

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOFÍSICA APLICADA À INVESTIGAÇÃO DE
ÁREAS INDUSTRIAIS E URBANAS COM
PROBLEMAS AMBIENTAIS - ESTUDO DE CASOS**

Diego de Sousa Romano

Orientador: Prof. Dr. Fabio Taioli

Co-orientador: Alderico Marchi

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-13/2002)

SÃO PAULO
2002

TF
R759
DS.g

DEDALUS - Acervo - IGC



30900011572

Monografia de Trabalho de Formatura:
Geofísica Aplicada à Investigação de Áreas Industriais e
Urbanas com Problemas Ambientais- Estudo de Casos
(TF/2002-13)



Aluno: Diego de Sousa Romano

Orientador: Prof. Dr. Fabio Taioli (GSA-USP)

Co-orientador: Alderico Marchi (ERM Brasil)

São Paulo, novembro de 2002

TF
R759
DS.g

Departamento de Geografia Física e Ambiental
Instituto de Geociências
Universidade de São Paulo



Urbanismo e Problemas Ambientais - Estudo de Caso
Geografia Aplicada à Investigação de Áreas Industriais e
Monografia de Trabalho de Formatura
(1999-18)



DOAÇÃO IGC - USP

Data: 20/03/03

à meus pais...

e

à ERM Brasil, que proporcionou-me um excelente aprendizado nesses últimos anos,

ao prof. Fabio Taioli, pela serenidade inefável nos momentos difíceis,

aos colegas de curso, que jamais olvidarei

ÍNDICE

1) Apresentação

2) Resumo	1
3) <i>Abstract</i>	2
4) Introdução.....	3
4.1) Relevância do Projeto.....	3
5) Objetivos.....	4
6) Levantamento Bibliográfico.....	5
7) Metodologia.....	9
8) Desenvolvimento do Trabalho.....	10
9) Resultados Obtidos.....	12
10) Discussão dos Resultados.....	27
10.1) Correlação com as áreas de estudo.....	28
11) Conclusão.....	29
12) Referências Bibliográficas.....	31
ANEXOS.....	32

2) Resumo

As limitações espaciais impostas às investigações geofísicas convencionais em áreas industriais e urbanas são freqüentes e devem ser minimizadas através do conhecimento das possibilidades e restrições de cada método e da adequabilidade de cada um deles às características do local de interesse.

O presente trabalho tem por objetivo verificar e comparar resultados de diferentes métodos geofísicos aplicados em locais com problemas ambientais na Região Metropolitana de São Paulo e averiguar a adequabilidade de cada um deles às características e limitações de cada área. Foram utilizados para tanto os seguintes métodos: SEV, eletromagnético indutivo (EM-31, EM-34), GPR e sísmica de refração.

No primeiro caso, utilizou-se o equipamento EM-34 e SEVs com o objetivo de delimitar aterro de resíduos domésticos localizado sob área pavimentada, habitada e com redes de alta tensão. Apesar das interferências, o resultado foi positivo e posteriormente aferido em relação às sondagens mecânicas realizadas com o objetivo de amostrar o material de interesse.

O segundo caso envolveu o equipamento EM-31 e GPR no dimensionamento de vala de resíduos, havendo boa correlação entre as seções obtidas em ambos os métodos.

No terceiro caso foi adotado o método da sísmica de refração, com o objetivo de mapear topo rochoso recoberto por manto de intemperismo e camada aluvionar. Devido à grande quantidade de interferências (tráfego intenso, vibrações oriundas de maquinário pesado), os resultados tiveram uma margem considerável de erro, apesar dos cuidados na aquisição dos dados de campo, sendo, porém, balizados em relação às sondagens mecânicas realizadas ao longo da seção sísmica.

3) *Abstract*

Spatial limitations imposed to conventional geophysical explorations in industrial and urban areas are frequent and should be minimized through the understanding of possibilities and restrictions of each method and its suitability to the characteristics of the site.

This work aims to compare results of different geophysical methods applied to areas with environmental problems in São Paulo-SP and verifying its suitability to each specific site. The following methods were used: VES, inductive electromagnetic (EM-31, EM-34), GPR and seismic refraction.

EM-34 and VES were applied aiming to delimit domestic landfill located in a paved and occupied area (with high tension lines). In spite of several interferences, results were positive and subsequently checked, based on drillings.

EM-31 and GPR demarcated a residue ditch. The sections obtained in both methods matched and provided accurate data.

Seismic refraction was adopted for mapping a rock contour recovered by a thin alluvionar deposit. Results were seriously influenced due to interferences (traffic, vibrations originating from heavy machinery) and data had an important deviation. Nevertheless they could be calibrated by drilling logs close to the seismic section.

4) Introdução

A geofísica aplicada, originalmente focada na prospecção mineral, desenvolveu-se enormemente nas últimas décadas no sentido de elucidar problemas relativos ao meio-ambiente e geotecnia. Programas de investigação de áreas contaminadas utilizam-se regularmente desta ferramenta devido ao volume potencial de informações geradas e ao relativo baixo custo, em comparação a métodos diretos.

O avanço tecnológico traz consigo uma série de novos problemas ambientais que requerem o aprimoramento das tecnologias em voga. No campo da geofísica aplicada isto significa uma maior acurácia e poder de resolução, sobretudo nas investigações em pequenas profundidades.

As limitações espaciais impostas às investigações geofísicas convencionais em áreas industriais e urbanas são freqüentes e devem ser minimizadas, através do conhecimento das possibilidades e restrições de cada método e da adequabilidade de cada um deles às características do local de interesse.

4.1) Relevância do Projeto

As áreas industriais e urbanas, que concentram grande parte dos problemas ambientais e geotécnicos a serem solucionados, apresentam obstáculos à investigação geofísica, ao contrário das grandes áreas desocupadas onde normalmente são realizadas investigações para prospecção mineral. Para que estas dificuldades sejam superadas, faz-se necessária a integração de diferentes métodos geofísicos e a tomada de precauções específicas.

As investigações geofísicas relacionadas a áreas contaminadas raramente são levadas a público, dado o caráter confidencial dos dados obtidos, pois geralmente envolvem empresas e/ou órgãos governamentais e passivos ambientais associados a estas áreas. Devido a isto, poucos profissionais têm acesso a estes resultados, limitando o desenvolvimento de novos métodos e tecnologias. Cabe então o estudo de casos reais, atentando-se para a questão da confidencialidade.

5) Objetivos

O presente trabalho teve por objetivo verificar e comparar resultados de diferentes métodos geofísicos aplicados à investigação de áreas industriais e urbanas com problemas ambientais e averiguar a adequabilidade de cada um deles às características e limitações de cada área.

6) Levantamento Bibliográfico

A investigação geofísica consiste em uma série de medições feitas a partir de padrões definidos na superfície da Terra, corpos d'água, ar ou em subsuperfície através de poços. As medições podem ser relativas a variações espaciais de campos estáticos de força-gradientes elétricos, gravitacionais ou magnéticos- ou de características de campos de onda, mais particularmente do tempo de percurso de ondas elásticas (sísmicas) e amplitude e distorções de fase de ondas eletromagnéticas (Griffiths and King, 1981). As propriedades dos materiais investigados mais utilizadas na investigação geofísica são a elasticidade, condutividade elétrica, densidade, susceptibilidade magnética e polarização elétrica.

Métodos gravitacionais e magnéticos utilizam-se dos campos naturais de força, ao contrário da maioria dos métodos sísmicos e elétricos (incluindo eletromagnéticos) que envolvem propriedades elásticas e elétricas dos materiais (e necessitam de introdução de energia no sistema). Desde que a fonte esteja sob controle, a distância entre o detector e a fonte pode variar, possibilitando uma interpretação menos ambígua do que quando da utilização de campos gravitacionais ou magnéticos.

Anomalias geofísicas podem ser criadas não somente por estruturas naturais, mas também por instalações humanas como cabos e tubos de metal, que produzem interferências indesejadas (Vogelsang, 1995). Para evitá-las, a área de investigação deve ser checada por detector eletromagnético de metal antes do início de levantamentos geoelétricos.

Eliminar anomalias externas através de cálculos, além de difícil, pode levar a conclusões erradas. Se, por acaso, um tubo de metal cruza um aterro, é preferível manter as anomalias resultantes na apresentação e mostrar sua posição nos mapas (Vogelsang, 1995).

Áreas de aplicação

Particularmente na área de geologia ambiental os levantamentos geofísicos podem ser aplicados na investigação dos seguintes casos:

- Estruturas geológicas e hidráulicas de subsuperfície sob e nos entornos de aterros e depósitos de resíduos (ex: fraturas, camadas confinantes);
- Delimitação de barreiras geológicas para seleção de novas áreas de disposição;
- Extensão e conteúdo de aterros;
- Identificação de objetos (ex: tonéis, tanques subterrâneos);
- Dimensionamento de plumas de contaminantes e lixiviados.

O dimensionamento de aterros e depósitos de resíduos é fundamental em qualquer análise de risco. Em muitos casos, a aplicação de métodos geofísicos permite delimitar áreas contaminadas mesmo sob espessas camadas de aterro.

A identificação não-invasiva de materiais contaminados e a indicação de caminhos preferenciais para plumas de contaminantes contrasta com a investigação por métodos diretos, geralmente mais cara e potencial geradora de alterações no sistema (ex: criação de caminhos preferenciais através de poços construídos inadequadamente). Por ser não-destrutiva, mantém selos naturais e artificiais intactos, contribuindo para a segurança em áreas industriais, evitando escape de gases e líquidos tóxicos e mantendo baixos os níveis de risco à saúde humana (Vogelsang,1995).

