

Vantagens do uso de métodos electromagnéticos no diagnóstico de problemas ambientais gerados por minas abandonadas. A mina de Germunde

R. Santos - renata.santos@ineti.pt (Laboratório Nacional de Energia e Geologia)

A. Carvalho Dill - amelia.dill@ineti.pt (Faculdade das Ciências do Mar e Ambiente, Universidade do Algarve)

I. Müller - oktvez@ludens.elte.hu (Eotvos Lorand University)

APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS

Radiofrequency – Electromagnetic (RF-EM)

Radiomagnetotelluric-Resistivity (RMT-R)

OBJECTIVOS:

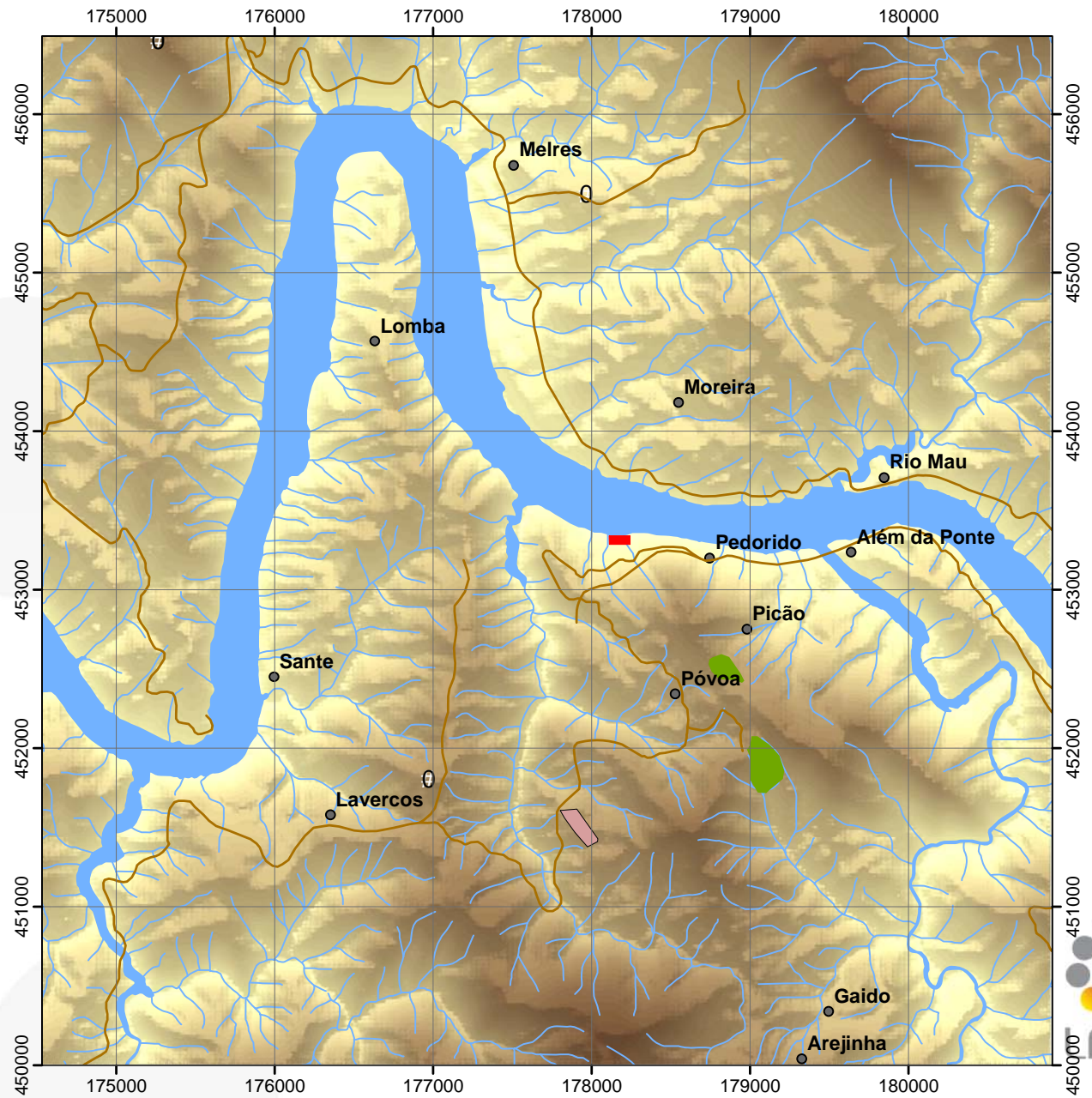
- Validar o modelo geológico inicial;
- Obter uma melhor visualização da geometria e estrutura no interior da mina;
- Definir a estrutura do aquífero;
- Delimitar zonas de contaminação;
- Verificar qual a resposta do método na demarcação das galerias inundadas

