodos é eficiente, mas nem sempre estas estruturas contêm água. De uma maneira geral, as anomalias de radônio são coincidentes com as de eletrorresistividade, podendo a emanação do gás ser um método complementar ou, dependendo das condições, até ser utilizado como único método de prospecção em aquíferos fraturados.

Abstract

The Radon emanometry has been made in three different towns of São Paulo and the results have been compared to the electroresistivity of the same gas and it has been observed a good correlation between both methods. The fractures prospection in acid igneous rocks for the location of supply tubular wells is the aim of the electroresistiviy - low resistivity anomalies – natural emanation of Radon gas – higher values of this gas emanation.

The prospection of these fractures by those methods is efficient, but these structures do not always contain water. Generally the Radon anomalies are coincident with those from the electroresistivity, and the Radon emanation can be an additional method or, depending on the conditions, it can be used as the only prospection method in fractured aquifers.

1. Introdução

Em áreas densamente urbanizadas, o método geofísico da eletrorresistividade, que proporciona ótimas respostas para locação de poços em aquíferos fraturados é, por vezes, inviável, uma vez que necessita de extensas linhas para ser executado e, principalmente, é bastante suscetível a diversos tipos de interferências (elétricas, tubulações etc).

Desta forma, é proposta a emanometria de radônio, um método ainda não muito utilizado para o fim de prospecção de água subterrânea e que oferece algumas vantagens por não ser suscetível a interferências como a eletrorresistividade.

Este trabalho foi realizado em paralelo com a dissertação de mestrado “Mapeamento de Aquíferos Fraturados Empregando Métodos Geoelétricos e Emanação Natural de Radônio” de Cláudio Márcio Almeida Pereira. As atividades de campo foram feitas em conjunto, porém, os dados foram tratados e interpretados separadamente.

2. Objetivos

Este trabalho tem como principais objetivos avaliar a viabilidade do método de emanação natural de radônio e comparar com dados levantados de eletrorresistividade pré-existentes ou adquiridos neste trabalho, determinando anomalias nestes parâmetros que indiquem locais favoráveis à locação de poços tubulares para captação de água.

Estes parâmetros, quando anômalos, podem ser associados a fraturas e falhamentos nas rochas ígneas ou metamórficas que nestes tipos de litologias são as estruturas que abrigam os possíveis aquíferos.

3. Radônio e Trabalhos Prévios

Nos Estados Unidos da América as pesquisas de distribuição de concentração de radônio no solo foram conduzidas para exploração de urânio na década de 50. O radônio é elemento filho do urânio (^{238}U) e altas concentrações de radônio indicavam presença de corpos mineralizados em urânio. O radônio é o único elemento filho gasoso do urânio, e como é um gás nobre, pode migrar com muito mais facilidade que qualquer outro elemento filho. Por essa razão, o radônio pode ser utilizado para avaliar o quão extenso e o quão profunda é a mineralização com um pequeno número de amostras (Gates & Gunderssen, 1992).

Coincidemente com o declínio da exploração de urânio, ambientalmente o radônio se tornou um problema a se considerar. Por exemplo, mineradores de urânio expostos a altas concentrações de radônio contraíram mais câncer de pulmão que a média da população. Quando concentrações de radônio em residências norte americanas excederam as concentrações das minas de urânio, o radônio tornou-se um sério problema ambiental. A

agência de proteção ambiental dos Estados Unidos estimou em 15.000 a 25.000 mortes causadas por câncer de pulmão induzidos por radônio por ano (Gates & Gunderssen, 1992).

3.1 Formação e Migração do Radônio

Após um decaimento radioativo, o núcleo ainda não possui uma organização interna estável. Assim, ele executa outra transmutação para melhorá-la e, ainda não conseguindo, prossegue até atingir a configuração de equilíbrio. Em cada decaimento, os núcleos emitem radiações dos tipos alfa, beta e/ou gama e cada um deles é mais organizado que o núcleo anterior (Cardoso, 2000) como mostra a figura 01.

O radônio-222 (^{222}Rn) é produzido a partir do decaimento radioativo do rádio-226 (^{226}Ra) que é um produto do decaimento do urânio-238 (^{238}U), figura 01. Outros isótopos do radônio ocorrem naturalmente, mas em menor importância devido a terem curta meia vida e serem raros. Uma exceção é o torônio (^{220}Rn , produto do decaimento do tório), que ocorre em concentrações altas suficientes e que deve ser considerado em algumas áreas. Em geral a concentração e a mobilidade do radônio no solo depende de uma série de fatores, sendo os mais importantes o conteúdo e concentração de rádio no solo, porosidade, permeabilidade para o movimento do gás e umidade. Estes fatores são, de fato, determinados por características no embasamento rochoso, depósitos glaciais, ou transporte de sedimentos de onde o solo é derivado, assim como clima, idade e maturação do solo (Gundersen et al., 1992 e Choubey et al., 1999).

O transporte do radônio nos solos ocorre por dois processos, (1) fluxo convectivo (vertical) ou advectivo (horizontal), e (2) difusão (Tanner, 1964 apud Gundersen, 1992). Difusão é o processo dominante de transporte em solos de baixa permeabilidade (geralmente abaixo de 10^{-7} cm/s) (Sextro et al., 1987 apud Gundersen, 1992). A distância de transporte do radônio é limitada em solos de baixa permeabilidade porque o radônio pode percorrer pequenas distâncias antes de decair (o radônio tem uma meia vida relativamente curta em torno de 3825 dias) (Gundersen et al., 1992).

Quando o rádio decai no solo, nem todo o radônio produzido será móvel. A porção de radônio liberado nos poros e nas fraturas de solos e rochas é chamada de fração emanada. Quando o átomo de rádio decai para radônio, a energia gerada é forte o suficiente para mandar o átomo de radônio a uma distância de aproximadamente 40 nm (igual a 10^{-9} m). Isto é conhecido como *Alpha Recoil* (Tanner, 1980 apud Gundersen, 1992).

Dependendo de onde o rádio está distribuído no solo, uma parte do radônio pode se fixar em grãos do solo ou em grãos adjacentes antes de ser liberado para os poros do mesmo. A umidade nos poros afeta a distância que o átomo de radônio irá percorrer. Devido à água ser mais densa que o ar, o átomo de radônio irá percorrer distâncias menores em poros preenchidos por água que em poros contendo ar. Consequentemente, a umidade

diminui as chances do átomo de radônio fixar-se em um grão adjacente. De qualquer modo, uma alta umidade pode bloquear os poros do solo e impedir o movimento do radônio (Gundersen et al., 1992).

Assim, a concentração de radônio pode variar mais que uma ordem de magnitude com a sazonalidade e até 200% de um dia para o outro, apenas com variações temporais, como chuvas, temperatura etc (Schumann et al., 1992 e Lucas & Ribeiro, 2007).

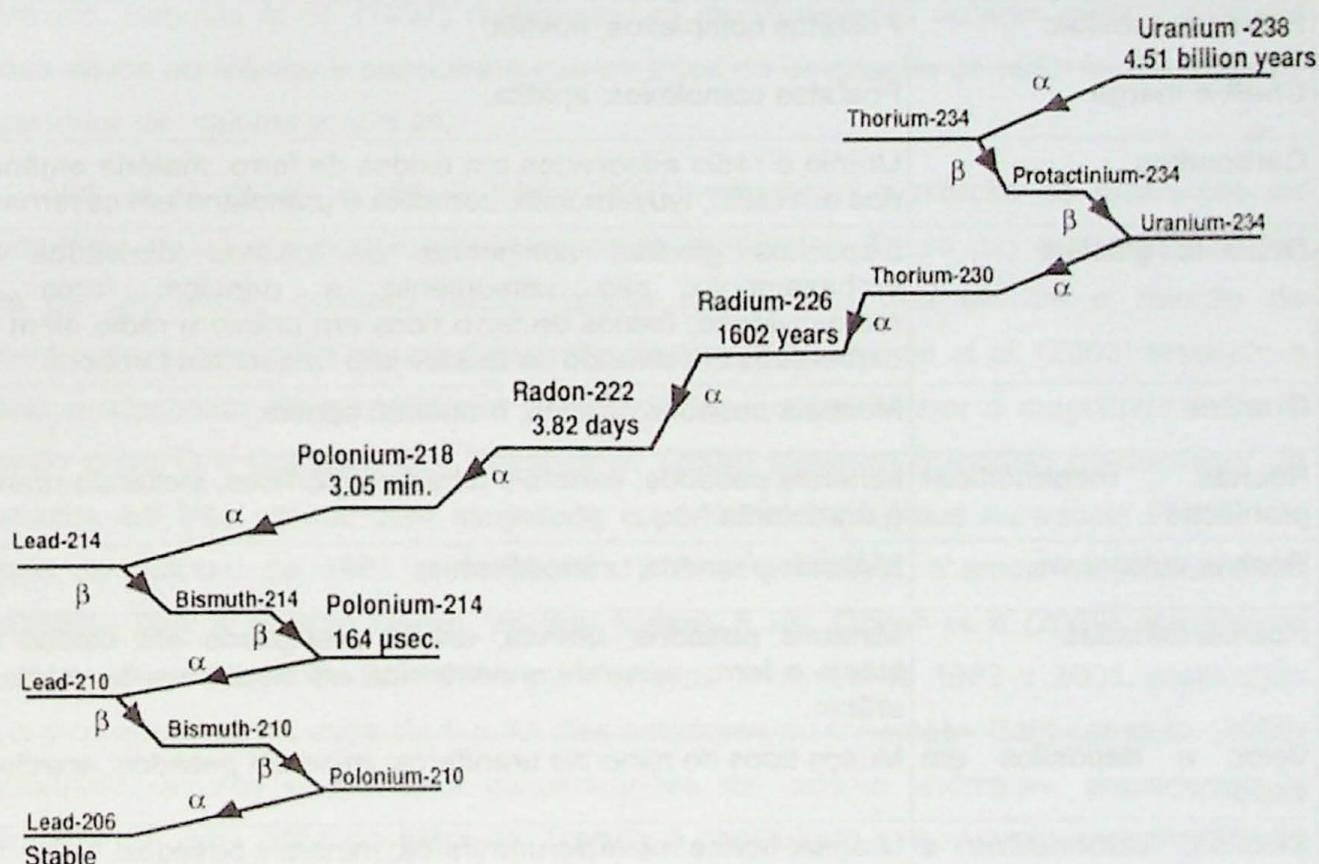


Figura 01: Série de decaimento do Urânio-238 (Gundersen, 1992).

3.2 Dados Geológicos do Radônio

Informações do tipo e da distribuição de unidades litológicas e outras feições geológicas em uma avaliação da área são de fundamental importância. Rochas com altas concentrações naturais de rádio e urânio são ilustradas na Tabela 1.

Tabela 1: Compilação de dados expondo as rochas com maiores concentrações de rádio e urânio (modificado de Gundersen et al., 1992).

Rochas	Forma com que urânio e rádio estão hospedados.
Xistos com matéria orgânica e carvão natural	Compostos orgânicos ricos em urânio; autunita; tyuyamunite.
Arenitos glauconíticos	Óxidos de ferro ricos em urânio e rádio; minerais pesados.
Arenitos fluviais e lacustres	Depósitos de <i>roll front</i> , incluindo uranita, coffinita, pitchblenda, minerais uraníferos secundários (tyuyamunite, carnotita, uranofano e outros vanadatos de urânio); urânio e rádio adsorvidos em matéria orgânica; óxidos de ferro e titânio; depósitos de <i>placer</i> , onde incluem minerais pesados.
Fosforito e fosfato	Fosfatos complexos; apatita.
Chalk e marga	Fosfatos complexos; apatita.
Carbonatos	Urânio e rádio adsorvidos em óxidos de ferro; matéria orgânica rica em rádio; tyuyamunite, carnotita e uranofano em cavernas.
Depósitos glaciais	Depósitos glaciais compostos de clastos derivados de embasamento são comumente a principal fonte de radioatividade; óxidos de ferro ricos em urânio e rádio além de carbonatos envolvendo os clastos são frequentes também.
Granitos	Minerais pesados; uranita; branerita; apatita.
Rochas metamórficas graníticas	Minerais pesados; minerais ultrametamórficos, incluindo uranita e uranotorita.
Rochas vulcânicas	Minerais pesados; uranosilicatos.
Rochas falhadas	Minerais pesados; uranita; urânio precipitado em óxidos de titânio e ferro; minerais encontrados em depósitos de veios de urânio.
Veios e depósitos em veios	Muitos tipos de minerais uraníferos; minerais pesados; apatita.
Sienitos, carbonatitos e pegmatitos	Uranita; outros minerais uraníferos; minerais pesados.
Bauxita	Minerais pesados.

As fontes mais comuns de urânio e rádio são minerais pesados como zircão, titanita e monazita. Menos comum há fosfatos, carbonatos e minerais uraníferos. Urânio e rádio nos solos são mais frequentemente encontrados em superfícies de argilas com óxidos metálicos, especialmente óxidos de ferro com carbonato de cálcio e matéria orgânica. Contudo, casos de maior concentração de urânio e rádio estão relacionados a feições estruturais, mais notadamente falhas e zonas de cisalhamento (Gundersen et al., 1992).