A aplicação bem-sucedida de métodos geofísicos depende das propriedades físicas da área e da habilidade do investigador em combinar diferentes métodos, com o intuito de se atingir um patamar otimizado de informações. A geofísica não deve ser aplicada quando os contrastes das propriedades físicas são muito pequenas (por exemplo, as resistividades de dois materiais devem diferir ao menos 30 Ohm.m para serem distingüidas, assim como velocidades de ondas sísmicas devem variar ao menos 200m/s).

As interferências causadas por instalações humanas como cabos e tubos de metal, estradas, edifícios, etc., devem ser consideradas antes do início das medições. Linhas de alta voltagem podem afetar levantamentos eletromagnéticos a centenas de metros.

Aplicabilidade de diferentes métodos em geologia ambiental (Vogelsang,1995)

Métodos	Área de aplicação			Observações
	Geologia	Aterros	Plumas	
Magnéticos	2	1	3	profundidade limitada
Geoeletricos	1	1	1	sofre interferência de canos,cercas,etc
Polarização Induzida	2	2	2	conhecimento prévio da área é necessário
Potencial Espontâneo	2	2	2	idem
Eletromagnéticos	1	1	1	EM,VLF,TDEM
G.P.R.	2	1	2	solo seco é necessário
Sísmica de Refração	1	2	3	
Sísmica de Reflexão	1	3	3	caro

1- Aplicável

2-Aplicação limitada

3-Não aplicável

- Métodos magnéticos: podem ser aplicados com sucesso na delimitação de aterros sanitários devido a presença de objetos metálicos. Na ausência destes, torna-se inviável. Objetos isolados (tonéis, tanques, carcaças) podem ser localizados apenas próximos da superfície. Levantamentos magnéticos estão sujeitos a influência de cercas, tubos, revestimentos de poços e até mesmo a botões e fivelas do operador. Geralmente é possível apenas a localização e profundidade dos materiais de interesse.
- Métodos geoeletricos: bastante versáteis, podem ser aplicados no dimensionamento de camadas, verificação de espessura de aterros, delimitação de plumas, entre outros. Sofrem interferência de edifícios, tubos, trilhos de trem. A cravação dos eletrodos é dificultada em superfícies pavimentadas. Camadas condutoras (argilas, margas) diminuem a profundidade de penetração. Camadas finas podem ser omitidas. Os resultados de Potencial Espontâneo são de difícil interpretação, sendo necessárias informações prévias acerca do potencial de fluxo e redox. Levantamentos eletromagnéticos sofrem influência de todas as estruturas metálicas e especialmente de linhas de alta-tensão. O G.P.R.(Ground Penetrating Radar) penetra de decímetros a poucos metros no solo, apresentando rápidas variações de resposta após chuva ou outras alterações no solo. Vegetação densa e terreno acidentado dificultam seu uso. A interpretação dos dados requer experiência. Pode detectar estruturas não-metálicas e contaminações orgânicas em águas subterrâneas (pois a constante dielétrica da água é bem diferente em comparação a fluidos orgânicos). Deve ser complementado com métodos de maior alcance em profundidade.
- Métodos sísmicos: A determinação das bordas de depósitos de resíduos dependem da diferença das velocidades sísmicas do resíduo e da rocha (ou material de aterro). Se a rocha for inconsolidada, a diferença pode ser insuficiente para detecção. São métodos caros e sofrem interferência de distúrbios vibratórios, como estradas e ruídos culturais. A sísmica de refração é própria para o mapeamento de superfícies de camadas consolidadas, mesmo quando sob aterros e depósitos de resíduos, podendo indicar fluxo e caminhos preferenciais para plumas e lixiviados. O número de camadas que podem ser investigadas é limitado. A velocidade sísmica, em geral, aumenta com a profundidade. A sísmica de reflexão é ainda mais cara e pode omitir camadas finas, apesar de revelar com precisão limites horizontais. Sua aplicabilidade em profundidades menores que 50m está sendo estudada (Ward, 1990).

- Métodos gravimétricos: anomalias gravimétricas em aterros são geralmente muito pequenas. Aplicações ambientais requerem malhas muito estreitas e conseqüentemente caras. Os custos de avaliação podem superar os custos de campo. Anomalias pequenas podem levar a interpretações falsas. Podem ser úteis na identificação de cavidades.
- Perfilagens: limitadas pelo diâmetro dos poços. Registram com precisão alterações das propriedades físicas na vertical, norteando os levantamentos de superfície.

Objetivos de diferentes métodos em geologia ambiental (Vogelsang,1995)

Métodos	Objetivos			
	Lixo doméstico	Lixo industrial	Plumas (aqüífero sedimentar)	Plumas (aqüífero fraturado)
Magnéticos	1	1	3	3
Geoeletricos	1	1	1	1
Polarização Induzida	1	1	1	2
Potencial Espontâneo	2	1	2	3
Eletromagnéticos	1	1	1	1
G.P.R.	2	2	3	3
Sísmica de Refração	2	2	1	3
Sísmica de Reflexão	3	3	1	3

1- Aplicável

2-Aplicação limitada

3-Não aplicável

7) Metodologia

As investigações geofísicas devem se adequar às características de cada localidade. A sequência de medições deve ser baseada em conhecimento geológico e análises prévias, assim como no resultado de cada método (Robinson and Coruh, 1988).

As áreas em investigação no presente trabalho já possuem dados geológicos, hidrogeológicos e/ou geofísicos colhidos em trabalhos anteriores. Através da consulta a relatórios elaborados pela ERM do Brasil Ltda foram feitos planos específicos de levantamentos geofísicos para cada uma dessas áreas, no total de três. Nas áreas que possuem dados geofísicos foram continuados os trabalhos, mantendo-se a metodologia em uso ou utilizando-se novos métodos.

As limitações impostas por cada área ou alvo foram descritas e equacionadas à medida que inviabilizaram ou dificultaram sobremaneira as diferentes metodologias de investigação.

Foram utilizados métodos elétricos e eletromagnéticos na delimitação de depósitos de resíduos e localização de tambores metálicos em subsuperfície e sísmica de refração para identificação de topo rochoso.

Alvos	Combinação de métodos
Aterros	Magnéticos, Sondagens Elétricas, EM, GPR, IP, SP, Sísmica de Refração
Plumas	Sondagens Elétricas, EM, GPR, SP
Barreiras geológicas	Sondagens Elétricas, EM, IP, Sísmica (Refração e Reflexão)

Levantamento geofísico utilizando os métodos da eletrorresistividade (técnica da sondagem elétrica vertical – SEV) e eletromagnético indutivo (EM-34) para delimitação da extensão de aterro de resíduos domésticos na Zona Leste do município de São Paulo/ SP

Nesta etapa, os principais empecilhos estavam relacionados à intensa ocupação não planejada da área, cortada por fios de alta tensão e pavimentada, fatores estes responsáveis por interferências nos levantamentos de campo. A ocupação desordenada dificultava também o posicionamento das seções geofísicas, devido à presença de cercas improvisadas, taludes e valas.

A boa correlação entre os dados geofísicos e geológicos, obtidos através de sondagens diretas, possibilitou a delimitação do aterro com boa precisão. As poucas discrepâncias entre os diferentes métodos foram sanadas através de sondagens diretas adicionais.

Levantamento geofísico utilizando G.P.R. e método eletromagnético indutivo (EM-31) para delimitação de profundidade de vala de resíduos (região de Cabreúva-São Paulo / SP)

A vala em estudo possui cobertura irregular e difícil acesso, constituindo-se nos únicos óbices relevantes a execução das seções geofísicas, principalmente no que tange ao deslocamento das antenas do GPR.

As seções obtidas com o GPR e os perfis de condutividade (EM-31) tiveram correspondência direta; a zona de reflexões proeminentes que determina a transição do solo contaminado para solo natural é corroborada por análises químicas do resíduo e perfis de sondagem, tendo em vista que acompanha o topo de camada argilosa de baixa permeabilidade. A camada de cobertura é composta de frações silto-arenosas e resíduo farmacêutico, sendo geradora de lixiviado condutivo.

Levantamento geofísico de seção sísmica para delimitação de topo rochoso (região de Santo Amaro-SP);

A área está localizada próxima à uma das principais vias de acesso da Capital (Marginal Pinheiros) e cercada por indústrias. As vibrações oriundas do tráfego intenso e do maquinário pesado interferiram sensivelmente no levantamento da seção sísmica, dada a sensibilidade dos geofones empregados.

Atividades	jan	Fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov
Revisão Bibliográfica		X	X								
Coleta de dados em campo			X	X	X	X	X	X		X	
Tratamento de dados							X	X	X	X	
Interpretação de dados								X	X	X	
Relatório Parcial								X			
Relatório Final											X

Cronograma de atividades desenvolvidas no período

9) Resultados obtidos

-Levantamento geofísico utilizando os métodos da eletrorresistividade (técnica da sondagem elétrica vertical –SEV) e eletromagnético indutivo (EM-34) para delimitação da extensão de aterro de resíduos domésticos na Zona Leste do município de São Paulo-/ SP

Foram realizados levantamentos geofísicos com o objetivo de auxiliar na determinação dos limites de zona afetada por lixo depositado em área loteada na Zona Leste de São Paulo/SP. Essa área, em sua parte mais crítica, já fora investigada anteriormente por geofísica e monitorada por sondagens diretas, entretanto esta etapa destinou-se a ampliar a área investigada- Mapa (Anexos), procurando detectar zonas de risco ambiental e conseqüentemente orientar a locação de poços de monitoramento.