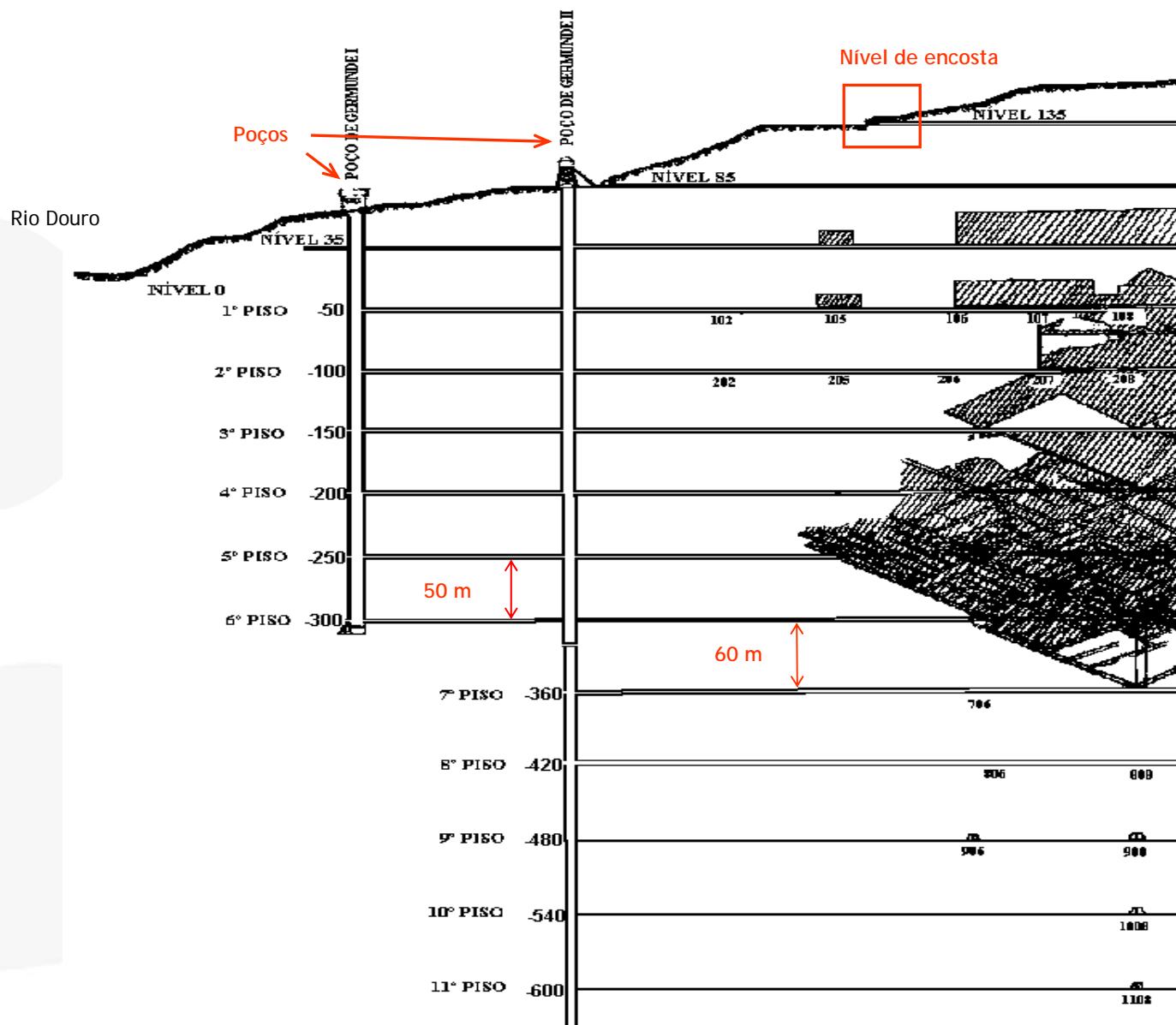
ÁREA DE ESTUDO



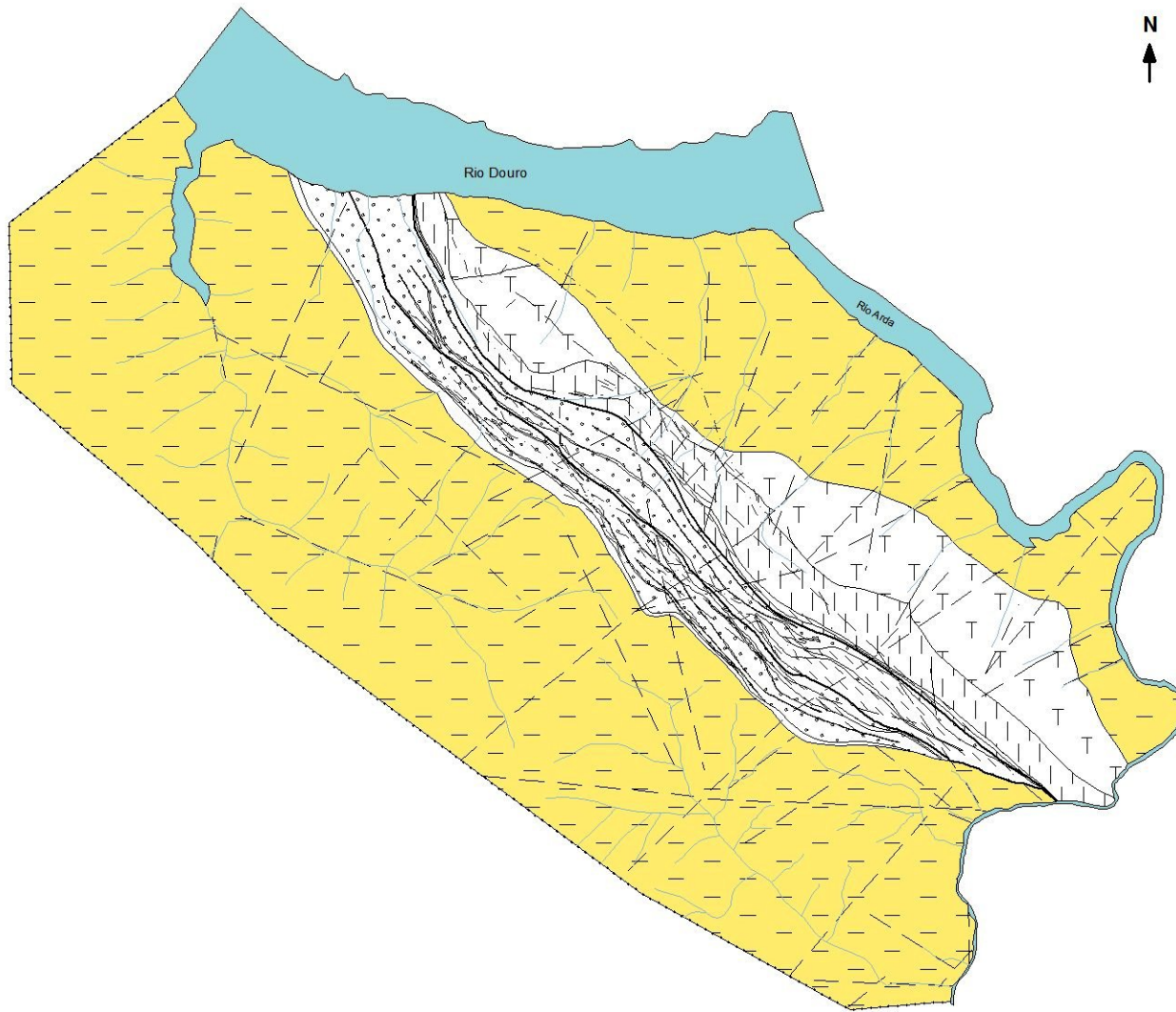
Legenda

- Povoações
- Vértices Geodésicos
- Água superficial
- Estradas
- Escombreira
- Instalações Mina Germunde
- Zona Industrial





UNIDADES GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS



Carbonífero

- Conglomerados, arenitos, xistos e carvão
- Brecha de base
- Brecha intracarbonífera

Ordovício

- Cristas quartzíticas com intercalações xistos