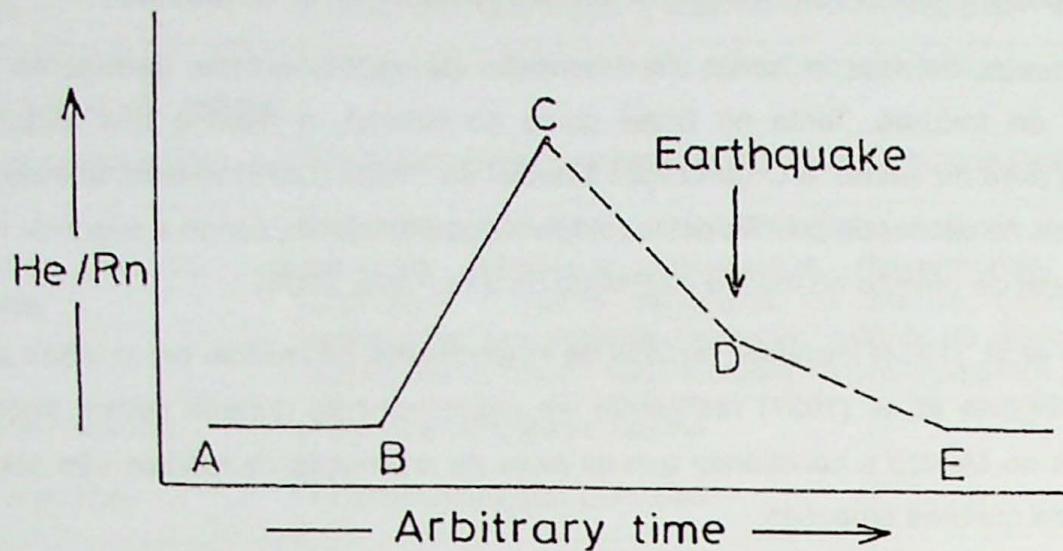
Dois dos maiores casos conhecidos de ocorrências de concentrações internas de radônio nos Estados Unidos estão associados com zonas de falhas cisalhadas perto de Boryertown, Pennsylvania (Gundersen, 1991).

3.3 Estudos Prévios com Utilização de Emanometria do Gás Radônio

Há poucos estudos a cerca da emanação de radônio como ferramenta para mapeamento de fraturas. Tanto no Brasil como no exterior, a maioria dos estudos é relacionada à área da saúde. A Organização Mundial da Saúde (OMS) revelou que de 10 a 15% dos casos de câncer de pulmão estão relacionados ao radônio, sendo a segunda maior causa de câncer de pulmão no mundo (O Estado de São Paulo, 2006).

Seidel et al. (1984) iniciaram estudos de emanometria de radônio em vulcões ativos no México. Segovia et al. (1997) realizaram um monitoramento durante quatro anos em vulcões ativos no México e concluíram que os picos de emanação de radônio são gerados em períodos de maiores erupções.

Virk et al. (2001) e Virk & Walia (2001) estudaram a relação de emanação de hélio/radônio como um modelo predecessor de terremotos (figura 02) e concluíram que antes de um sismo ocorrem micro fraturas nas rochas que elevam a relação de concentração entre He/Rn alguns dias antes de terremotos. Walia et al. (2003) testaram o modelo predecessor de terremotos e concluíram que quanto maior a magnitude maior o intervalo entre C e D (figura 02). Walia et al. (2006) testaram o modelo predecessor de terremotos em três sismos com magnitude superior a cinco graus na escala Richter no período de outubro de 1991 a março de 1999 no Himalaia, obtendo resultados mais satisfatórios com a relação He/Rn, do que apenas o Rn. Ghosh et al.(2009) compilaram trabalhos de emanometria de radônio relacionados a sismos de 1983 a 2001, mostrando que o pico predecessor varia de 1 a 33 dias anteriores ao terremoto. Baykara et al. (2009) monitoraram durante seis meses concentrações de radônio anômalas, precedentes a terremotos em uma zona de falha na Turquia e concluíram que quando a concentração supera duas vezes o valor de background há 90% de haver um terremoto nos dias posteriores.



A-B : He/Rn ratio under normal condition

B-C : Rise in He/Rn ratio as stresses accumulate at depth

C-D : Drop in He/Rn ratio prior to triggering of the shock

D-E : Drop back in He/Rn ratio after the shock

Figura 02: Modelo conceitual para explicar a mobilidade da razão hélio/radônio previamente a um terremoto (Virk et al., 2001)

King et al. (1995) estudaram quatro zonas de falhas ativas na Califórnia e concluíram que as medições em cima da zona de falha têm valores superiores a uma ordem de grandeza comparada a valores de background. Ioannides et al. (2003) estudaram cinco zonas de falhas ativas na Grécia e concluíram que os valores em cima das zonas de falha têm concentrações de duas a seis vezes o background na média. Inceöz et al. (2006) realizaram estudos com emanometria de radônio sobre uma seção perpendicular e espaçamento constante de 5 metros em uma zona de falhamentos ativa na Turquia, concluindo que as medidas realizadas exatamente na zona de falha possuem elevadas concentrações de Rn e o aumento da concentração do gás não é linear.

Garcia Gonzalez et al. (2008) executou emanometria de radônio em um perfil A-A' seguindo a linha de fluxo para delimitar uma pluma de NAPL já conhecida, chegando a resultados animadores. Os autores concluíram que as concentrações de radônio são inversamente proporcionais à espessura da fase livre (figura 03)

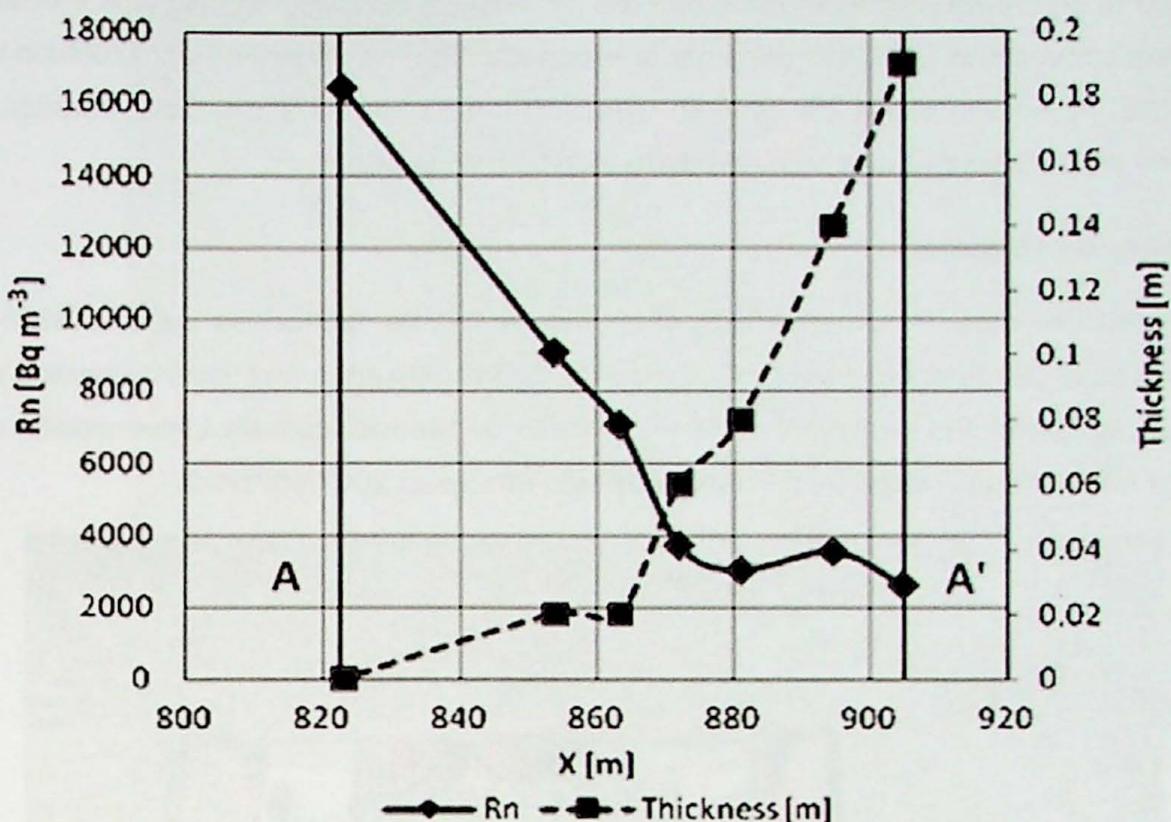


Figura 03: Relação inversamente proporcional entre concentração de radônio e espessura de fase livre (Garcia Gonzalez et al., 2008)

Reddy et al. (2006) realizaram levantamentos de emanometria de gás radônio e locaram três poços em um mesmo perfil: MW-1 em uma forte anomalia de radônio, MW-2 em uma zona de baixa anomalia e MW-3 em uma zona sem anomalia de radônio. O poço alocado em cima da forte anomalia de radônio foi o mais produtivo, com uma vazão de 4,5 litros por segundo, enquanto o poço alocado onde não havia anomalia nem água deu. Os resultados são sumarizados na tabela 2.

Tabela 2: Poços locados com a pesquisa de emanação de radônio (modificado de Reddy et al., 2006).

Poço	Concentração de radônio (kBq/l)	Profundidade do poço (m)	Vazão durante a instalação do poço (lps)
MW-1	233	91.5	4.5
MW-2	42	64.0	0.5
MW-3	42	55.0	Sem água

One (1998) realizou estudos na região de Itu para prospecção de água em fraturas de rocha, obtendo um resultado muito significativo.

Hiodo et al. (2003) utilizaram emanometria de radônio, espectrometria gama e outros métodos geofísicos como GPR, caminhamento eletromagnético e caminhamento elétrico na região de Itu. A emanometria de radônio nesse trabalho foi utilizada para estudar a circulação da água pelas fraturas com resultado significativo também.

4. Materiais e Métodos

Os equipamentos Terrameter SAS 4000 (figura 04) de fabricação sueca ABEM e Markus 10 (figura 05) também sueco, Gammadata foram utilizados nos levantamentos de campo. São equipamentos de propriedade do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo e adquiridos no âmbito do Projeto Fapesp, Processo 2007/50754-0.

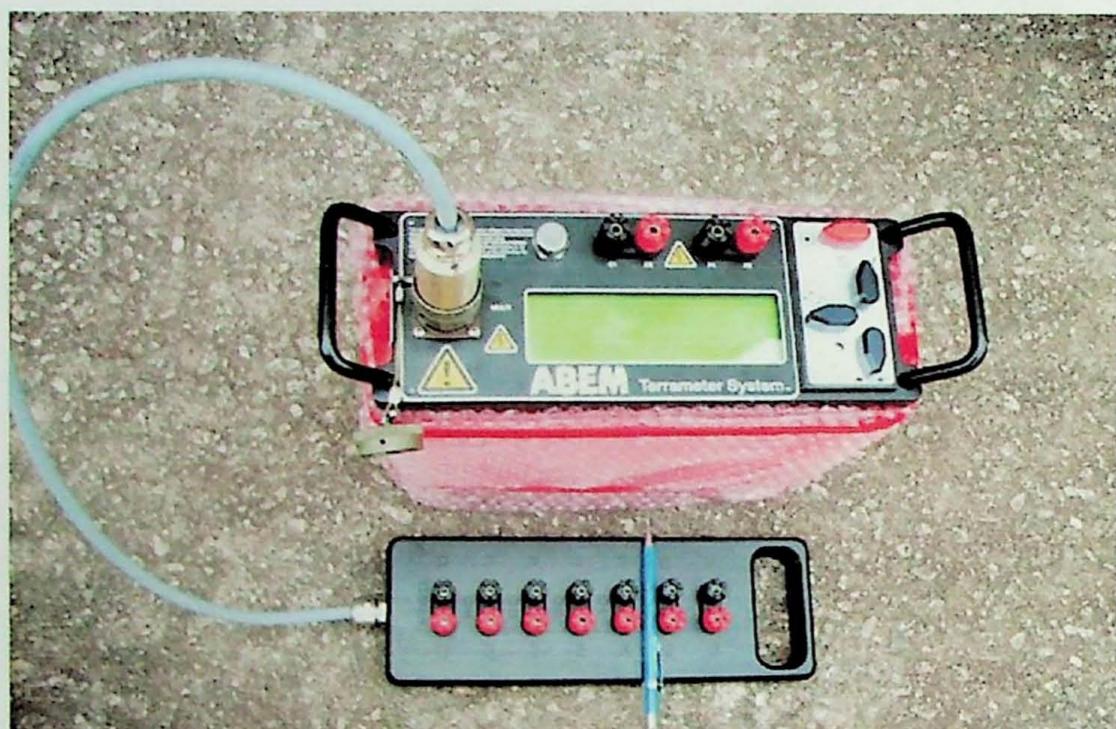


Figura 04: Equipamento ABEM Terrameter SAS 4000 usado nos levantamentos de eletrorresistividade



Figura 05: Equipamento Gammadata Marcus 10 usado nos levantamentos de emanação de Radônio (Pereira, 2009).