Foi utilizado o método da eletrorresistividade, através da técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e o método eletromagnético indutivo (EM-34) que permite uma avaliação das distribuições das resistividades elétricas do terreno. Valores baixos de resistividade estão associados às camadas de lixo.

A maior parte do local de interesse se encontra em área habitada com casas e ruas com rede elétrica. As SEV's só puderam ser realizadas em pontos que permitiam cravar os eletrodos metálicos no terreno num alinhamento de pelo menos 140 metros para emissão de corrente elétrica. Os caminhamentos eletromagnéticos só puderam se desenvolver pelas ruas do bairro, e nesse caso, a rede elétrica e o asfalto produziram interferências. Foram adotados procedimentos para minimizar esses efeitos, com o descarte de algumas leituras tanto de SEV como de CEM e desvios durante os caminhamentos, devido ao nível de ruído.

Foram realizadas 5 SEV's com AB máximo de 140/200 metros. Os perfis de Caminhamento Eletromagnético em número de 6 atingiram um total de 1000 metros de levantamento

Sondagem Elétrica Vertical

SEV - 01	AB = 200 m
SEV - 02	AB = 140 m
SEV - 03	AB = 200 m
SEV - 04	AB = 140 m
SEV - 05	AB = 200 m

Caminhamento Eletromagnético

PERFIL 01	190 m
PERFIL 02	160 m
PERFIL 03	100 m
PERFIL 04	190 m
PERFIL 05	200 m
PERFIL 06	160 m

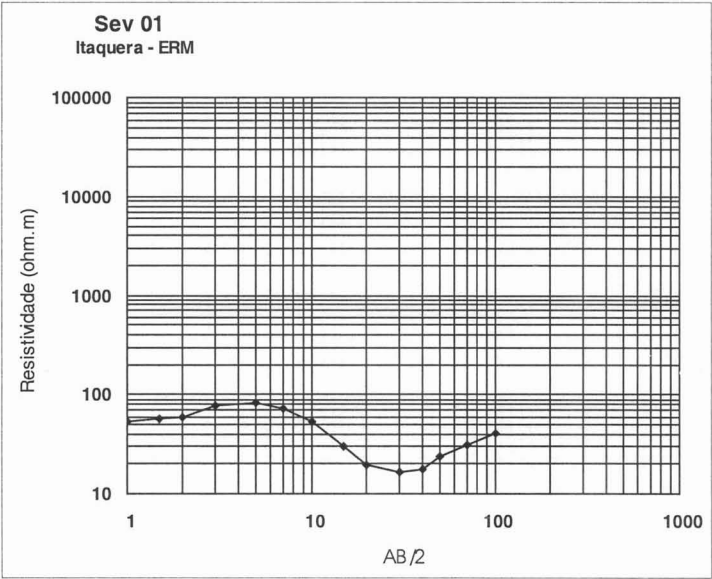
Pela análise dos resultados obtidos dos caminhamentos e sondagens elétricas, evidencia-se que a área onde houve maior deposição de lixo, delimitada pelo contorno da antiga cava de mineração e verificada em levantamento geofísico anterior, pode ser ampliada num raio de 40 metros ao seu redor como área com lixo e sob influência desse material.

O comportamento uniforme dos perfis de caminhamento eletromagnético, mostrando que a condutividade elétrica diminui ao se afastar da região delimitada pela antiga cava, só é quebrado no perfil 01 que apresenta um aumento de condutividade a partir da estação 120 até o final do perfil, de onde não foi mais possível continuar com o caminhamento.

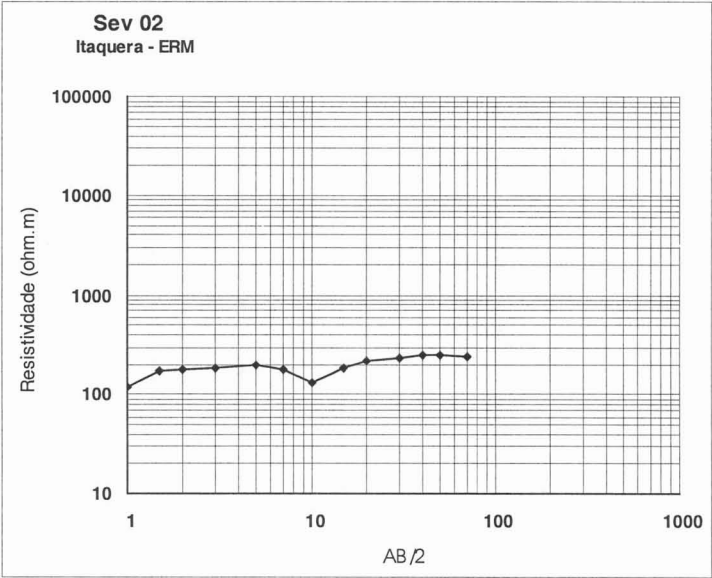
Nas SEV's 01 e 03 realizadas na área e nas proximidades da antiga cava pode-se verificar a presença do lixo sobre um substrato rochoso e coberto por uma camada de aterro de 3 a 4 metros. Na SEV 02 uma fina camada (2,2 m.) pode também estar relacionada ao lixo, justificando a ampliação da zona de influencia apontada pelos caminhamentos eletromagnéticos. As SEV,s 02, 04 e 05 apresentam como substrato uma camada de baixa resistividade, que pode ser interpretada como sendo uma formação sedimentar argilosa.

A dificuldade de obtenção de dados confiáveis em uma região densamente povoada deve ser levada em conta nesse levantamento, principalmente na execução das SEV's pela interferência do asfalto nas ruas, encanamentos enterrados, rede elétrica, etc. que podem mascarar resultados. No entanto a concordância desses dados com resultados de trabalhos anteriores permite auferir confiabilidade ao levantamento.

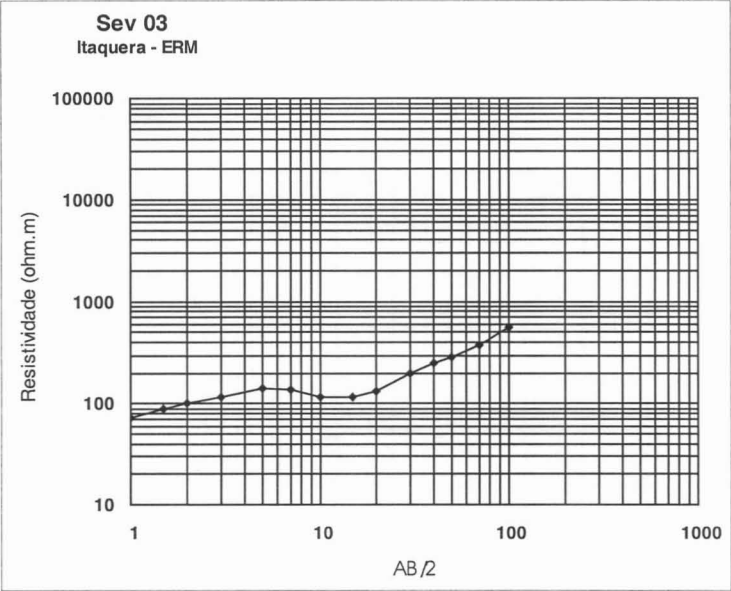
Para investigação direta sugeriu-se a região entre os perfis 1 e 3, entorno dos lotes 17 e 18 do perfil 01 e proximidades da SEV 03, por apresentarem discrepâncias entre a SEV e o CEM, para verificação da anomalia na condutividade elétrica do solo. Estas áreas foram pesquisadas por sondagem mecânica e não se confirmou a presença de lixo.