- Xistos ardósíferos
- Xistos e quartzitos intercalados

Câmbrico Inferior

- Complexo Xisto-Grauváquico

- Quebras de subsidência
- Cavalgamento
- Falha
- Alinhamento fotointerpretado
- Quebra vertical

APTIDÃO AQUÍFERA

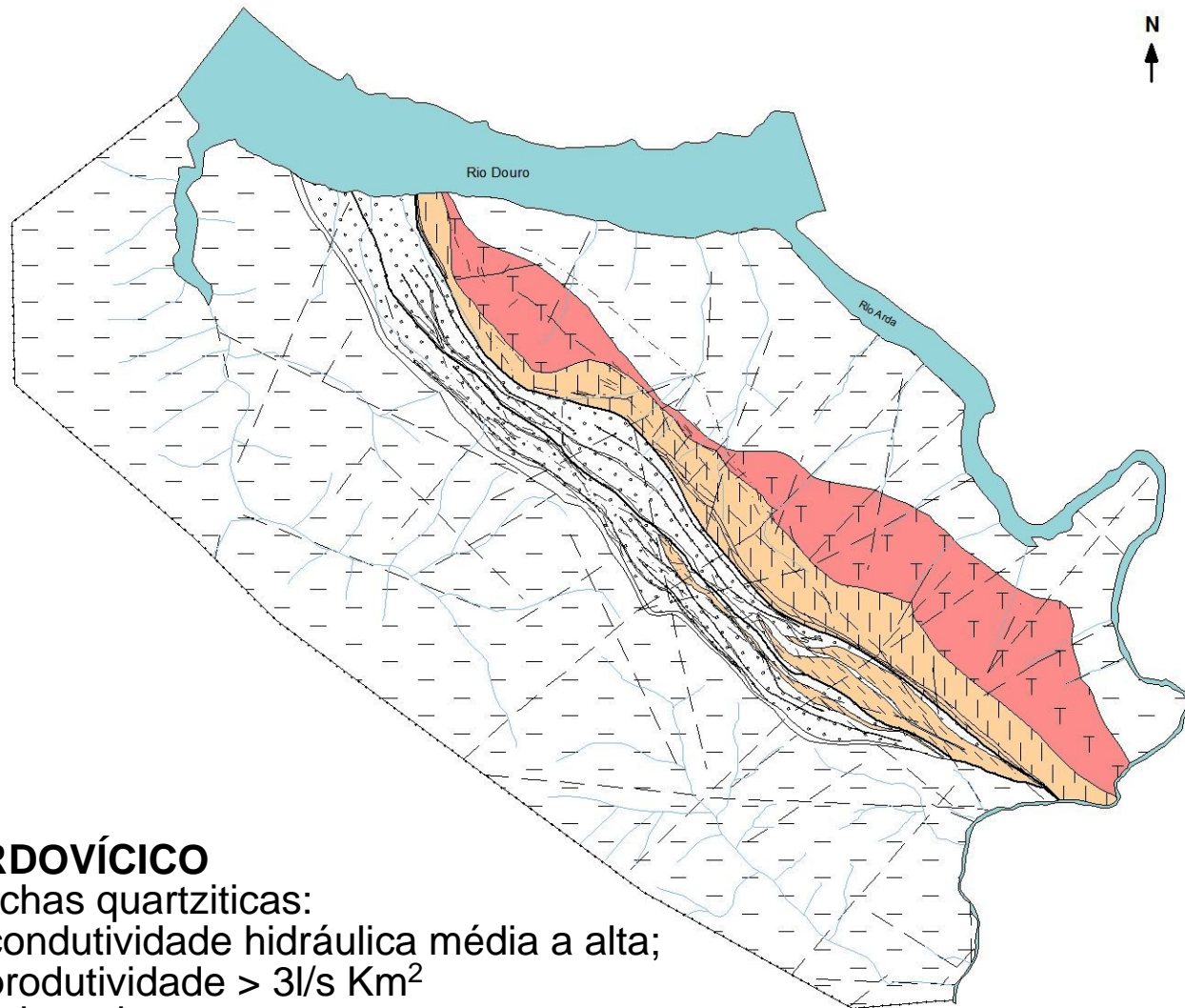
Condutividade Hidráulica m/dia	Aquífero fracturado	Produtividade L/s - Km
Média a Alta 3 a 10		>3
Média a Baixa 0,5 a 3		1 a 3
Baixa 1 a 0,5		0,2 a 1
Muito Baixa < 0,1		< 0,2