Os métodos geofísicos utilizados foram a eletrorresistividade (Caminhamento Elétrico com arranjo dipolo-dipolo) e emanometria de radônio.

Para interpretação dos dados foram utilizados os softwares Res2Dinv para inversão de dados de resistividade e Surfer (Golden Softwares) para interpolação dos dados.

4.1 Eletrorresistividade

É um método geofísico que obtém valores de resistividade de materiais geológicos em subsuperfície de forma indireta.

As medidas de eletrorresistividade são realizadas introduzindo uma corrente elétrica no subsolo através de uma fonte artificial utilizando dois pares de eletrodos em contato galvânico com o solo. A diferença de potencial causada pela passagem desta corrente é medida por outro par de eletrodos. Conhecendo-se as distâncias entre os quatro eletrodos pode-se determinar a resistividade do material.

Podem ser utilizadas duas técnicas para aquisição de dados de eletrorresistividade. A sondagem elétrica vertical (SEV), que visa estudo de heterogeneidades verticais como estratos e soleiras e o caminhamento elétrico que visa o estudo de heterogeneidades laterais como falhas e diques.

Neste trabalho foi utilizada a técnica do caminhamento elétrico com o arranjo dipolo-dipolo.

4.1.1 Caminhamento elétrico

É uma técnica de investigação horizontal em um ou mais níveis visando o estudo de variações laterais de resistividade no subsolo, sendo indicado para detectar falhas, fraturas, diques e outras estruturas que apresentam heterogeneidades laterais.

Há vários arranjos para a execução de caminhamento elétrico e neste trabalho foi utilizado o arranjo dipolo-dipolo.

4.1.1.1 Arranjo dipolo-dipolo

São utilizados quatro eletrodos, dois de envio de corrente A e B (dipolo transmissor) e dois para recepção M e N (dipolos receptores). Esses eletrodos são alinhados em um mesmo perfil e o espaçamento X entre os eletrodos A e B é o mesmo espaçamento X entre os eletrodos M e N (figura 06). A profundidade de investigação aumenta conforme vão se afastando os eletrodos (Gallas, 2000).

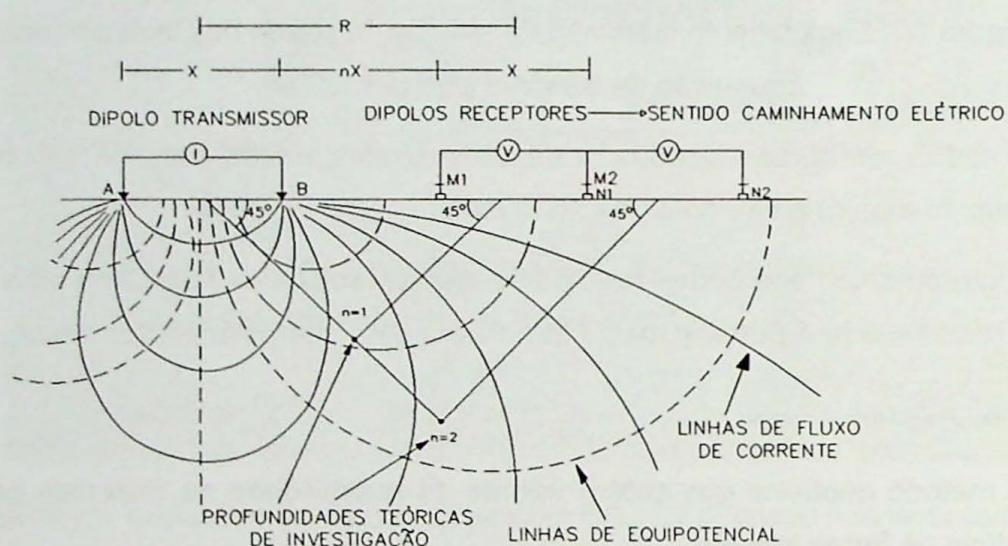


Figura 06: Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo (Gallas, 2000).

As medidas são realizadas em vários níveis de investigação, ($n = 1,2,3,4$ e 5), e atribuídas nas intersecções das linhas que partem a 45° dos centros de AB e MN é medido o valor de diferença de potencial.

A cada estação de medidas os dipolos receptores e transmissores são deslocados de uma distância X , os dados obtidos são plotados nas posições $n = 1,2,3,4$ e 5 . Depois de interpolados geram uma pseudo-seção de resistividade aparente.

O valor da resistividade elétrica é calculado pela fórmula:

$$\rho_a = K \Delta V / I$$

onde $K = 2\pi / (1/n) - (1/n+1) + (1/n+2)$

4.2 Emanometria de radônio

Uma haste oca é cravada (figura 07) aproximadamente 50 cm no solo com uma marreta. Após a cravação, coloca-se o aparelho que, ao ser acionado, começa a bombear ar durante 30 segundos e, a seguir, o ar subirá pelo orifício interno da haste até o equipamento Markus 10 durante 15 minutos. Após o término da medida o aparelho mostra o valor da emanação do radônio em kBq/m³.



Figura 07: Cravação da haste para medição da emanação de Radônio

5. Desenvolvimento do Trabalho

Entre janeiro e setembro foi realizada compilação bibliográfica sobre os métodos e sobre trabalhos anteriores. O projeto inicial foi elaborado entre os meses de fevereiro e março. A aprendizagem na operação dos equipamentos aconteceu durante os levantamentos de campo, entre os meses de janeiro a abril. O relatório parcial foi elaborado entre os meses de agosto e setembro. O tratamento e interpretação dos dados coletados em campo foram de fevereiro até outubro. A elaboração da monografia do trabalho de formatura ocorreu entre os meses de agosto e novembro.

A tabela 3 sumariza o cronograma com as atividades realizadas durante o ano. Todas as etapas foram cumpridas sem problemas.

Tabela 3: Cronograma final do trabalho de formatura

Atividade	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	
Compilação Bibliográfica												
Elaboração do Projeto Inicial												
Aprendizado na Operação dos Equipamentos												
Levantamentos de Campo												
Elaboração de Relatório Parcial												
Tratamento e Interpretação dos Dados												
Elaboração da Monografia												

5.1 Atividades Realizadas

Ao todo foram realizadas três campanhas de trabalhos de campo em quatro áreas distintas: Área 1 – Inapel, Município de Guarulhos, no dia 23 de janeiro, Área 2 – Usina Piratininga, Município de São Paulo, nos dias 17 e 18 de fevereiro, Área 3 – Flamboyant e Área 4 – Aveiro, Município de Campinas, nos dias 13 e 14 de abril.

Estes trabalhos compreenderam a aquisição de todos os dados que foram tratados e interpretados para esta monografia.

A seguir será apresentada: localização e acessos, geologia regional e local das quatro áreas estudadas.

5.1.1 Área 1 – Inapel

No dia 23 de janeiro foi realizado trabalho de campo na Rua Antônio dos Santos, próximo à empresa de embalagens Inapel Embalagens Ltda. Perfis de emanometria de radônio e de eletrorresistividade foram executados em uma linha de 160 metros (Figura 08).

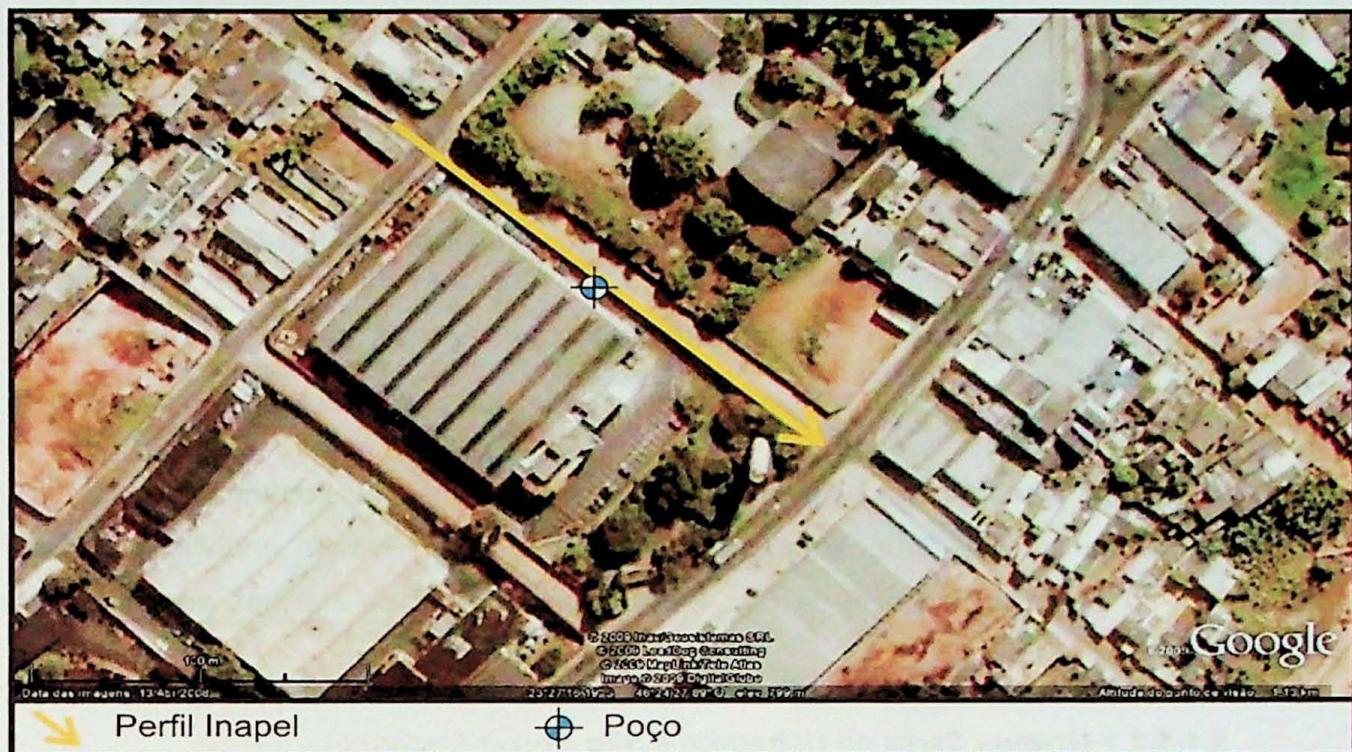


Figura 08: Perfil Inapel levantado (Imagem Google, 2009)

5.1.1.1 Localização e Acessos

A Área 1 localiza-se no município de Guarulhos, região metropolitana de São Paulo, no bairro dos Pimentas ao lado da fábrica da Inapel Embalagens Ltda., na rua Antônio dos Santos situada na latitude 23°27'13" S e longitude 46°24'30" e altitude de 800m.

O acesso é feito saindo pela marginal Tietê em São Paulo até a área 1 – Inapel, em Guarulhos segundo a Figura 09.

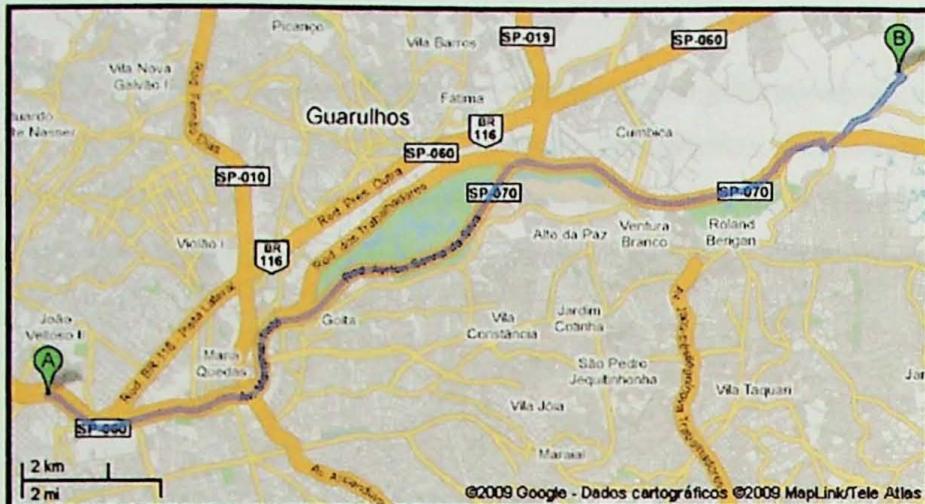


Figura 09: Mapa de localização e acessos para a Área 1 – Inapel, partindo de A: Marginal Tietê até B: Rua Antônio dos Santos (Imagen Google, 2009).

5.1.1.2 Geologia Regional

No município de Guarulhos afloram rochas e sedimentos que podem ser divididos em quatro grandes grupos: Grupos Serra de Itaberaba e São Roque (indiviso), suítes graníticas, Grupo Taubaté da Bacia de São Paulo e sedimentos de aluviões quaternários (figura 10).