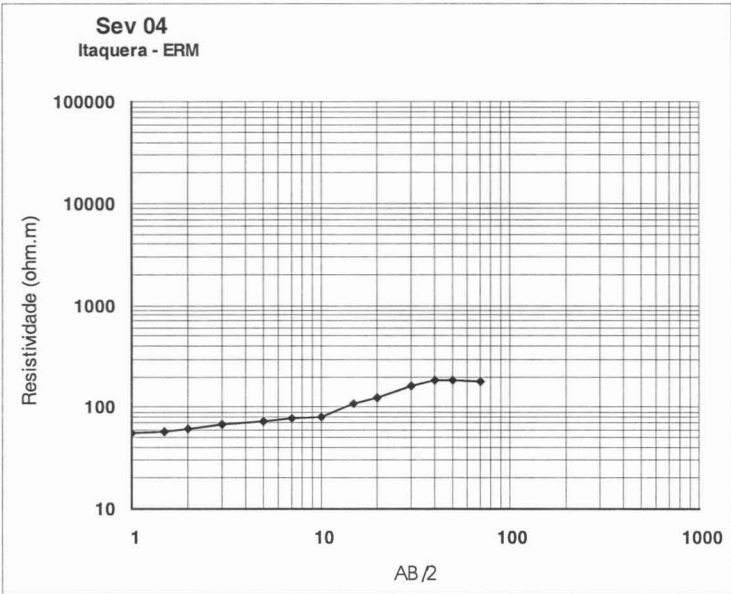
Esp.	Res.
1,1	49
2,6	155
19,7	9
	554



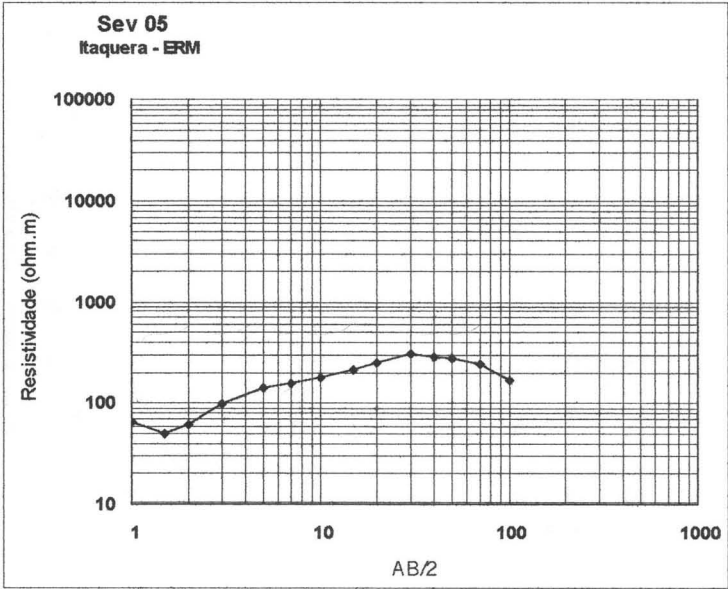
Esp.	Res.
0,4	67
2,0	325
2,2	41
11,6	748
	125



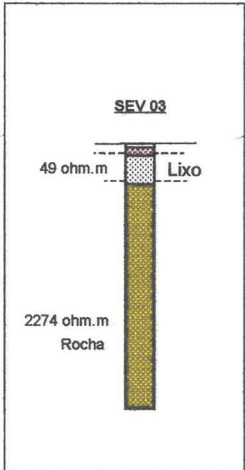
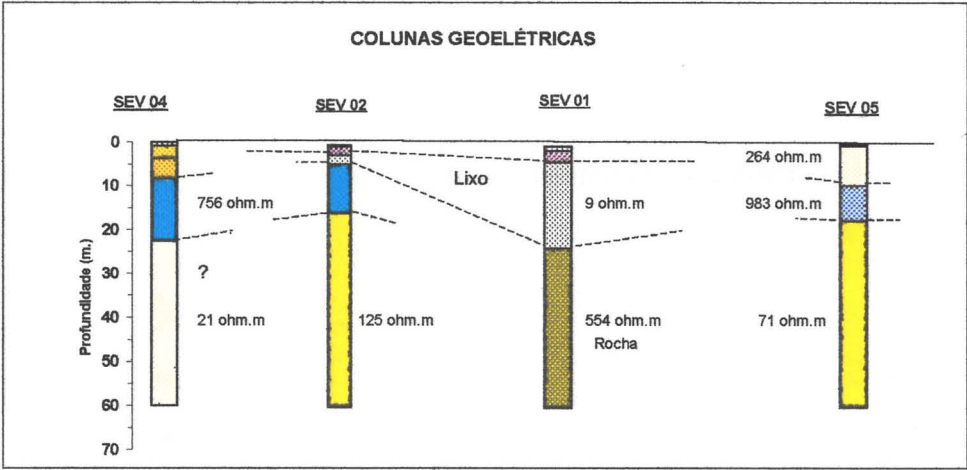
Esp.	Res.
0,8	61
2,0	283
6,3	49
	2274



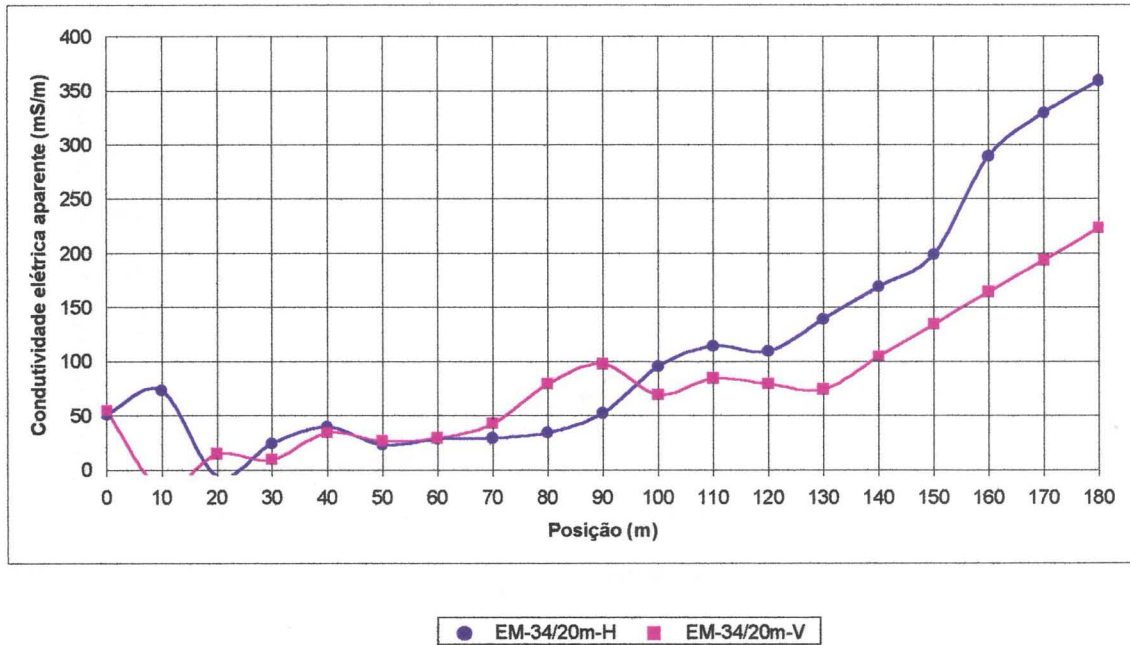
Esp.	Res.
0,9	55
2,8	77
4,8	67
14,2	756
	21



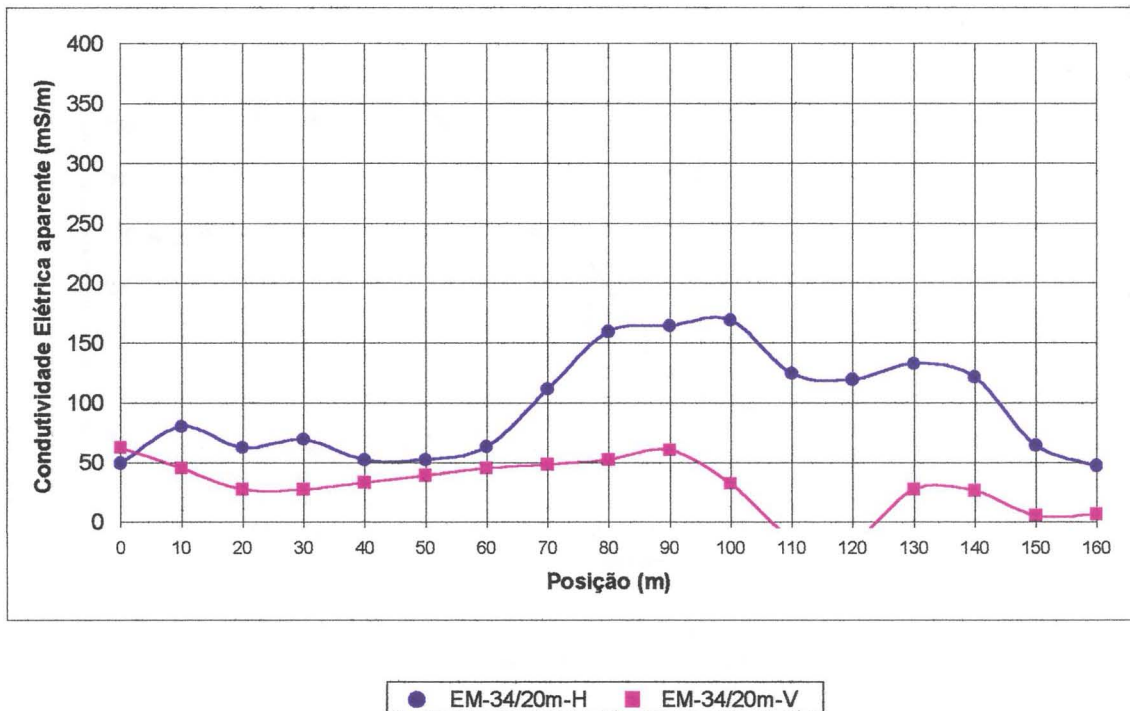
Esp.	Res.
0,2	621
0,4	17
10,6	264
9,2	983
	71