0 250 500 750 1000 m

CXG

- condutividade hidráulica muito baixa;
- produtividade <0,2l/s Km²

UNIDADES GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS



Carbonífero

- Conglomerados, arenitos, xistos e carvão
- Brecha de base
- Brecha intracarbonífera

Ordovício

- Cristas quartzíticas com intercalações xistos
- Xistos ardósiferos
- Xistos e quartzitos intercalados

Câmbrico Inferior

- Complexo Xisto-Grauváquico

- Quebras de subsidência
- Cavalcamento
- Falha
- Alinhamento fotointerpretado
- Quebra vertical

APTIDÃO AQUÍFERA

Condutividade Hidráulica média	Aquífero fracturado	Produtividade L/s - Km
Média a Alta 3 a 10		>3
Média a Baixa 0,5 a 3		1 a 3
Baixa 1 a 0,5		0,2 a 1
Muito Baixa < 0,1		< 0,2

0 250 500 750 1000 m

ORDOVÍCIO

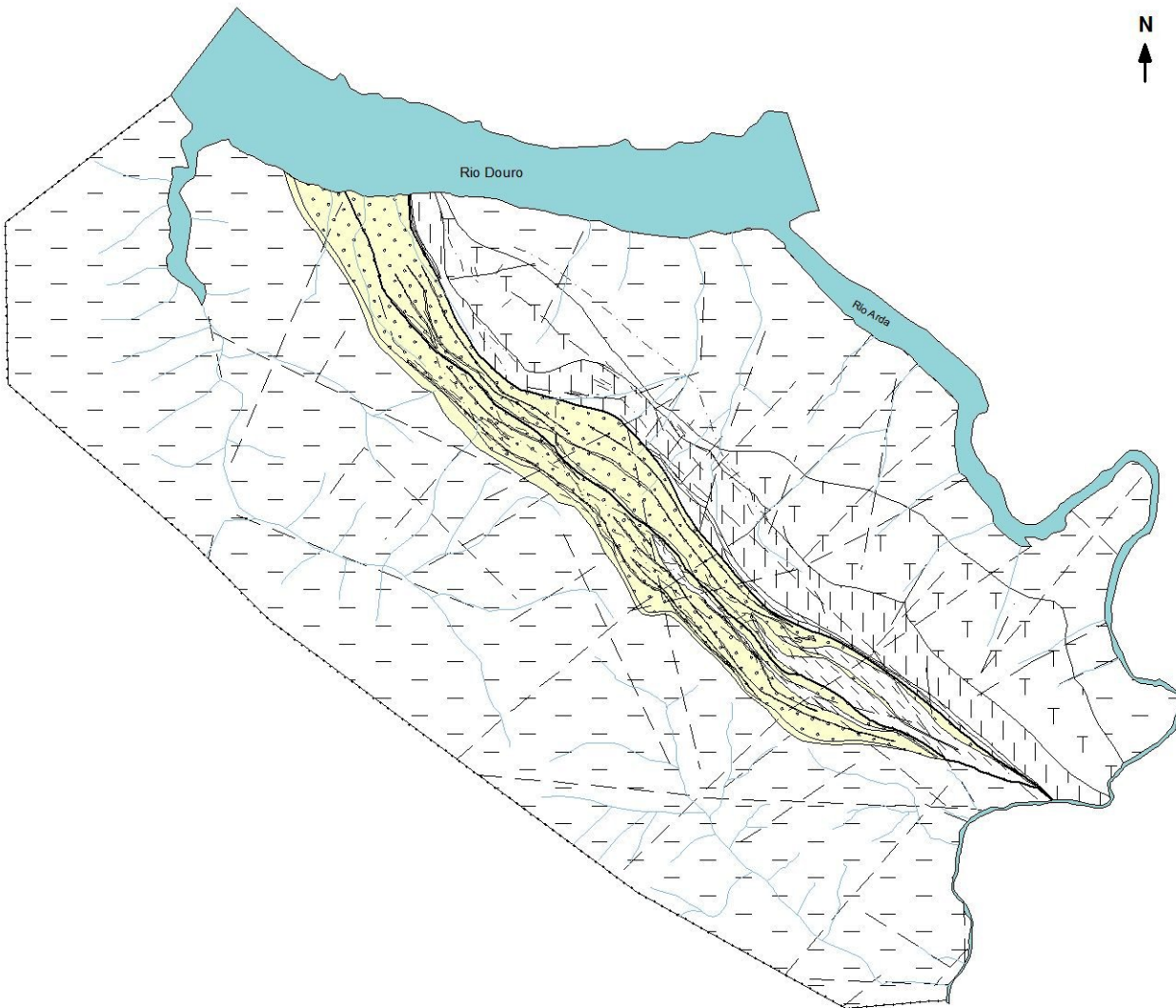
Rochas quartzíticas:

- condutividade hidráulica média a alta;
- produtividade > 3l/s Km²

Rochas xistentas:

- condutividade hidráulica média a baixa;
- produtividade entre 1 e 3l/s Km²

UNIDADES GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS



Carbonífero

- Conglomerados, arenitos, xistos e carvão
- Brecha de base
- Brecha intracarbonífera

Ordovício

- Cristas quartzíticas com intercalações xistos
- Xistos ardósíferos
- Xistos e quartzitos intercalados

Câmbrio Inferior

- Complexo Xisto-Grauváquico

- Quebras de subsidência
- Cavalcamento
- Falha
- Alinhamento fotointerpretado
- Quebra vertical