5.1.1.1.1 Grupos Serra de Itaberaba e São Roque (indiviso)

Rochas metamórficas de idade proterozóica compostas por migmatitos e gnaisses, filitos e/ou metassiltíticos, micaxistos, quartzitos e metanfibolitos (Juliani, 1993).

5.1.1.1.2 Suítes graníticas

Rochas ígneas de idade neoproterozóica compostas por granitos e dioritos.

5.1.1.3 Grupo Taubaté da Bacia de São Paulo

Sedimentos paleógenos da Formação Resende, compostos por conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos grossos; subordinadamente, arenitos médios a finos e argilitos (Riccomini et al., 2004).

5.1.1.4 Sedimentos de aluviões quaternários

Compostos por areias inconsolidadas, de granulação variável; secundariamente, argilas e cascalheiras fluviais (Graça et al., 2007).

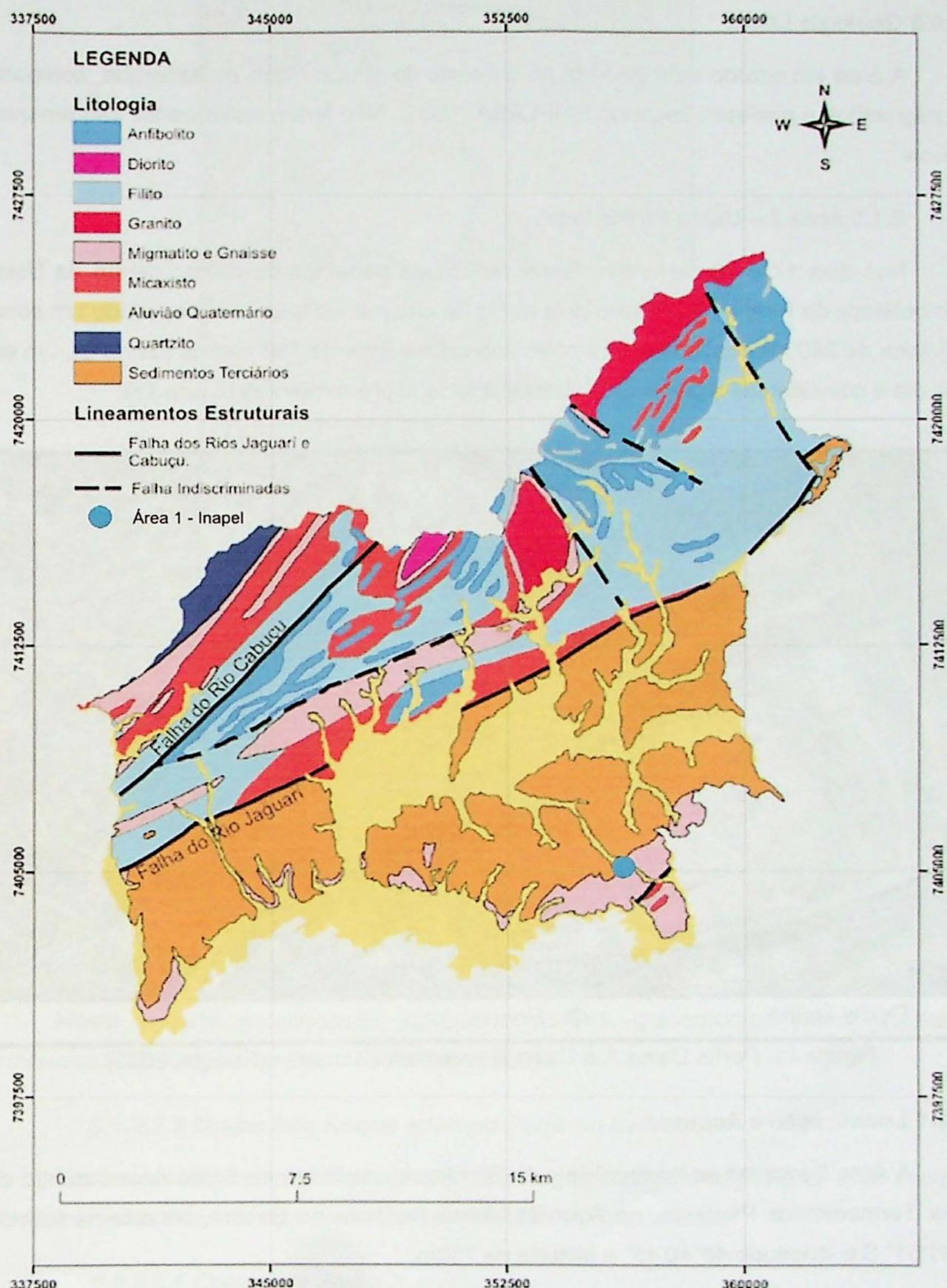


Figura 10: Mapa geológico do município de Guarulhos (Modificado de EMPLASA, 1984).

5.1.1.3 Geologia Local

A área em estudo está inserida no contexto do Grupo Serra de Itaberaba, composta por migmatitos e gnaisses segundo EMPLASA (1984). Não foram encontrados afloramentos no local.

5.1.2 Área 2 – Usina Piratininga

Nos dias 17 e 18 de janeiro foram realizados trabalhos de campo dentro da Usina Termoelétrica de Piratininga. Foram dois perfis de emanometria de radônio, sendo um sobre uma linha de 240 metros (Usina A) e outro sobre uma linha de 180 metros (Usina B), um em cada dia e coincidentes a perfis de eletrorresistividade pré-existentes (figura 11).



Figura 11: Perfís Usina A e Usina B levantados (Imagem Google, 2009).

5.1.2.1 Localização e Acessos

A Área 2 localiza-se no município de São Paulo, no bairro de Santo Amaro dentro da Usina Termoelétrica Piratinga, na Avenida Nossa Senhora do Sabará, situada na latitude 23°41'51" S e longitude 46°40'45" e altitude de 730m.

O acesso é feito saindo de São Paulo pela Marginal Tietê até a Área 2 – Usina Piratininga também em São Paulo segundo a figura 12.



Figura 12: Mapa de localização e acessos para a Área 2 – Usina Piratininga, partindo de A: Marginal Tietê até B: Av. Nossa Senhora do Sabará (Imagem Google, 2009).

5.1.2.2 Geologia Regional

No município de São Paulo afloram rochas e sedimentos que podem ser divididos em quatro grandes grupos: Sedimentos Cenozóicos, Suítes Graníticas Indiferenciadas, Grupo São Roque e Grupo Serra de Itaberaba e Complexo Embu (figura 13).

5.1.2.2.1 Sedimentos Cenozóicos

Ocorrem depósitos arenosos e subordinadamente argilas e conglomerados da Formação São Paulo, lamitos, arenitos e conglomerados da Formação Resende. E depósitos coluviais, de idade quaternária. (Fernandes et. al, 1993)

5.1.2.2.2 Suítes Graníticas Indiferenciadas

Nesta unidade encontram-se agrupados granitos, granodioritos, monzogranitos e granitóides indiferenciados. (Fernandes et al., 1993)

5.1.2.2.3 Grupo São Roque e Grupo Serra do Itaberaba

Nesta unidade encontram-se agrupados dois grupos litoestratigráficos, onde ocorrem metassedimentos de natureza diversificada e metavulcânicas básicas.

5.1.2.2.4 Complexo Embu

Nesta unidade, compostas por uma grande variedade litológica, encontram-se agrupadas as rochas mais antigas situadas na área do município, compostas por gnaisses, xistos e quartzitos.

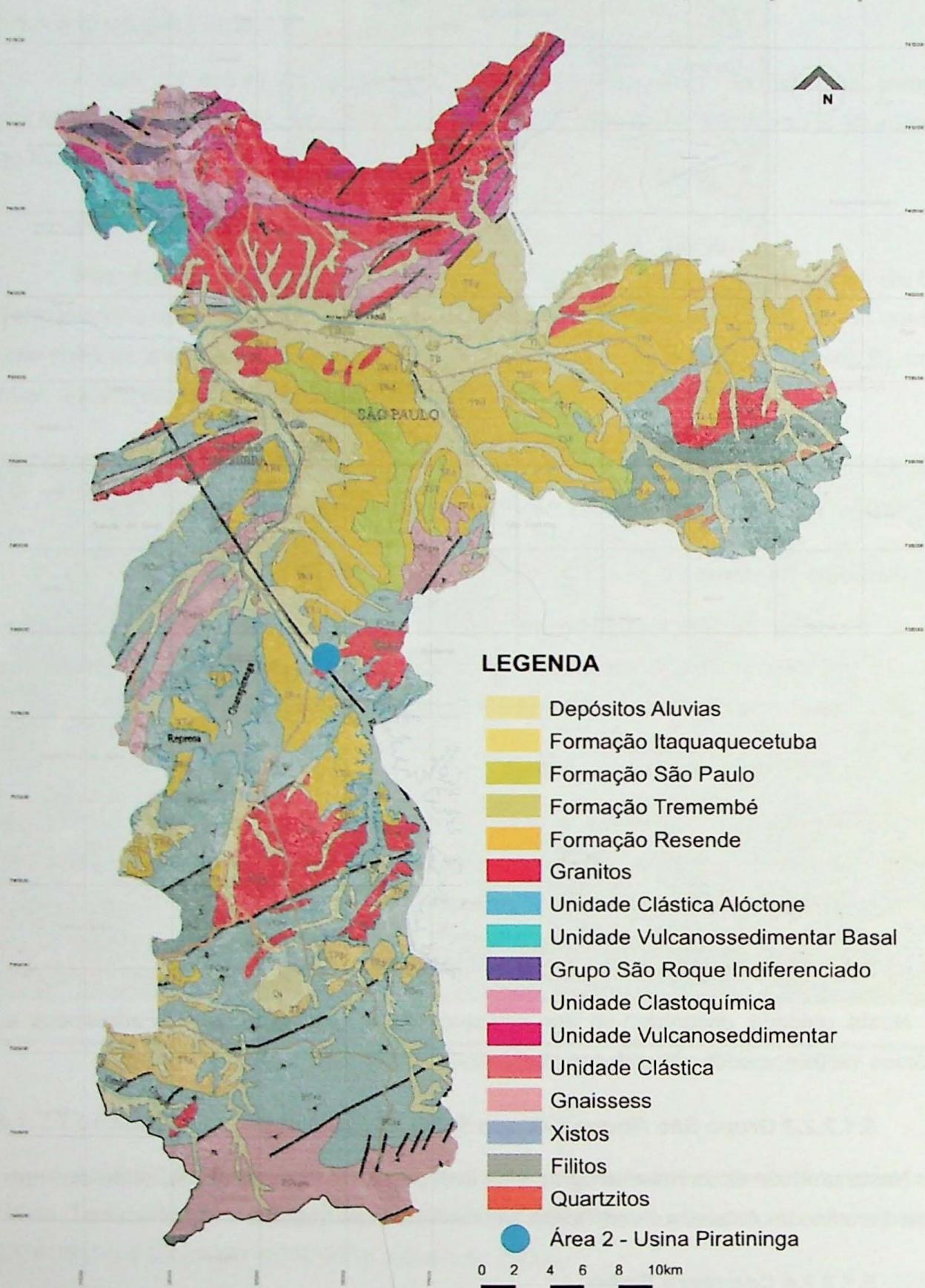


Figura 13: Mapa geológico do município de São Paulo (Modificado de Takiya et al., 2002).

5.1.2.3 Geologia Local

A área em estudo está inserida no contexto das Suítes Graníticas indiferenciadas, compostos por corpos isolados de granitos, granodioritos, monzogranitos e granitóides indiferenciados segundo (Takiya et al., 2002). Os poucos afloramentos existentes na área são de rochas graníticas de coloração acinzentada.

5.1.3 Áreas 3 e 4 – Flamboyant e Aveiro

Nos dias 13 e 14 de abril foram realizados trabalhos de campo dentro do Cemitério Parque Flamboyant. Foram executados perfis de emanometria de radônio e de eletrorresistividade sobre duas linhas: Flamboyant A de 220 metros e Flamboyant B 180 metros (figura 14).



No dia 14 de abril também foi realizado trabalho de campo dentro de um sítio produtor de mudas de plantas ornamentais. Os perfis de emanometria de radônio e de eletrorresistividade foram executados em uma linha de 140 metros (figura 15).



Figura 15: Perfil Aveiro levantados (Imagem Google, 2009).

5.1.3.1 Localização e Acessos

A Área 3 localiza-se no município de Campinas, no bairro Gramado dentro do Cemitério Parque Flamboyant, na Alameda dos Flamboyants, situada na latitude 22°54'15" S e longitude 47°00'44" e altitude de 720m.

O acesso para a Área 3 é feito saindo de São Paulo pela Marginal Tietê até a Área 3 – Flamboyant em Campinas, segundo a figura 16.