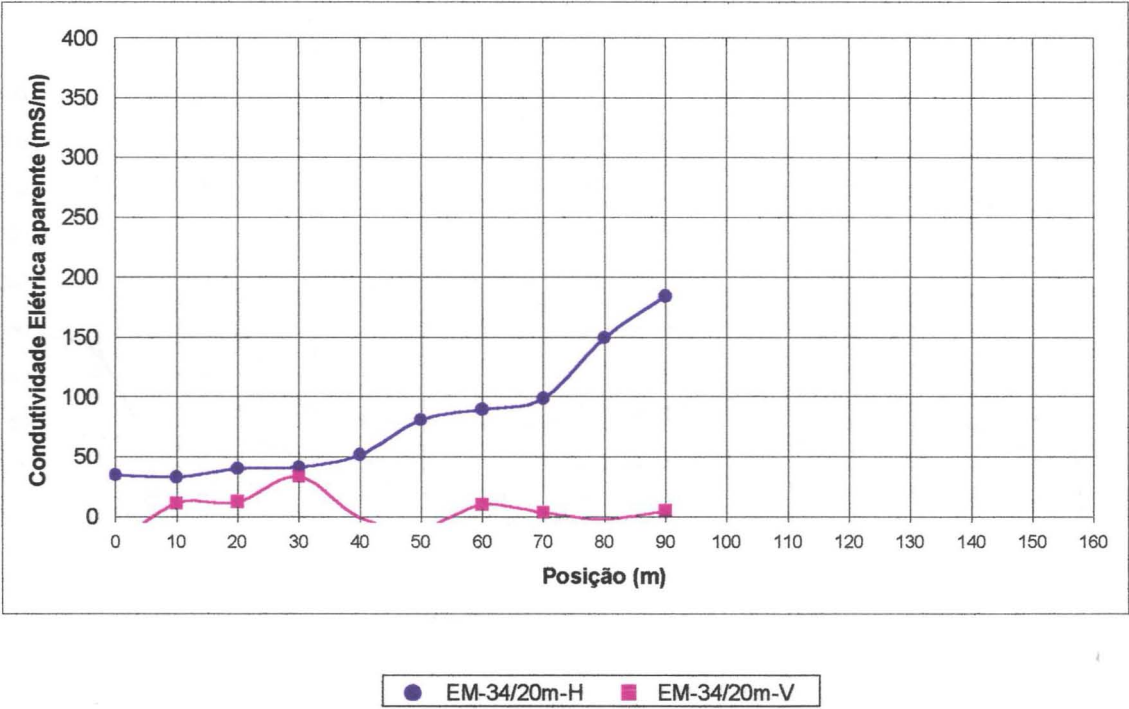
CAMINHAMENTO ELETROMAGNÉTICO - Perfil 01



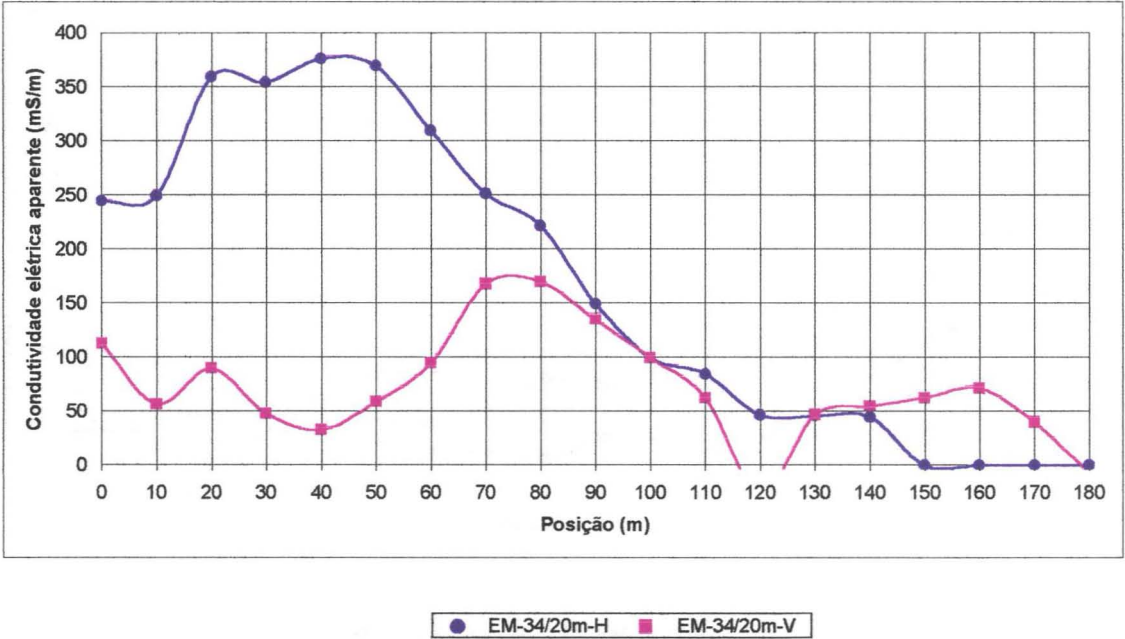
CAMINHAMENTO ELETROMAGNÉTICO - Perfil 02



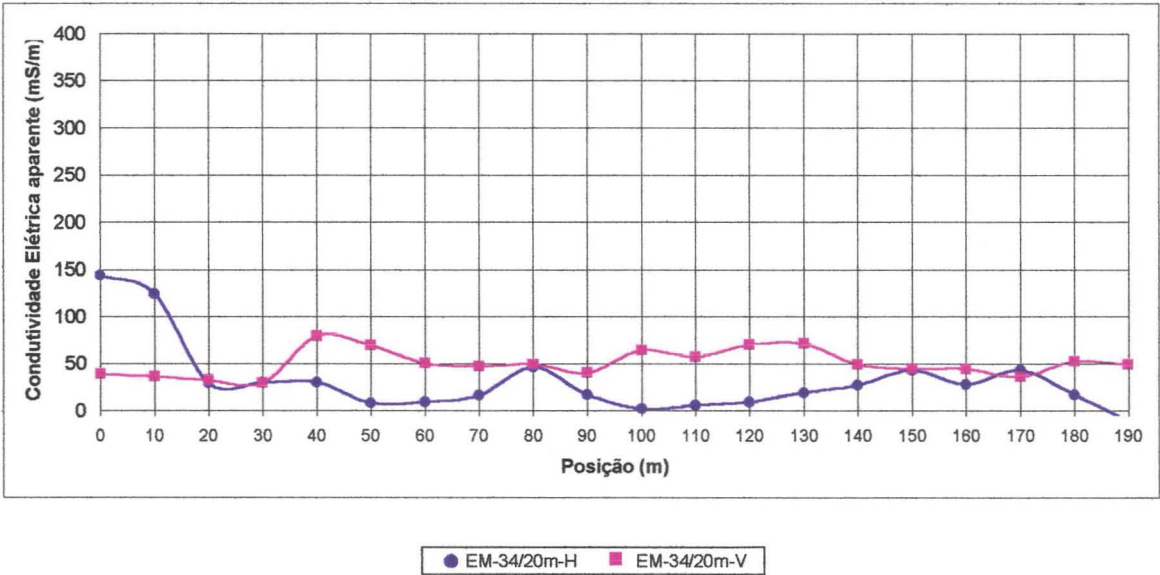
CAMINHAMENTO ELETROMAGNÉTICO - Perfil 03



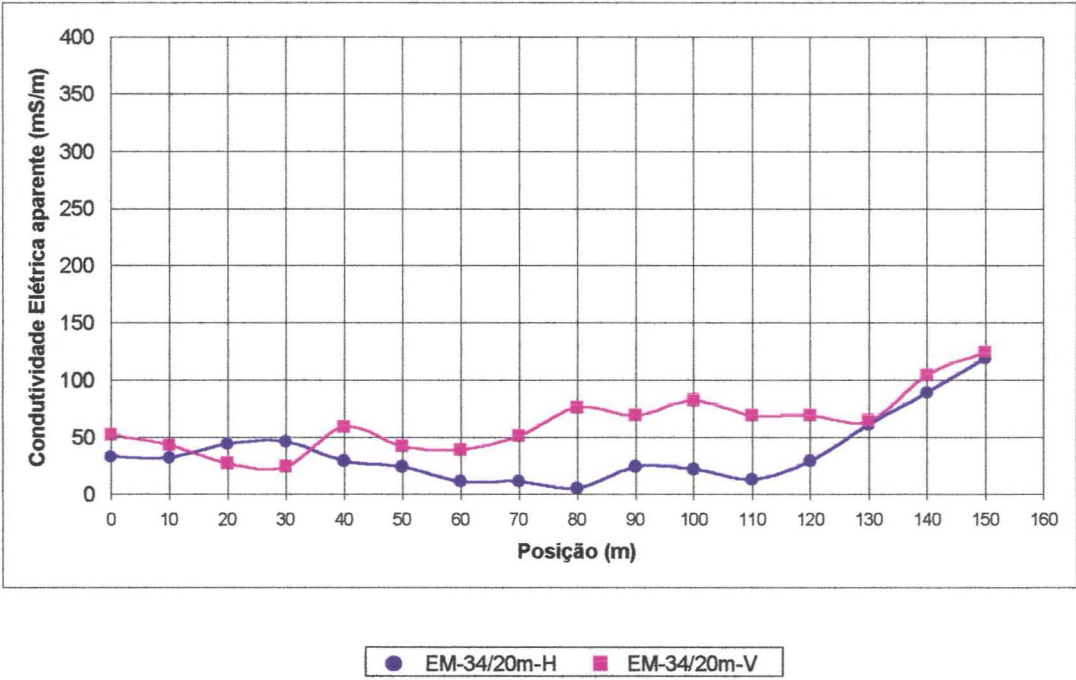
CAMINHAMENTO ELETROMAGNÉTICO - Perfil 04



CAMINHAMENTO ELETROMAGNÉTICO - Perfil 05



CAMINHAMENTO ELETROMAGNÉTICO - Perfil 06



-Levantamento geofísico utilizando G.P.R. e método eletromagnético indutivo (EM-31) para delimitação de profundidade de vala de resíduos (região de Cabreúva-São Paulo / SP)

A área em estudo se configura por uma vala, que apresenta uma depressão em sua parte central, sendo que na superfície do terreno podem ser visualizados tambores de resíduos. O levantamento GPR foi realizado com as antenas de frequência central de 50MHz e de 100MHz, esta última blindada. A combinação de antenas de frequências distintas foi fundamental na qualidade dos dados obtidos, isto porque a antena de 50MHz forneceu maior profundidade de investigação que a de 100MHz, sendo que esta última apresentou melhor definição (maior resolução) das estruturas presentes em menor profundidade.