APTIDÃO AQUÍFERA

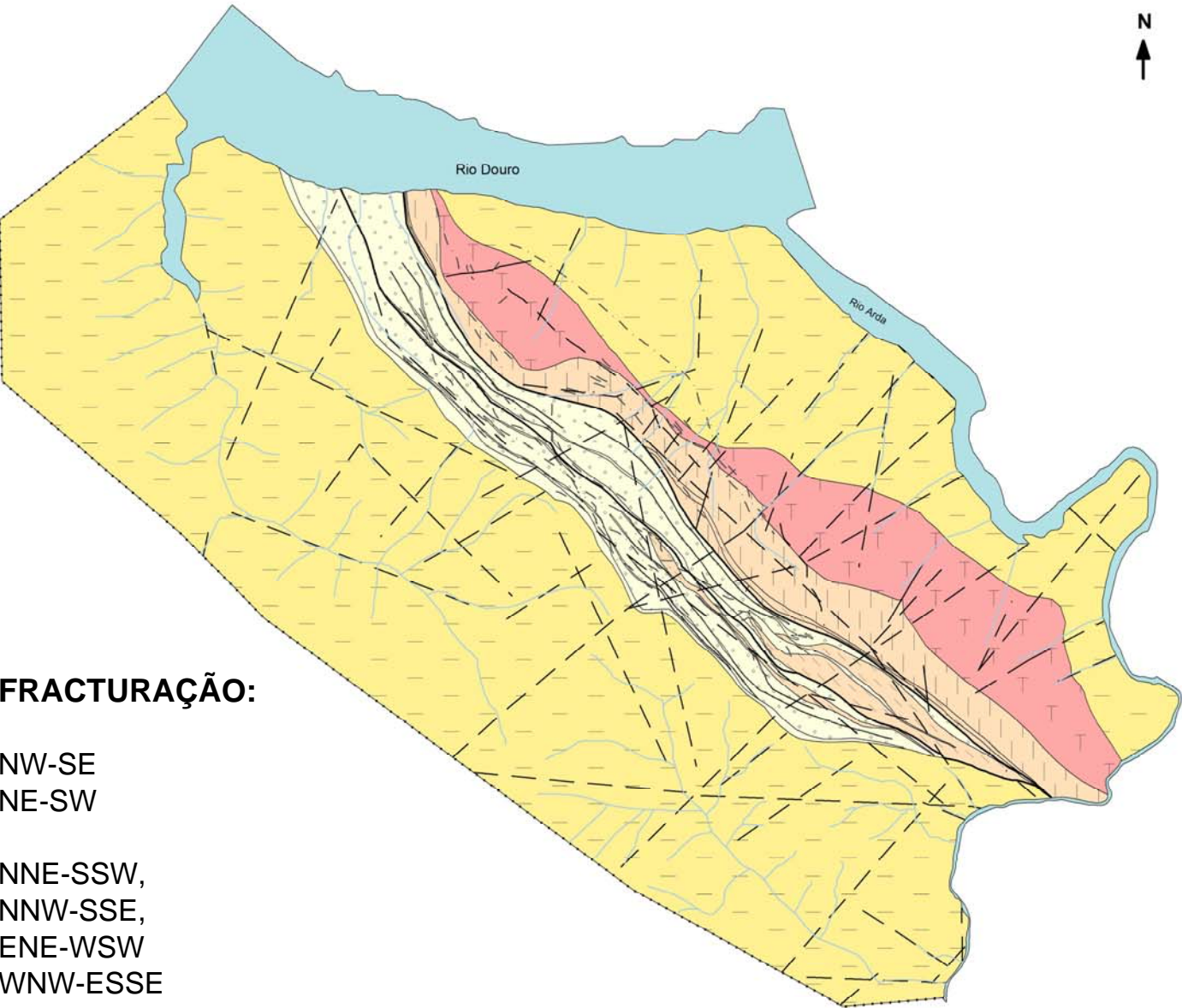
Condutividade Hidráulica m/dia	Aquífero fracturado	Produtividade L/s - Km
Média a Alta 3 a 10		>3
Média a Baixa 0,5 a 3		1 a 3
Baixa 1 a 0,5		0,2 a 1
Muito Baixa < 0,1		< 0,2

0 250 500 750 1000 m

CARBONÍFERO:

- condutividade hidráulica baixa;
- produtividade entre 0,2 a 1/l/s Km²

UNIDADES GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS



- Carbonífero**
- Conglomerados, arenitos, xistos e carvão
 - Brecha de base
 - Brecha intracarbonífera
- Ordovício**
- Cristas quartzíticas com intercalações xistos
 - Xistos ardósíferos
 - Xistos e quartzitos intercalados
- Câmbrio Inferior**
- Complexo Xisto-Grauváquico
- Quebras de subsidência
- Cavalcamento
- Falha
- Alinhamento fotointerpretado
- Quebra vertical

APTIDÃO AQUIFERA

Condutividade Hidráulica m/dia	Aquífero fracturado	Produtividade L/s · Km
Média a Alta 3 a 10		>3
Média a Baixa 0,5 a 3		1 a 3
Baixa 1 a 0,5		0,2 a 1
Muito Baixa < 0,1		< 0,2

0 250 500 750 1000 m

FRACTURAÇÃO:

NW-SE
NE-SW

NNE-SSW,
NNW-SSE,
ENE-WSW
WNW-ESSE

Quebras de subsidência

MÉTODOS GEOFÍSICOS - Radiofrequency – Electromagnetic (RF-EM) Radiomagnetotelluric-Resistivity (RMT-R)