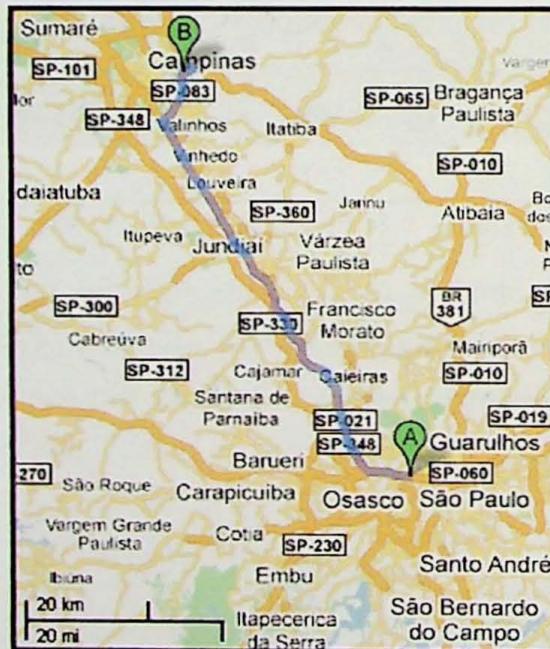


Figura 16: Mapa de localização e acessos para a Área 3 – Flamboyant, partindo de A: Marginal Tietê até B: Alameda dos Flamboyants (Imagem Google, 2009).

A Área 4 localiza-se no município de Campinas, no bairro Jardim Tamoio dentro de um sítio produtor de mudas de plantas ornamentais, próximo à Rua Vicente D' Ascenzo situada na latitude 22°55'27" S e longitude 47°00'24" e altitude de 715m.

O acesso para a Área 4 a partir da Área 3 é feito segundo a figura 17.



Figura 17: Mapa de localização e acessos para a Área 4 – Flamboyant, partindo de A: Alameda dos Flamboyant até B: Rua Vicente D' Ascenzo (Imagem Google, 2009).

5.1.3.2 Geologia Regional

Próximo ao município de Campinas afloram rochas e sedimentos que podem ser divididos em sete grupos: Depósitos aluvionares, Formação Serra Geral, Grupo Itararé, Orógeno Socorro Guaxupé, Paragnaisse Migmatítico, Ortognaisse Migmatítico e Ortognaisse Serra Negra (figura 18).

5.1.3.2.1 Q2a - Depósitos Aluvionares

Constituem depósitos nas margens, fundos de canal e planícies de inundação de rios, as areias, cascalheiras, siltos, argilas e, localmente turfas (CPRM, 2005).

5.1.3.2.2 K1δsg - Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é resultado de intenso magmatismo fissural, representado na forma de uma espessa cobertura de lavas, associado a uma extensa rede de diques e múltiplos níveis de soleiras intrudidas na pilha sedimentar, sendo representada geralmente por soleiras e diques de diabásio.

5.1.3.2.3 C2P1i - Grupo Itararé

O Subgrupo Itararé é composto de depósitos de origem glacial continental, glacial marinho, fluviais, deltáticos, lacustres e marinhos, sendo representado principalmente por arenitos de granulação variada.

5.1.3.2.4 NP3sy – Orógeno Socorro Guaxupé

Regionalmente o Orógeno Socorro Guaxupé é representados por: Granito Morungaba-tipo A, rochas alcalinas de alto potássio; Granito Morungaba-tipo I, monzogranitos e Granito Jaguariúna, granitos calcioalcalino potássicos (CPRM, 2005).

5.1.3.2.5 NPvm - Paragnaisse Migmatítico

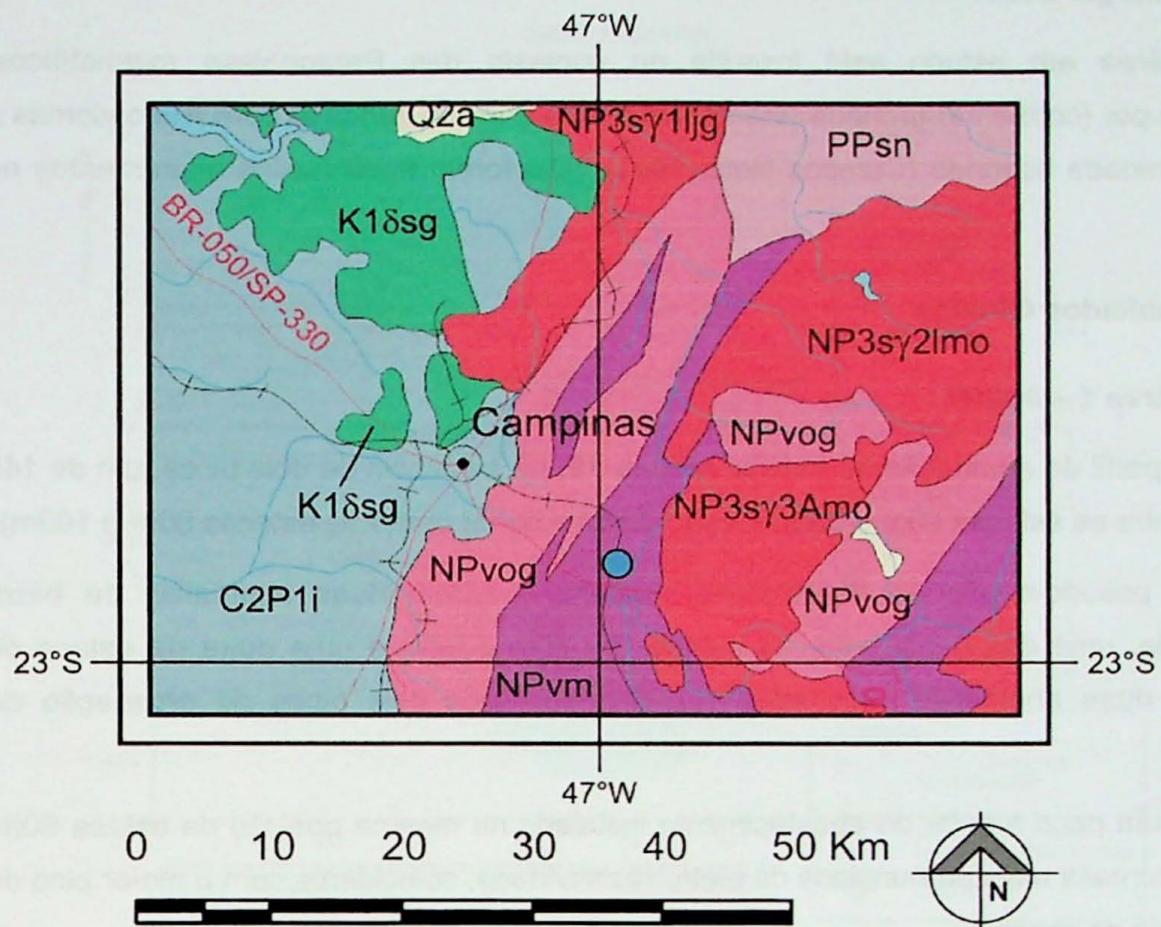
Consiste principalmente de metassedimentos migmatíticos com anatexia decrescente em direção ao topo. (Campos Neto, 1991).

5.1.3.2.6 NPvog - Ortognaisse Migmatítico

É caracterizado por biotita-hornblenda nebulito de composições granodiorítica (CPRM, 2005).

5.1.3.2.7 PPsn - Ortognaisse Serra Negra

São compostos por (hornblenda)-biotita leucogranitóides gnáissicos, parcialmente migmatíticos. (Campos Neto, 1991)



LEGENDA

- | | |
|--|-------------------------|
| Q2a | Depósitos Aluvionares |
| C2P1i | Formação Serra Geral |
| K1δsg | Grupo Itararé |
| NP3sy | Orógeno Socorro Guaxupé |
| NPvm | Paragneisse Migmatítico |
| NPvog | Ortogneisse Migmatítico |
| PPsn | Ortogneisse Serra Negra |
| ● | Áreas 3 e 4 |

Figura 18: Mapa geológico do município de Campinas (Modificado de CPRM, 1999).

5.1.2.3 Geologia Local

A área em estudo está inserida no contexto das Paragnaisse migmatíticos, compostos por (cordierita)-granada-(sillimanita)-biotita gnaisse bandado com leucossomas a biotita e granada segundo (Campos Neto, 1991). Não foram encontrados afloramentos no local.

6. Resultados Obtidos

6.1 Área 1 – Inapel

No perfil de emanação de radônio (Figura 19) há evidência de dois picos, um de 145 KBq/m³ (entre as estacas 40m e 80m) e outro de 84 KBq/m³ (entre as estacas 80m e 100m).

Na pseudo-seção de resistividade aparente ocorrem duas anomalias de baixa resistividade, uma das quais entre as estacas de 40m e 60m e uma outra na estaca de 100m. As duas anomalias registradas correspondem aos dois picos de emanação de radônio.

Há um poço tubular de abastecimento instalado na mesma posição da estaca 60m, onde há anomalia mais pronunciada de eletrorresistividade, coincidente com o maior pico de emanometria de radônio.

Esta é uma correlação positiva, pois para a alocação desse poço tanto a emanometria de gás radônio quanto a eletrorresistividade locariam o poço na mesma posição, que deve refletir uma possível concentração de fraturas na rocha.

LEVANTAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE E DE EMANAÇÃO DE RADÔNIO

ÁREA 1 - INAPEL

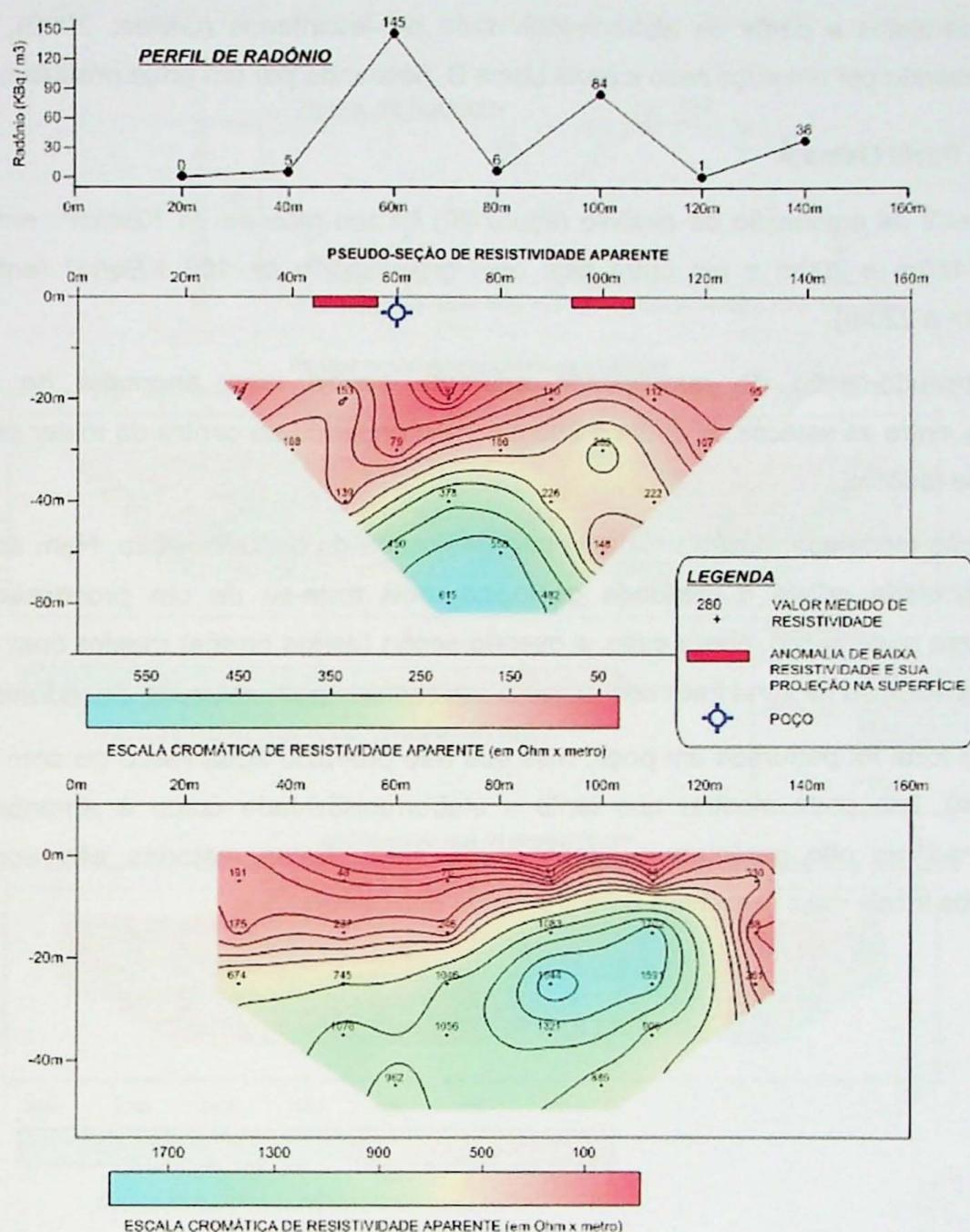


Figura 19: Perfil de emanação de radônio, pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade para o Perfil Inapel da Área 1 – Inapel.