Os perfis foram executados longitudinais à vala nos diferentes pontos de interesse (Figura 5), com o objetivo de proporcionar uma boa cobertura da área e assim possibilitar a determinação da espessura dos resíduos em profundidade.

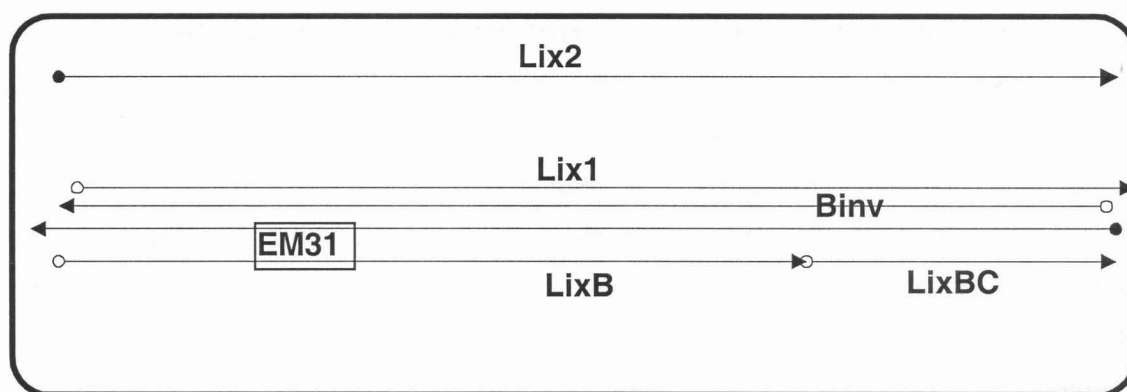


Figura 1- Croqui das linhas de GPR e do perfil de condutividade (EM31)

Na execução dos trabalhos de campo, foram executadas 5 perfis de GPR, totalizando em 72,84 metros de distância percorrida e com intervalo de medidas de 30 e 50 centímetros, resultando numa amostragem de 181 traços obtidos.

O quadro a seguir apresenta um resumo dos perfis executados quanto à extensão da linha, número de traços obtidos, intervalo de medidas e frequência da antena utilizada.

Quadro 1 - Extensão do levantamento de dados de GPR.

Perfil	Extensão (m)	Traços (nº)	Intervalo de medidas (m)	Frequência da Antena
Lix1	18,51	37	0,50	50MHz
Lix2	18,00	36	0,50	100MHz
LixB	11,55	46	0,25	100MHz
Binv	18,50	37	0,50	100MHz
LixBC	6,28	25	0,25	100MHz
TOTAL	72,84	181		

O software empregado para processamento dos dados adquiridos em campo pelo RAMAC/GPR foi o programa RADPRO (Radar Processing Software) versão 2.25 (1996) da Malå Geoscience.

A rotina de processamento de dados do GPR obedece alguns operadores semelhantes às técnicas de processamento de dados sísmicos, uma vez que nas altas frequências de atuação do método, a onda eletromagnética se comporta de forma similar à propagação de uma onda elástica, no que se refere à parte cinemática, sofrendo, assim, reflexões e refrações.

Para cada objetivo a ser alcançado em diferentes tipos de levantamento, o processamento de dados obedece rotinas diferentes, isto quer dizer que há uma série de passos escolhidos cuidadosamente de maneira conveniente para cada caso. A finalidade do processamento aqui desenvolvido foi realçar nas seções obtidas os contrastes do sinal do GPR entre o meio geológico e os resíduos enterrados, em detrimento de qualquer outra estrutura a ser identificada.

A sequência de processamento aplicado sobre os dados obtidos no campo foi a seguinte:

- 1- DC-Filter (eliminação do ruído eletrônico e correção do tempo zero)
- 2- AGC (controle de ganho automático)
- 3- Filtro passa-banda de frequência (eliminação de frequências fora da frequência central)
- 4- Filtro espacial (eliminação de reverberações – ringing)
- 5- Migração (para cálculo das velocidades de propagação da onda no meio)

Os dados originais de aquisição do GPR fornecem o tempo de reflexão da onda eletromagnética em subsuperfície. Assim, para que seja possível calcular a profundidade correta das estruturas é necessário que se faça a conversão tempo de

reflexão/profundidade, para isto é necessário que se calcule a velocidade de propagação da onda no meio.

No caso em estudo, esta velocidade foi calculada utilizando-se migração das hipérboles de difração presentes nas seções obtidas, o que resultou numa velocidade adotada de 0,08m/ns para antena de 50MHz e 0,10m/ns para a antena de 100MHz.

Os sinais de GPR das linhas Lix1, Lix2, LixB/LixBC e Binv atingiram profundidades em torno de 15 metros, suficientes para investigar o alvo de interesse que era a vala de resíduos.

Entretanto, nas seções que estão apresentadas na seqüência deste item, conforme a rotina de processamento adotada, não estão representadas as profundidades máximas dos sinais, isto porque a finalidade do tratamento dos dados foi salientar única e exclusivamente a configuração geométrica da vala existente contendo resíduos, em detrimento da detecção de outras estruturas ou feições.

Nas seções processadas, o padrão de cores adotado se refere à amplitude de reflexões do sinal de GPR, assim, o tom voltado para o vermelho e preto representa reflexões de amplitudes maiores da onda eletromagnética em subsuperfície e estão associadas, de acordo com a interpretação assumida, com a presença de resíduos enterrados.

Em contrapartida, os tons voltados para o verde, se referem aos meios onde as reflexões são menos intensas, ou seja, o sinal é mais atenuado e correspondem ao solo natural do local, que possui características argilosas.

Tanto para a seção obtida com a antena de 50MHz (Lix1) –Foto 1 (Anexos), como para as de 100MHz (Lix2, LixB/LixBC, Binv) –Foto 2 (Anexos), observam-se fortes reflexões do sinal, decorrentes da possível heterogeneidade do material enterrado e, conseqüentemente, das diferenças de coeficiente dielétrico destes materiais entre si.

Nestas seções, verifica-se que esta zona de fortes reflexões do sinal (coloração vermelha) possui espessura variável, que vai de 1,0 na porção menos espessa até 3,2metros em sua profundidade maior. Esta variação permite inferir que os resíduos depositados no local possuem diferentes espessuras de uma borda à outra da vala.

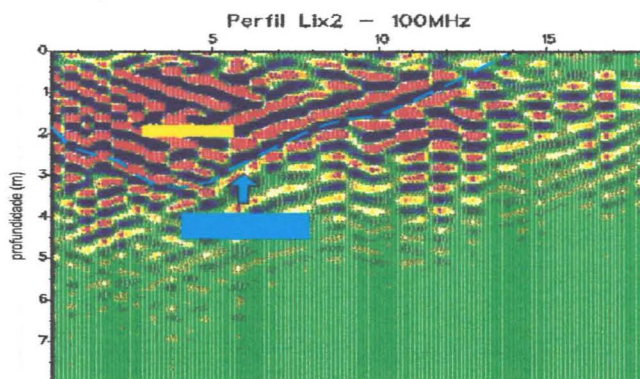
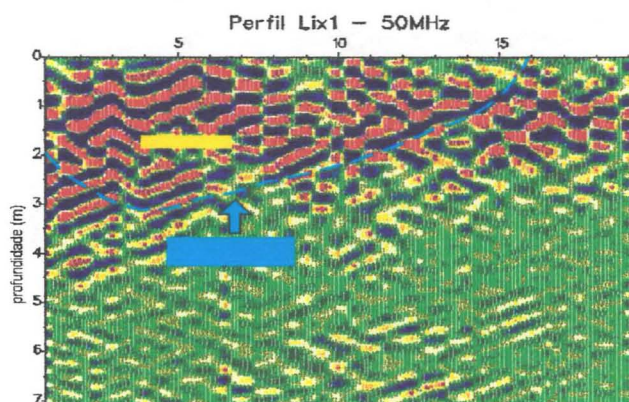
Estas profundidades foram delimitadas pela presença de destacados refletores inclinados e que representam a transição entre a zona de resíduos enterrados e o solo natural do local. Portanto, infere-se que estes refletores sejam a base da vala determinando, assim, a espessura dos resíduos ali depositados de 1,0 a 3,2 metros.