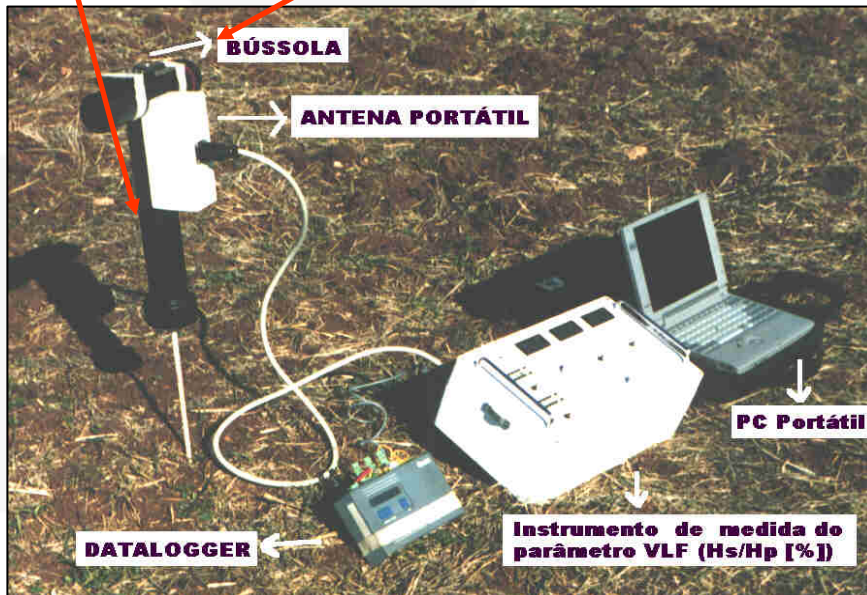
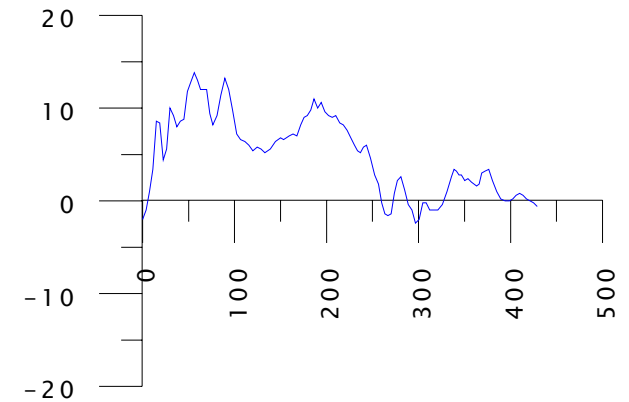
- Fonte de energia - ondas de rádio de baixa a muito baixa frequência, na banda de 12 aos 300kHz e que são emitidas por antenas muito potentes existentes no globo terrestre
- A profundidade de penetração das ondas no subsolo depende da frequência (F) do emissor (em hertz) e da resistividade (ρ) das litologias presentes.
- Ambos os aparelhos de medição que foram utilizados são protótipos desenvolvidos e concebidos pelo Prof. Imré Müller e J. Duperex (Centro de Hidrogeologia da Universidade de Neuchâtel).

MÉTODO RADIOFREQUENCY – ELECTROMAGNETIC (RF-EM)

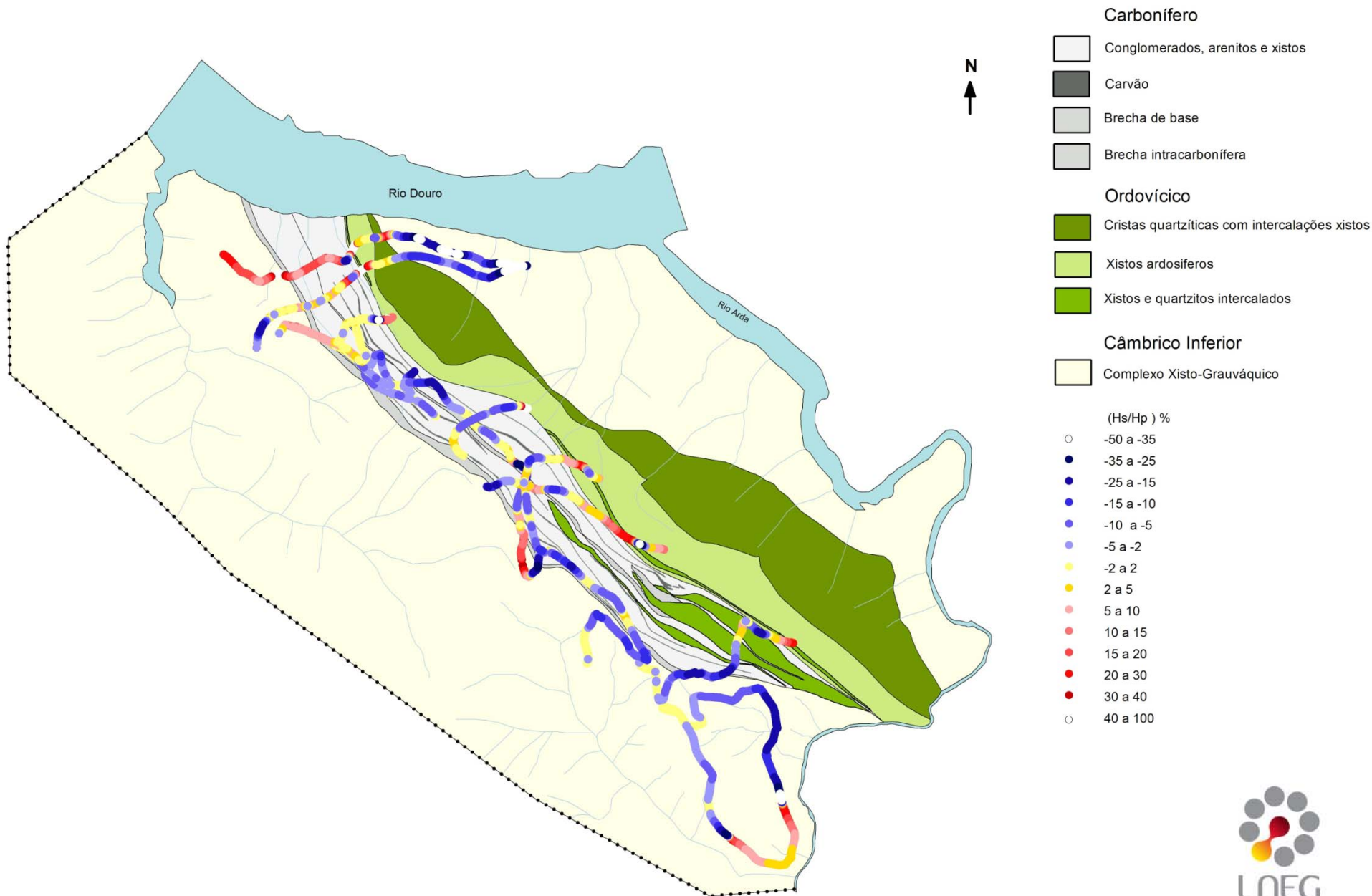
Detecção da componente vertical do campo magnético secundário

intensidade do campo magnético primário

H_s / H_p (%)