6.2 Área 2 – Usina Piratininga

Foram levantados dois perfis de emanometria de gás radônio na área da Usina Piratininga paralelos a perfis de eletrorresistividade pré-levantados (Gallas, 2000). Perfil Usina A, passando por um poço seco e perfil Usina B, passando por um poço produtivo.

6.2.1 Perfil Usina A

No perfil de emanação de radônio (figura 20) há um pico de 74 KBq/m³ entre as estacas de 160m e 200m e um outro pico bem pronunciado de 105 KBq/m³ (entre as estacas 200m e 220m).

Na pseudo-seção de resistividade aparente ocorre uma anomalia de baixa resistividade, entre as estacas de 240m e 260m correspondendo ao centro do maior pico de emanação de radônio.

A seção modelada mostra uma anomalia deslocada da pseudo-seção. Nem sempre a seção modelada reflete a realidade geológica, pois trata-se de um processamento exclusivamente matemático. Neste caso, a pseudo-seção (dados brutos) mostra com maior precisão a localização da zona fraturada, o que é corroborado pela anomalia de radônio.

Neste local foi perfurado um poço, mas que não produziu água (seco ou com baixa produtividade). Isto pode mostrar que tanto a eletrorresistividade como a emanometria natural de radônio não garantem a presença de água. Estes métodos são somente indicativos dos locais mais favoráveis para a locação das perfurações.

LEVANTAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE E DE EMANAÇÃO DE RADÔNIO

ÁREA 2 - USINA A

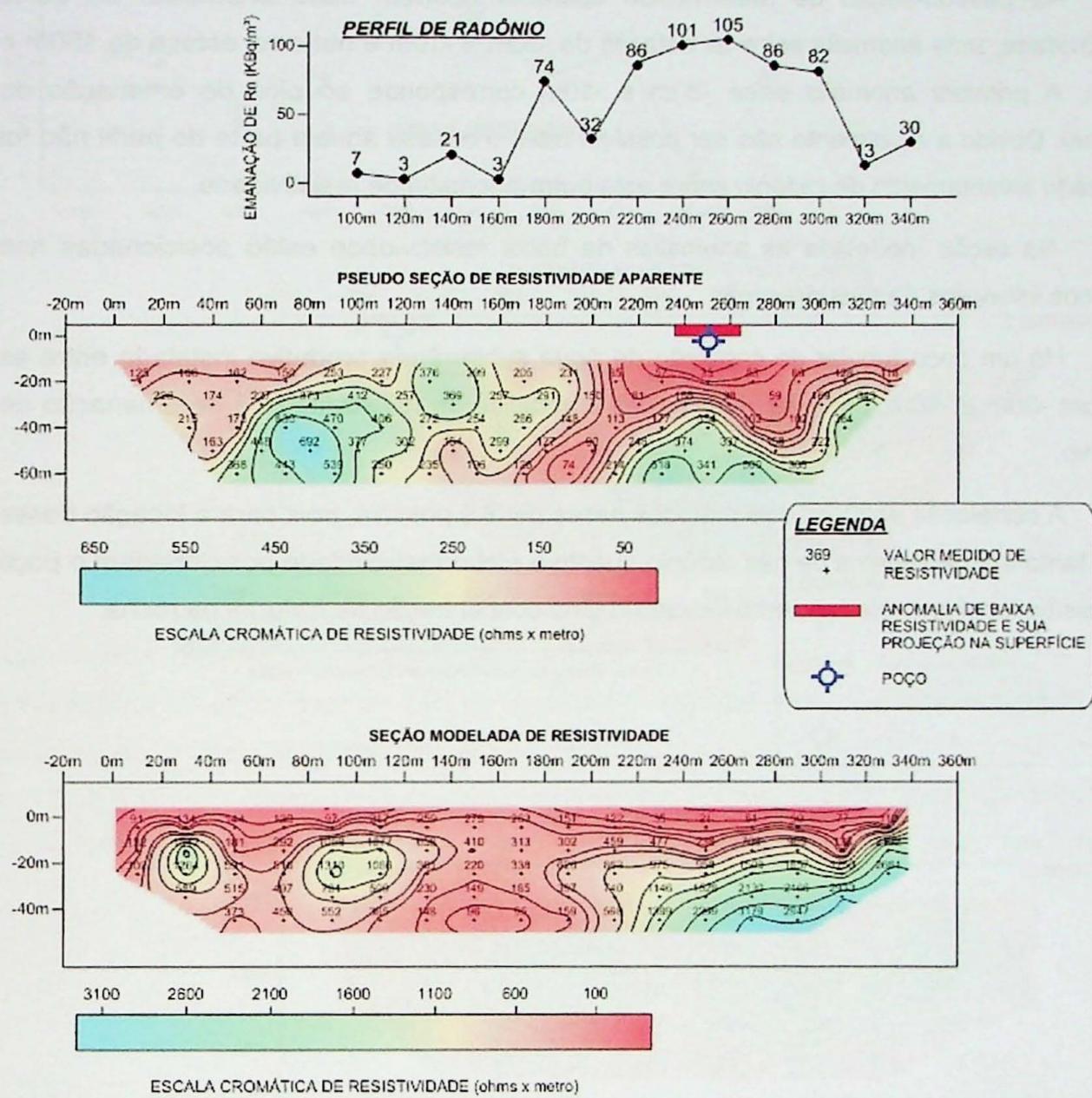


Figura 20: Perfil de emanação de radônio, pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade para o perfil Usina A da Área 2 – Usina Piratininga.

6.2.2 Perfil Usina B

No perfil de emanação de radônio (figura 21) há evidência de um pico de 158 KBq/m³ (entre as estacas -40m e 20m) e outro de 84 KBq/m³ (entre as estacas 80m e 100m).

Na pseudo-seção de resistividade aparente ocorrem duas anomalias de baixa resistividade, uma anomalia entre as estacas de -30m e -10m e outra na estaca de 150m e 170m. A primeira anomalia entre -30m e -10m corresponde ao pico de emanação de radônio. Devido a atualmente não ser possível mais o acesso àquela parte do perfil não foi realizado levantamento de radônio sobre esta outra anomalia de resistividade.

Na seção modelada as anomalias de baixa resistividade estão posicionadas nos mesmos intervalos da pseudo-seção.

Há um poço tubular de captação de água subterrânea produtivo instalado entre as estacas -30m e -10m, onde se verificam as anomalias de resistividade e de emanação de radônio.

A correlação entre os dois métodos nesse perfil é positiva, pois para a locação desse poço tanto a emanometria de gás radônio quanto a eletrorresistividade posicionariam o poço no mesmo local, que efetivamente indicaram uma concentração de fraturas na rocha.

LEVANTAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE E DE EMANAÇÃO DE RADÔNIO

ÁREA 2 - USINA B

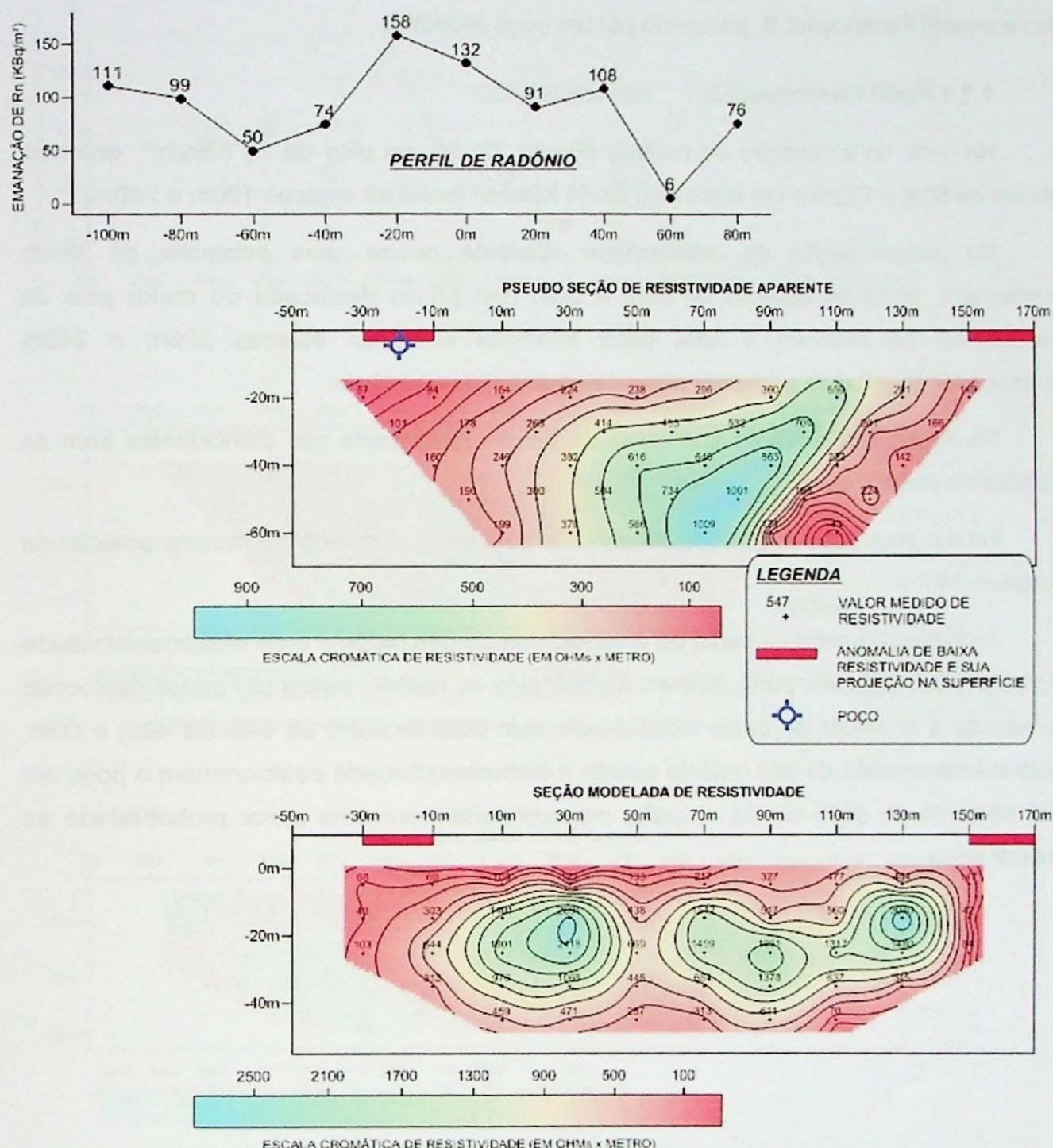


Figura 21: Perfil de emanação de radônio, pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade para o perfil Usina B da Área 2 – Usina Piratininga.

6.3 Área 3 – Flamboyant

Foram levantados dois perfis com emanometria de gás radônio e eletrorresistividade na área do Cemitério Parque Flamboyant. O perfil Flamboyant A, passando por um poço seco e o perfil Flamboyant B, passando por um poço produtivo.

6.3.1 Perfil Flamboyant A

No perfil de emanação de radônio (Figura 22) há um pico de 70 KBq/m³ entre as estacas de 80m e 120m e um outro pico de 54 KBq/m³ (entre as estacas 180m e 240m).

Na pseudo-seção de resistividade aparente ocorre uma anomalia de baixa resistividade, entre as estacas de 40m e 60m (um pouco deslocada do maior pico da emanometria de radônio) e uma outra anomalia entre as estacas 220m e 240m correspondendo próximo ao menor picos de emanação de radônio.

Na seção modelada as anomalias de baixa resistividade são coincidentes com as posições da pseudo-seção.

Há um poço tubular de abastecimento, porém seco, instalado na mesma posição da estaca de 140m.

A correlação entre os perfis de emanometria de gás radônio e de eletrorresistividade se mostra positiva nesse perfil, embora o maior pico do radônio esteja um pouco deslocado em relação à anomalia de baixa resistividade, que situa-se entre as estacas 40m e 50m. Tanto a emanometria de gás radônio quanto a eletrorresistividade posicionariam o poço em local diferente de onde ele foi alocado, provavelmente com uma maior probabilidade de produzir água.

LEVANTAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE E DE EMANAÇÃO DE RADÔNIO

ÁREA 3 - FLAMBOYANT A

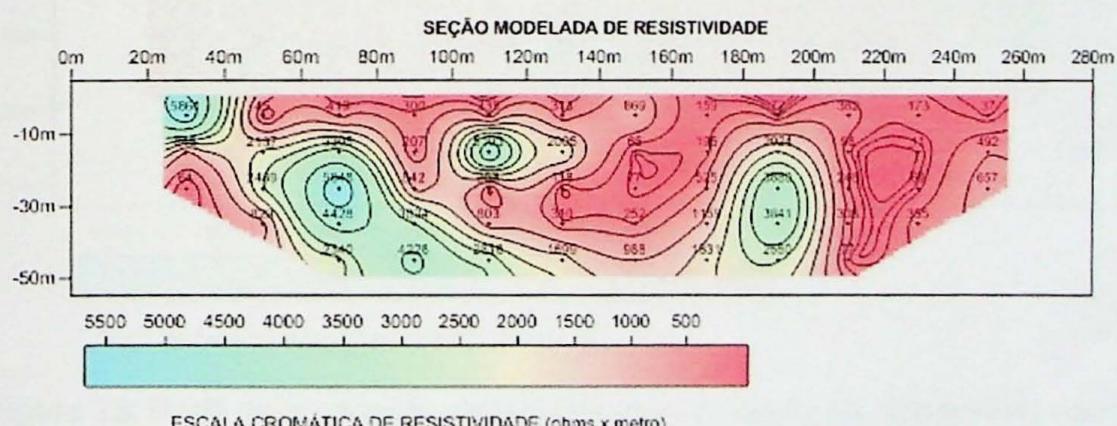
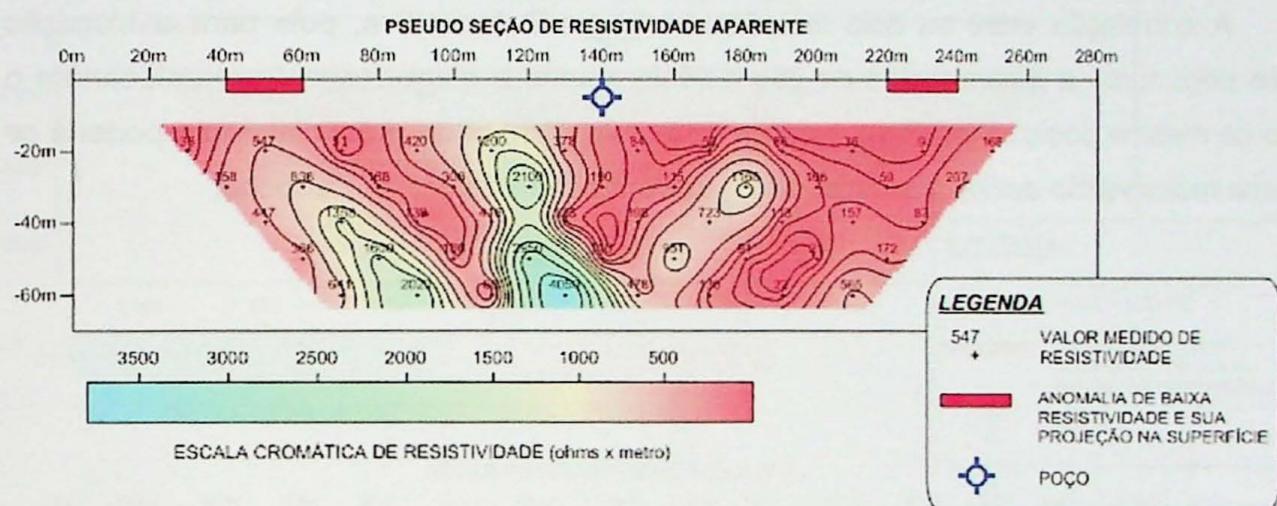
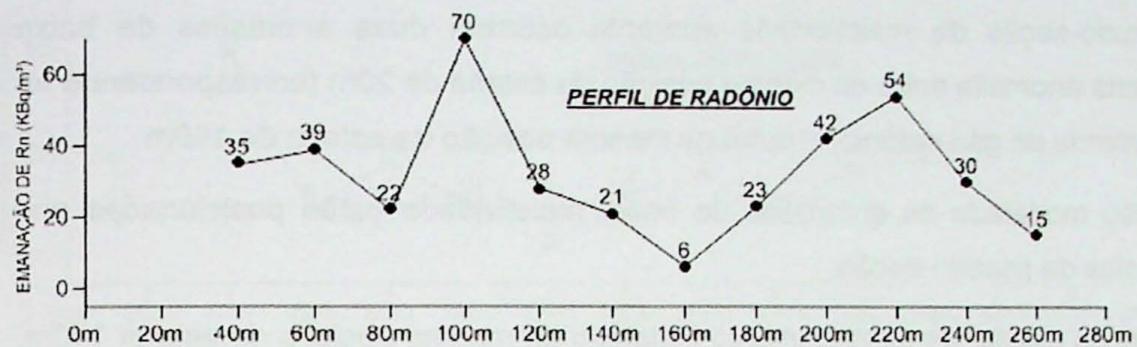


Figura 22: Perfil de emanação de radônio, pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade para o perfil Flamboyant A da Área 3 – Flamboyant.

6.3.2 Perfil Flamboyant B

No perfil de emanação de radônio (Figura 23) há evidência de um pico de 39 KBq/m³ (na mesma posição da estaca 40m) e outro de 84 KBq/m³ (entre as estacas 80m e 100m).

Na pseudo-seção de resistividade aparente ocorrem duas anomalias de baixa resistividade, uma anomalia entre na mesma posição da estaca de 20m (correspondendo ao pico da emanometria de gás radônio) e outra na mesma posição da estaca de 160m.

Na seção modelada as anomalias de baixa resistividade estão posicionadas nos mesmos intervalos da pseudo-seção.

Há um poço tubular de abastecimento instalado na mesma posição da estaca 140m, próximo a uma leve anomalia de baixa resistividade indicada na eletrorresistividade.

A correlação entre os dois métodos nesse perfil é positiva, pois para a alocação desse poço tanto a emanometria de gás radônio quanto a eletrorresistividade alocariam o poço na mesma posição (entre as estacas de 20m e 40m) onde potencialmente poderia se ter uma maior vazão devido a uma possível concentração de fraturas na rocha.

LEVANTAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE E DE EMANAÇÃO DE RADÔNIO

ÁREA 3 - FLAMBOYANT B

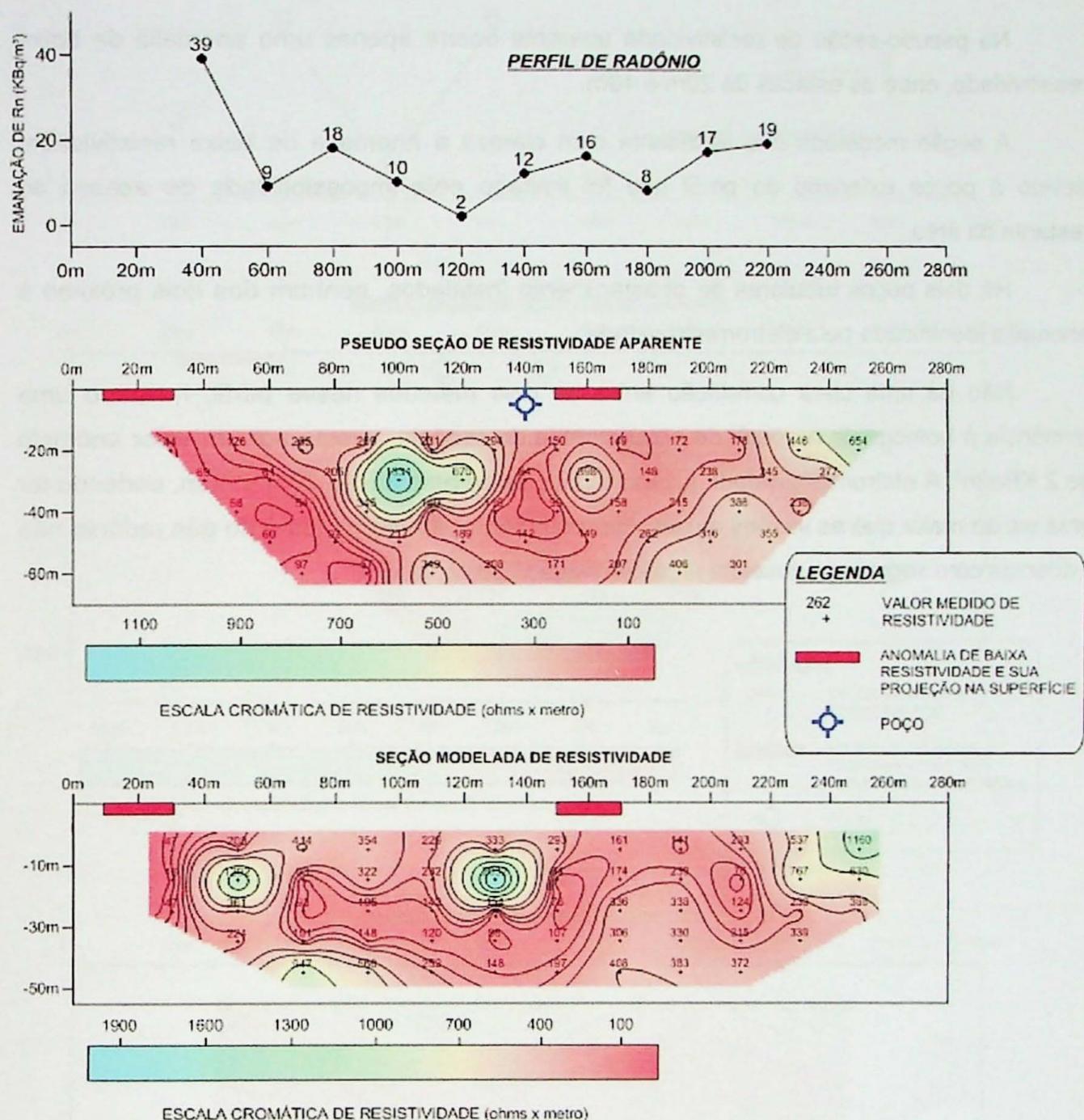


Figura 23: Perfil de emanação de radônio, pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade para o perfil Flamboyant B da Área 3 – Flamboyant.

6.4 Área 4 – Aveiro

No perfil de emanação de radônio (figura 24) não há evidência de pontos anômalos de emanação de radônio.

Na pseudo-seção de resistividade aparente ocorre apenas uma anomalia de baixa resistividade, entre as estacas de 20m e 40m.

A seção modelada não apresenta com clareza a anomalia de baixa resistividade, devido à pouca extensão do perfil que foi limitado pela impossibilidade de acesso ao restante da área.

Há dois poços tubulares de abastecimento instalados, nenhum dos dois próximo à anomalia identificada pela eletrorresistividade.

Não há uma clara correlação entre os dois métodos nesse perfil, havendo uma tendência à homogenia no perfil de emanometria de radônio, exceto por um valor anômalo de 2 KBq/m^3 . A eletrorresistividade locaria o poço entre as estacas 20m e 40m, podendo ter uma vazão maior que as vazões atuais. Aparentemente, a emanometria do gás radônio não evidencia com segurança absoluta uma correlação com a fratura.

LEVANTAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE E DE EMANAÇÃO DE RADÔNIO