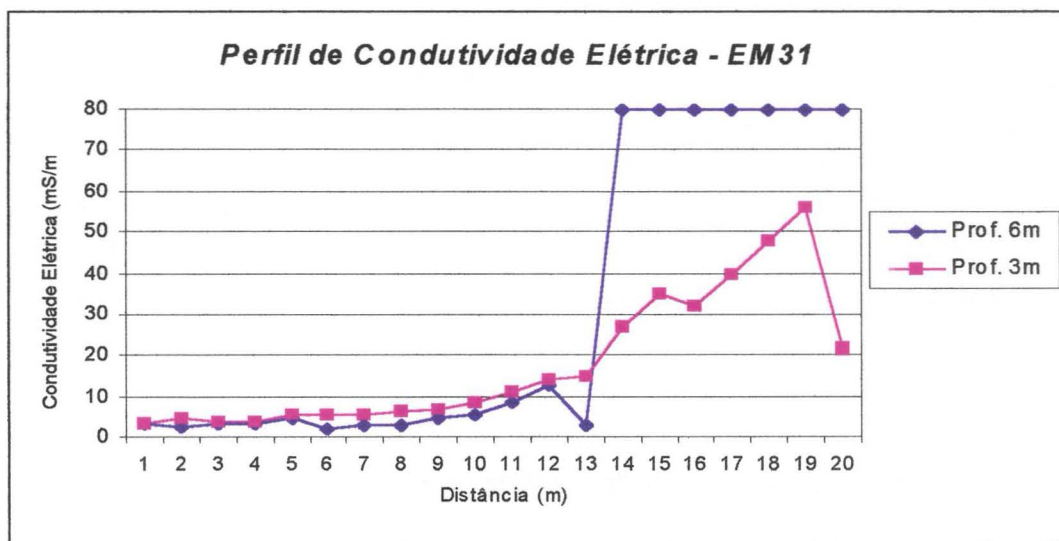
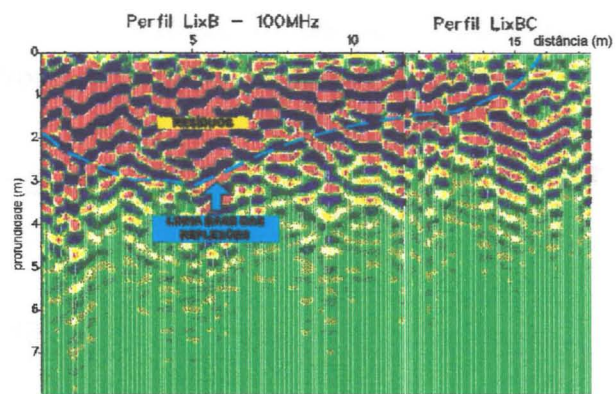
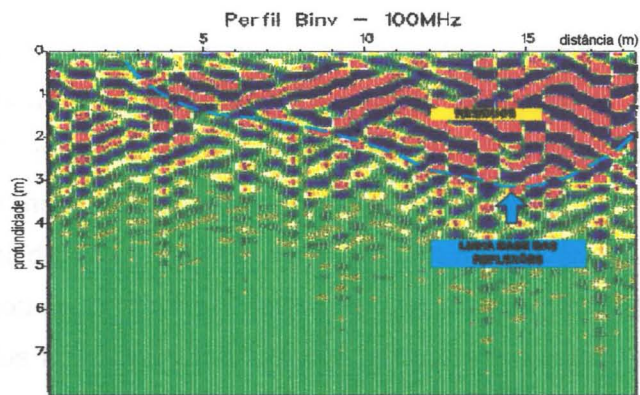
Os dados de condutividade elétrica obtidos com o equipamento EM-31, para as profundidades de investigação de até 3,0 e 6,0 metros também revelam a tendência de espessamento dos resíduos em uma das extremidades do perfil realizado.

Observa-se que as duas curvas apresentadas neste gráfico apresentam um aumento de condutividade elétrica na direção em que foram executadas, sendo que os valores determinados claramente indicam a presença de resíduos condutivos no local investigado.

Além disso, os limites laterais da vala de resíduos apontados com o EM31 (início dos valores anômalos), na distância de 9,0 metros no perfil de condutividade, tiveram correspondência direta com aqueles determinados nas seções de GPR.

Assim sendo, todas as seções com as duas frequências de antenas utilizadas, de 50 e 100MHz, apresentaram uma zona de reflexões proeminentes do sinal do GPR e que foi correlacionada com a existência de resíduos enterrados no local, o que é corroborado com os dados de condutividade elétrica do EM31, estimando-se que a espessura deste material contaminante varie de 1,0 a 3,2 metros.





-Levantamento geofísico de seção sísmica para delimitação de topo rochoso (região de Santo Amaro-SP);

O arranjo utilizado foi de 24 geofones, cravados de 3 em 3 metros com pontos de tiro a 3 metros das duas extremidades do arranjo e um tiro central. Os dados apresentaram-se muito ruidosos devido, provavelmente, à atividade das indústrias vizinhas ao terreno, além de intenso tráfego de veículos nas imediações. Foi necessário efetuar um empilhamento de mais de vinte impactos em cada ponto de tiro. A identificação das primeiras chegadas tornou-se difícil e de qualidade duvidosa, principalmente a partir do quinto geofone. Os dados foram processados utilizando-se respectivamente os softwares Firstpix e Gremix15, ambos comercializados pela empresa Interpex.

As curvas tempo versus distância (Figura 2) obtidas refletem a baixa qualidade dos registros.

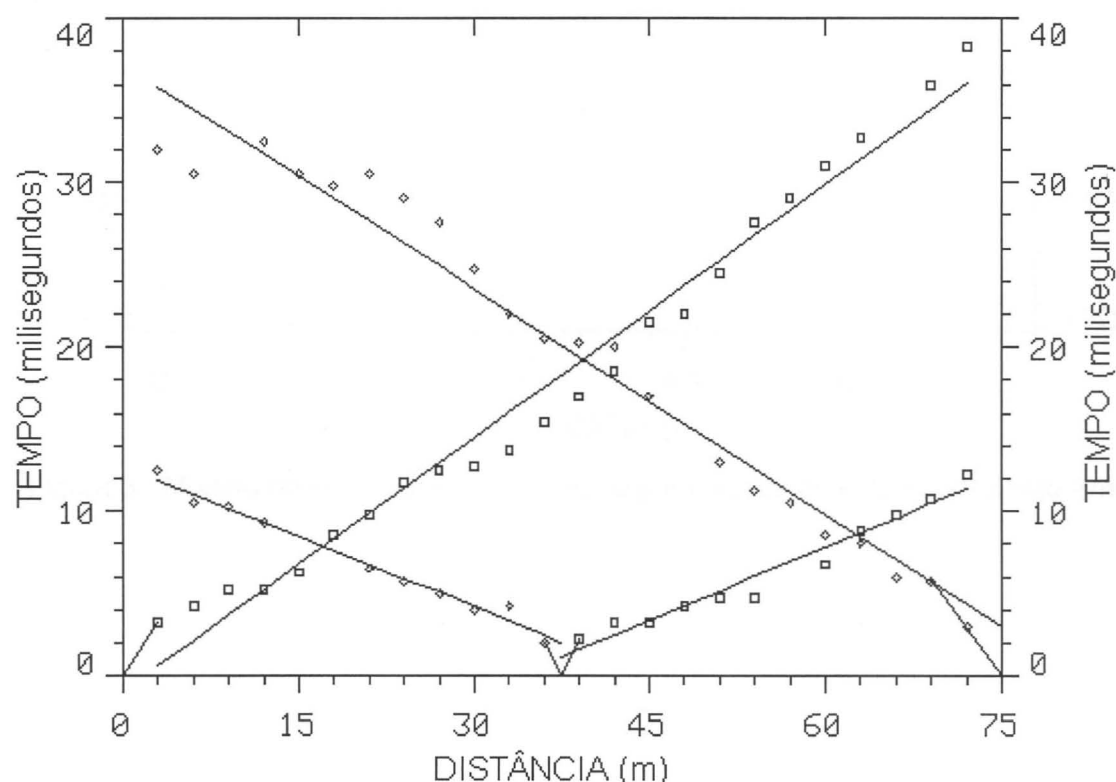


Figura 2 - Curvas tempo versus distância obtidas na área de Santo Amaro

O modelo de velocidades (Figura 3) gerado a partir da interpretação dos registros é de pouca confiabilidade, apresentando um horizonte superficial com base irregular que, de forma geral, se espessa em direção à frente do terreno, com velocidade de propagação das ondas p variando de 700 a 1000 m/s e espessura de centímetros a 3,5 metros, que pode estar associada a aterro.

Abaixo dessa camada aparece outro horizonte com velocidades variando de 2000 a 2900 m/s, cuja base não foi detectada.

Desta forma conclui-se que o contato solo/rocha não foi alcançado nos ensaios realizados.