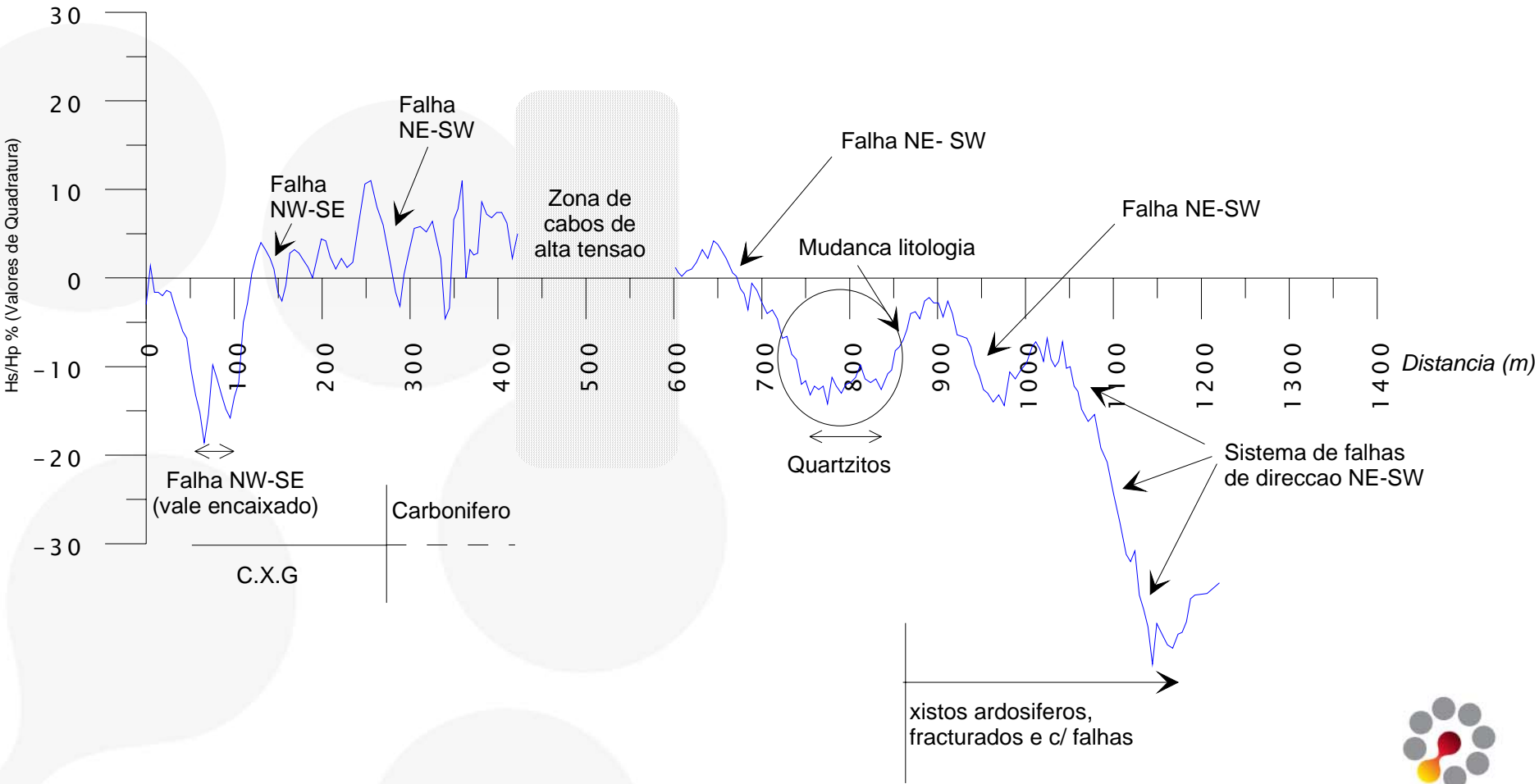


MÉTODO RADIOFREQUENCY – ELECTROMAGNETIC (RF-EM)