ÁREA 4 - AVEIRO

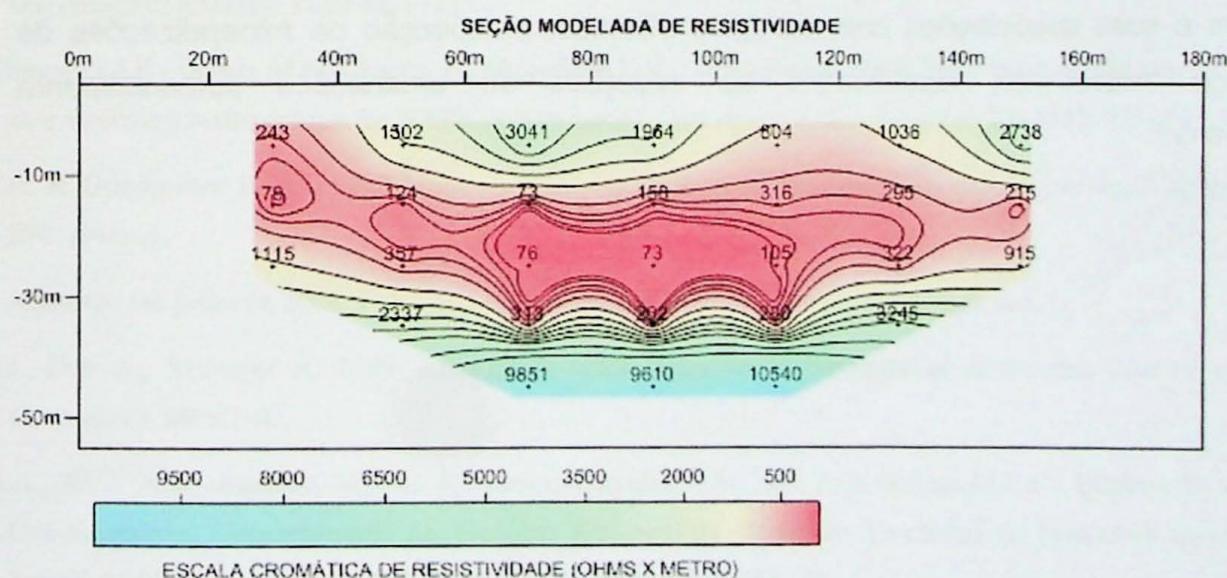
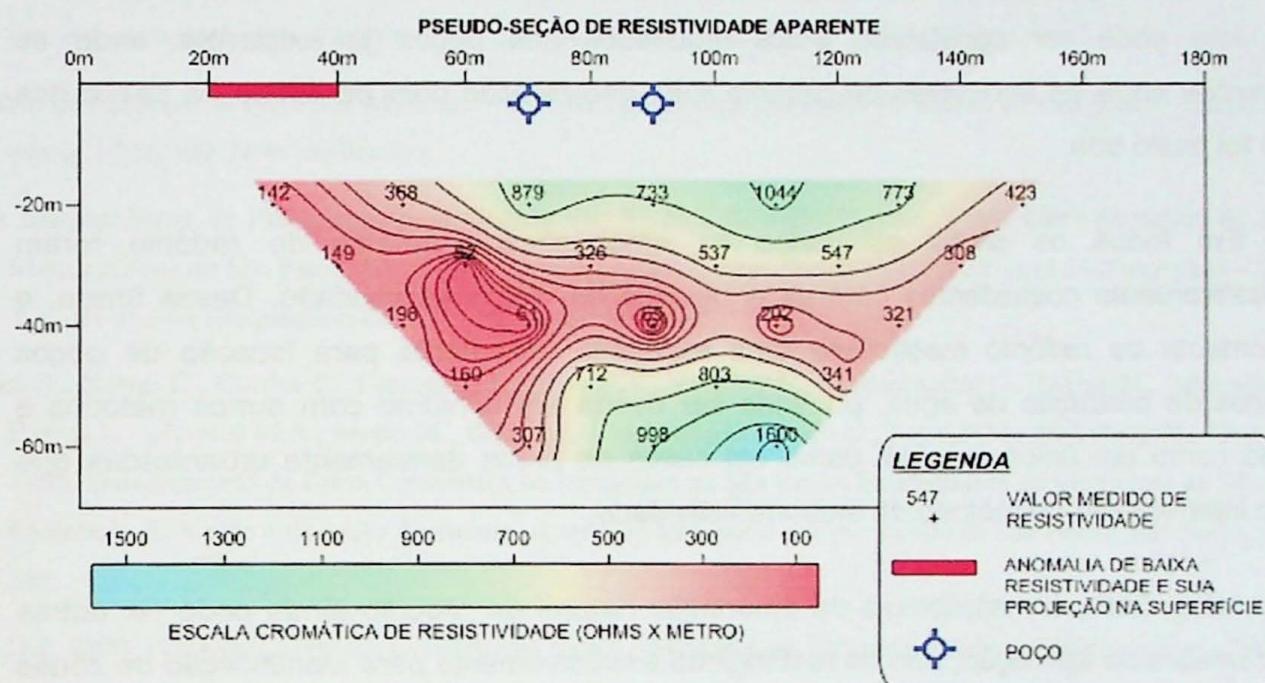
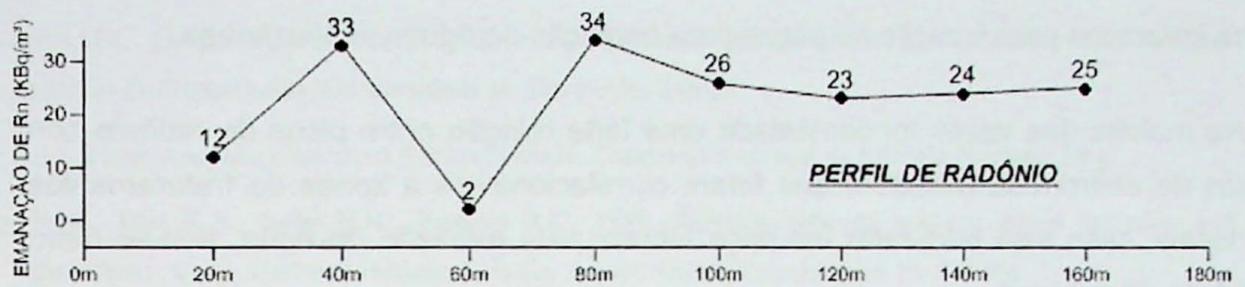


Figura 24: Perfil de emanação de radônio, pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade para o perfil Aveiro da Área 4 – Aveiro.

7. Conclusões

A análise dos resultados apresentados neste Trabalho de Formatura indica que a emanação natural de radônio e a eletrorresistividade são métodos eficientes na identificação de zonas fraturadas para locação de poços para captação de águas subterrâneas.

Na maioria das vezes foi constatada uma forte relação entre picos de radônio com anomalias de eletrorresistividade e que foram correlacionáveis a zonas de fraturamentos. Nestes locais, caso seja perfurado um poço tubular para extração de água, tem-se maior possibilidade de sucesso.

Isto pôde ser constatado pelos resultados dos poços já existentes onde as correlações entre as anomalias de radônio e as geoelétricas com os dados de vazão dos poços foi muito boa.

Em todos os perfis estudados as emanações anômalas de radônio foram significativamente coincidentes com as anomalias de eletrorresistividade. Dessa forma, a emanometria de radônio mostrou-se uma excelente ferramenta para locação de poços tubulares de produção de água, podendo ser usada em conjunto com outros métodos e mesmo como um único método, como em casos de áreas densamente urbanizadas que geram interferência no método da eletrorresistividade.

Além disso, a metodologia da emanação natural de radônio ainda pode ter outras possibilidades de aplicação, não se restringindo exclusivamente para identificação de zonas fraturadas. Outros empregos poderiam ser na diferenciação de backgrounds de emanações diferentes e suas associações com litologias distintas, prospecção de mineralizações de urânio ou mesmo na identificação de situações de emanações potencialmente cancerígenas.

Referências Bibliográficas

- Baykara O., İnceöz M., Doğru M., Aksoy E., Külahc F. 2009. Soil radon monitoring and anomalies in East Anatolian Fault System (Turkey). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **279**: 159–16.
- Campos Neto M.C. 1991. Porção ocidental da faixa alto rio grande - ensaio de evolução tectônica. Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 210 p.
- Cardoso E.M. 2000. Apostila Educativa Radioatividade. Comissão Nacional de Energia Nuclear, 19 p.
- Choubey V.M., Bist K.S., Saini N.K., Ramola R.C. 1999. Relation between soil-gas radon variation and different lithotectonic units, Garhwal Himalaya, Índia. *Applied Radiation and Isotopes*, **51**: 587-592.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. 1999. Projeto integração geológico-metalogenética Folha Rio de Janeiro, carta geológica, Campinas, SF-23-Y-A. Escala: 1:250.000.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. 2005. Mapa geológico do Estado de São Paulo - integração na escala 1:750.000. Nota explicativa.
- Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S.A. – EMPLASA. 1984. Carta geológica da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: Emplasa, 1984. 1 carta. Escala 1:50.000. Folhas 34 (Guarulhos – SF. 23-Y-C-III-4) e 44 (Itaquaquecetuba – SF. 23-Y-d-13).
- Fernandes A., Kawai C., Gurdos C., Carrega D.L., Silva F.N., Villroter F., Beuttenmuller G., Takiya H., Menegasse L., Barros L., Oliveira M.A., Motta M., Diniz M., Landgraf J.O., Prado O., Sepe P.M., Nishimoto V., Newerla V. 1993. Detalhamento da Carta Geotécnica do Município de São Paulo. In: Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, A questão ambiental urbana: cidade de São Paulo, São Paulo, p. 381-388.
- Gallas J.D.F. 2000. Principais Métodos Geoelétricos e suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 174 p.
- García-González J.E., Ortega M.F., Chacón E., Mazadiego L.F., De Miguel E. 2008. Field validation of radon monitoring as a screening methodology for NAPL-contaminated sites. *Applied Geochemistry*, **23**: 2753–2758.
- Gates A.E. & Gundersen L.C.S. 1992. Geologic Controls on Radon. *Geological Society of America – Special Paper*, **271**: preface.
- Google. Acessado em julho de 2009. Fotos de Satélite. Disponível em: <<http://maps.google.com>>.
- Ghosh D., Deb A., Sengupta R. 2009. Anomalous radon emission as precursor of earthquake. *Journal of Applied Geophysics*, **69**: 67–81.
- Graça B.A., Saad A.R., Andrade M.R.M de, Santos Oliveira A.M. dos, Etchebehere M.L.C., Queiroz W. de. 2007. Condicionantes Geoambientais no Processo Histórico da Ocupação Territorial do Município de Guarulhos, Estado de São Paulo, Brasil. *Revista UNG – Geociências*, **6**: 163-190.
- Gundersen L.C.S. 1991. Radon in Sheared Metamorphic and Igneous Rocks. In: Field Studies of Radon in Rocks, Soils and Water. *U.S. Geological Survey Bulletin* **1971**: 39-51.

- Gundersen L.C.S., Schumann R.R., Otton J.K., Dubiel R.F., Owen D.E., Dickinson K.A. 1992. Geology of Radon in the United States. In: Gates, A.E. et al. *Geologic Controls on Radon*. *Geological Society of America – Special Paper*, 271: 1-16.
- Hiodo F.Y., Porsani J.L., Elis V.R. 2002. Técnicas Nucleares Usadas na Localização de Zonas de Fraturas nos Granitos de Itu. *Revista Brasileira de Geofísica*, 20: 129-134.
- Inceöz M., Baykara O., Aksoy E., Dogru M. 2006. Measurements of soil gas radon in active fault systems: A case study along the North and East Anatolian fault systems in Turkey. *Radiation Measurements*, 41: 349-353.
- Ioannides K., Papachristodoulou C., Stamoulis K., Karamanis D., Pavlides S., Chatzipetros A., Karakala E. 2003. Soil gas radon: a tool for exploring active fault zones. *Applied Radiation and Isotopes*, 59: 205-213.
- Juliani C. 1993. Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos grupos Serra de Itaberaba e São Roque na região das Serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP. Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 803 f.
- King C., King B., Evans W.C., Zhang W. 1995. Spatial radon anomalies on active faults in California. *Applied Geochemistry*, 11: 497-510.
- Lucas F.O., Ribeiro F.B. 2007. Radon content in groundwaters drawn from the metamorphic basement, eastern São Paulo State, Brazil. *Radiation Measurements*, 42: 1703-1714.
- O Estado de São Paulo. 2006. Gás radônio é a segunda maior causa de câncer de pulmão. 21 de Junho de 2006.
- One, C. 1998. Emanometria de Gás Radônio das Séries Radioativas Naturais, na Prospecção de Água em Fraturas de Rochas, Metodologia e Instrumentação, Trabalho de Graduação II, Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, 27 p.
- Pereira C.M.A. 2009. Mapeamento de aquíferos fraturados empregando métodos geoelétricos e emanção natural de radônio. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 62p.
- Reddy, D. V., Sukhija, B. S., Nagabhushanam, P., Reddy, G. K., Kumar, Devender, Lachassagne, P. 2006. Soil gas radon emanometry: A tool for delineation of fractures for groundwater in granitic terrains. *Journal of Hydrology*, 329: 186-195.
- Riccomini C., Sant'anna L. G., Ferrari A. L. 2004. Evolução geológica do Rift continental do Brasil. In: Matesso-Neto, V. et al. (Org.). *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: BECA: 383-406.
- Schumann R.R., Owen D.E., Asher-Bolinder S. 1992. Effects of weather and soil characteristics on temporal variations in soil-gas radon concentration. In: Gates, A.E. et al. *Geologic Controls on Radon*. *Geological Society of America – Special Paper*, 271: 65-72.
- Segovia N., Mena M., Monnin M., Pena P., Seidel J.L., Tamez E. 1997. Radon-in-soil variations related to volcanic activity. *Radiation Measurements*, 28: 745-750.

- Seidel J.L., Monnin M., Cejudo J., Chalot J.F., Segovia N., de la Cruz S., Mena M., Malavassi E., Barquero J., Fernandez E., Avila G., Van der Laat R. 1984. Radon emanometry in active volcanoes. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, **8**: 411-414.
- Takiya H., Seppe P.M., Fatigati F.L., Jacintho R.L.C., Prado O., Garcia R.J.F., Fries B.G. 2002. Atlas Ambiental do Município de São Paulo. Mapa Geológico. Mapa 14.
- Virk H.S. & Walia V. 2001. Helium/radon precursory signals of Chamoli Earthquake, India. *Radiation Measurements*, **34**: 379-384.
- Virk H.S., Walia V., Kumar N. 2001 Helium/radon precursory anomalies of Chamoli earthquake, Garhwal Himalaya, India. *Journal of Geodynamics*, **31**: 201-210.
- Walia V., Virk H.S., Bajwa B.S., Sharma N. 2003. Relationships between radon anomalies and seismic parameters in N-W Himalaya, India. *Radiation Measurements*, **36**: 393-396.
- Walia V., Virk H.S., Bajwa B.S. 2006. Radon Precursory Signals for Some Earthquakes of Magnitude > 5 Occurred in N-W Himalaya: An Overview. *Pure appl. Geophys*, **163**: 711-721.