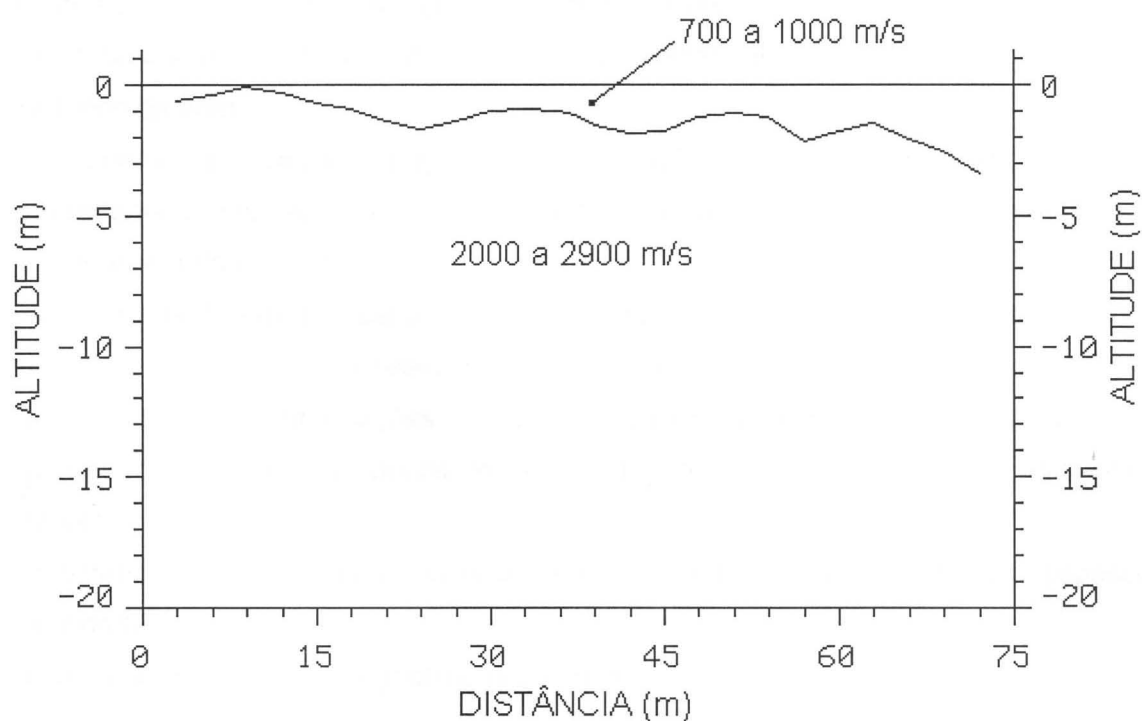


Figura 3 - Modelo de velocidades interpretado para a área de estudo em Santo Amaro.

10) Discussão dos Resultados

O levantamento geofísico convencional não é, na maioria das vezes, cerceado por problemas de espaço (ambientes confinados, pavimentados e/ou perigosos do ponto de vista de saúde e segurança), interferências nas aplicações elétricas e eletromagnéticas (redes de alta tensão, tubulações, cercas metálicas, muros e taludes), vibrações (tráfego, maquinário industrial, explosões), alterações nas propriedades físico-químicas do meio (plumas de contaminantes, lixívia de resíduo) entre outros. Logo, a investigação geofísica aplicada a áreas com problemas ambientais deve ser precedida por uma série de cuidados, em razão da complexidade dos fatores envolvidos. Seriam eles:

- histórico da área;
- arrolamento de dados topográficos, localização de linhas de força (aéreas e subterrâneas), tubulações de suprimento de água, gás e esgoto, distâncias de edifícios, estradas e linhas férreas;
- reconhecimento dos processos industriais desenvolvidos na unidade (caso desativada, recorrer a histórico de atividades e funcionários antigos);
- levantamento de informações acerca de dados geológicos e hidrogeológicos e, sobretudo, tempo de permanência e natureza de materiais potencialmente contaminantes na área;
- características dos materiais selantes eventualmente utilizados (natureza, espessura, qualidade);
- levantamento de trabalhos geofísicos anteriores.

É fundamental que relatórios desta natureza sejam acessíveis a profissionais não familiarizados com o tema, pois serão parte integrante de um projeto de investigação ambiental multidisciplinar.

A geofísica ambiental é uma ciência aplicada bastante recente, em que a maioria de seus procedimentos são originários da geofísica aplicada à mineração; basicamente os alvos são mais rasos e os arranjos, menores (Vogelsang, 1995).

Pesquisa adicional é fundamental neste novo ramo das geociências, em virtude do aumento crescente na quantidade de materiais contaminantes e do desconhecimento de suas propriedades físico-químicas.

10.1) Correlação com as áreas de estudo

Aterro de resíduos domésticos

Antiga pedreira de extração de rochas ornamentais. Teve sua cava utilizada para disposição de resíduos domésticos, diretamente sobre a rocha, por 25 anos. Está dividida em 6 lotes, 4 dos quais ocupados (construções térreas e sobrados) e pavimentados (ruas asfaltadas). Sob os lotes ocupados existem tubulações de abastecimento de água e esgoto. Sob os lotes vazios existem drenos rasos (3 a 4 m) de gás. Todos são cortados por linhas de alta tensão. Grande parte da área está aterrada com camadas de 2 a 3 m de material silto-argiloso, em contato direto com o resíduo. Levantamentos geofísicos anteriores (SEV) delimitaram a borda norte do aterro com sucesso.

Vala de resíduos

Vala cavada irregularmente para disposição de resíduos farmacêuticos em pasto abandonado (não existem tubulações, cercas e tampouco linhas de alta tensão). O material contaminado está disposto sobre camada métrica de argila dura, não fraturada. A lixívia deste material acumulou-se ao longo do topo da camada de argila, formando uma zona refletora. O resíduo contém, predominantemente, metais poluentes prioritários (zinco e cádmio em maiores quantidades).

Indústria de usinagem (delimitação de topo rochoso)

Área de usinagem e lavagem química, com vazamento de BTEX e solventes clorados por mais de dez anos. Tubulações enterradas por toda a unidade, cabos de alta tensão aéreos e subterrâneos, proximidade de via de tráfego intenso e exigüidade de espaço -Foto 3 (Anexos). Terreno composto por sedimentos aluvionares inconsolidados (camadas de 3 a 10m) recobrimdo rocha granito-gnáissica, são, com pouco ou nenhum manto de intemperismo.

Delimitação da extensão de aterro de resíduos domésticos na Zona Leste do município de São Paulo/ SP

Os métodos geofísicos aplicados nesta área (SEV, eletromagnético indutivo), mostraram-se eficientes quanto aos objetivos inicialmente propostos. O grande número de interferências e irregularidades do terreno prejudicam a maioria dos levantamentos, sendo indispensável ter em conta estes fatores na aquisição de dados no campo e na sua interpretação.

Como método alternativo, a sísmica de refração poderia ser empregada na área, principalmente para a delimitação do topo rochoso sobre o qual o aterro está assentado, pois as interferências que atuam sobre os sistemas elétricos e eletromagnéticos (fios de alta tensão, cercas metálicas) afetariam em menor grau a aquisição dos dados sísmicos.

Delimitação de profundidade de vala de resíduos (região de Cabreúva- São Paulo / SP)

O GPR e o equipamento EM-31 revelaram-se as alternativas mais viáveis nesta área, dado seu difícil acesso (exigüidade de espaço, irregularidade do terreno, impossibilidade de galgar os taludes laterais). Alternativamente, o equipamento EM-34 poderia ser usado.

A aplicação de SEV poderia ser tentada; porém, havendo a necessidade de maior espaçamento entre os eletrodos, tornar-se-ia inviável.

Delimitação de topo rochoso (região de Santo Amaro-SP);

A sísmica de refração é o método mais adequado para o objetivo proposto, tendo em vista que a área é cortada por fios de alta tensão, possui tubulações metálicas enterradas, cercas metálicas e espaço exíguo, inviabilizando métodos elétricos e eletromagnéticos.

Para melhor qualidade na aquisição dos dados de campo, o levantamento deveria ser feito em dias e horários de tráfego pouco intenso e pausa nas atividades das indústrias vizinhas (por ex., feriados).

De modo geral, os levantamentos executados nas áreas de interesse foram bem sucedidos, servindo como base para etapas posteriores de investigação e remediação.

Aplicabilidade de diferentes métodos nas áreas de estudo

Métodos	Área de estudo		
	Aterro	Vala	Topo Rochoso
Magnéticos	3	2	3
Geoelétricos	1	2	2
Polarização Induzida	3	2	3
Potencial Espontâneo	3	2	3
Eletromagnéticos	1	1	3
G.P.R.	2	1	3
Sísmica de Refração	2	3	1
Sísmica de Reflexão	2	3	3

- 1- Aplicável
- 2-Aplicação limitada
- 3-Não aplicável

12) Referências Bibliográficas

- Astier, J.L. *Geofísica Aplicada a la Hidrogeologia*. Ed. Paraninfo, 1975
- Griffiths, D.H.& King, R.F. *Applied Geophysics for Geologists and Engineers*. Ed. Pergamon, 1981
- Robinson, E.S.& Coruh, C. *Basic Exploration Geophysics*. Ed. John Wiley and Sons, 1988
- Ward, S.H. *Geotechnical and Environmental Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists, 1990
- Telford, W.M. et al. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, 1990
- Nabighian, M.N. *Electromagnetic methods in Applied Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists, 1994
- Vogelsang, D. *Environmental Geophysics*. Ed. Springer-Verlag, 1995
- Parasnis, D.S. *Principles of Applied Geophysics*. Ed. Chapman & Hall, 1997

ANEXOS



LEGENDA

-  Contorno da Antiga Cava
-  Área com Vestígio de Resíduo fora da Cava
-  Anomalia Geofísica

PERFIL 03 CAMINHAMENTO ELETROMAGNÉTICO



Foto 1- Antena de 50 Mhz



Foto 2 – Antena blindada de 100 MHz



Foto 3- Indústria de usinagem (delimitação de topo rochoso)

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental

**Monografia de Trabalho de Formatura:
Geofísica Aplicada à Investigação de Áreas Industriais e
Urbanas com Problemas Ambientais- Estudo de Casos
(TF/2002-13)**

Aluno: Diego de Sousa Romano
Orientador: Prof. Dr. Fabio Taioli
Co-orientador: Alderico Marchi