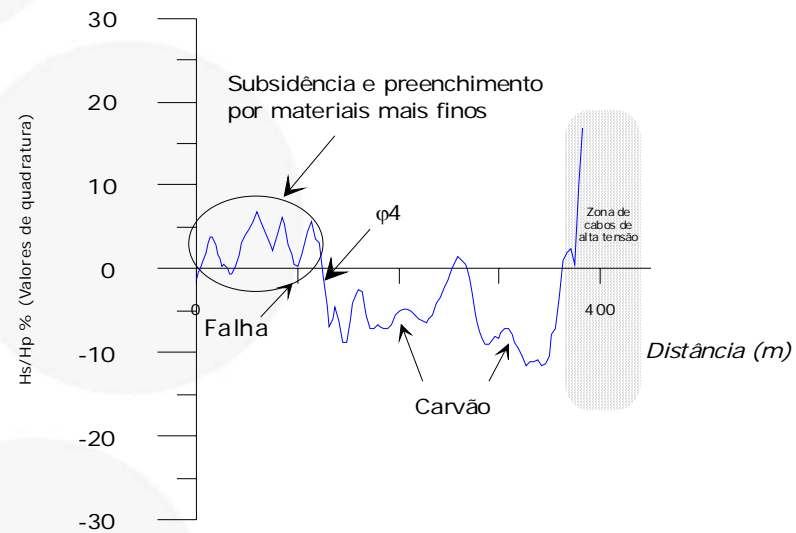
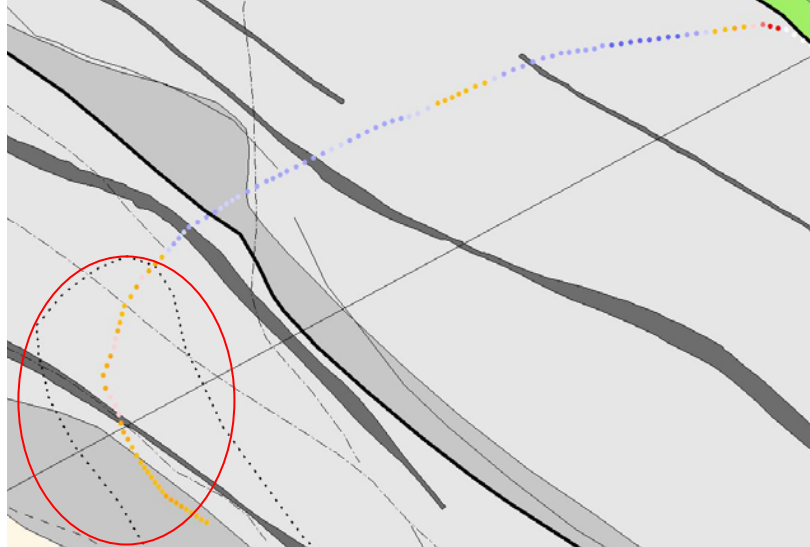


ANÁLISE DE RESULTADOS (1)

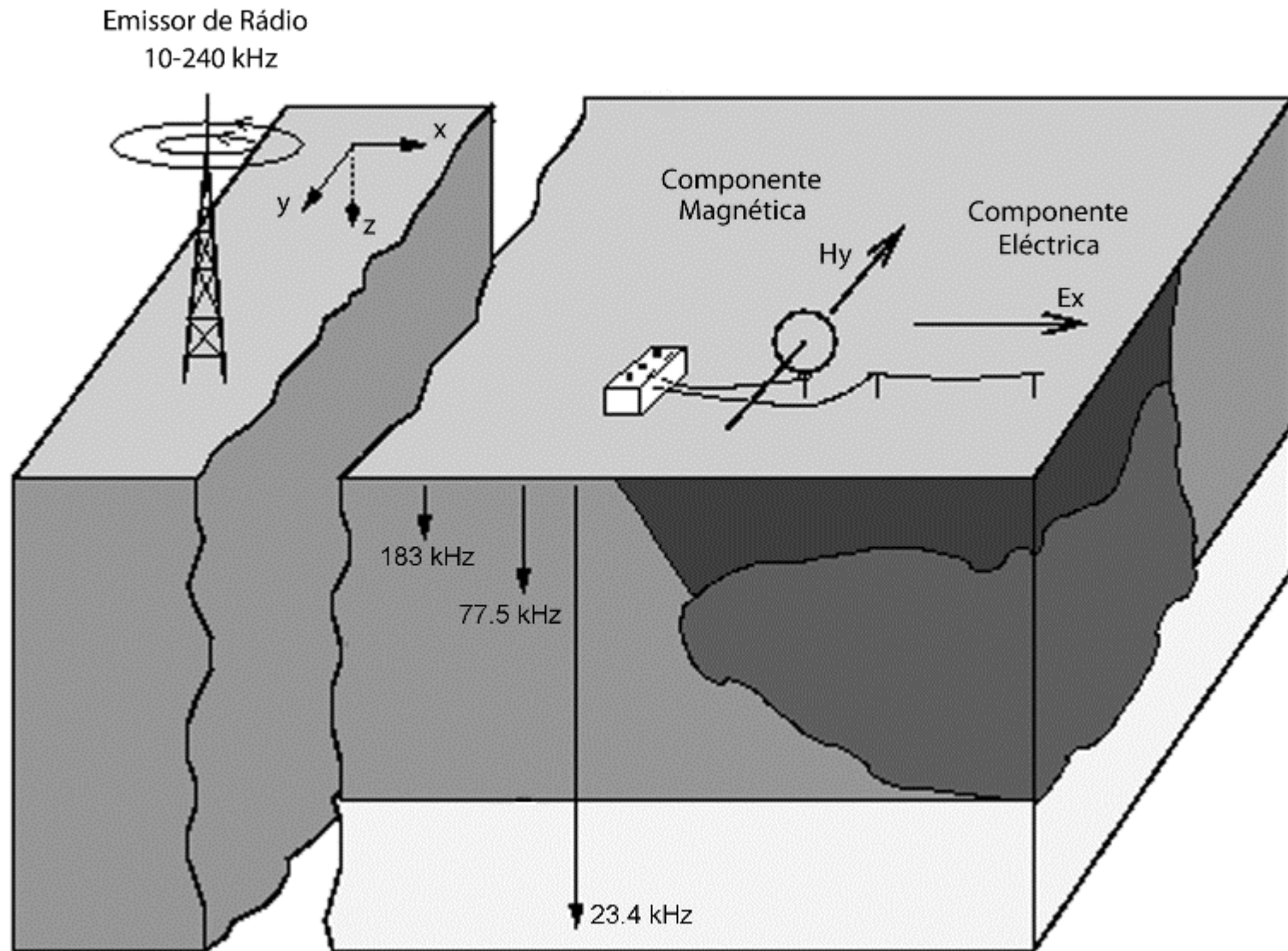
PERFIL 1 (16kHz)



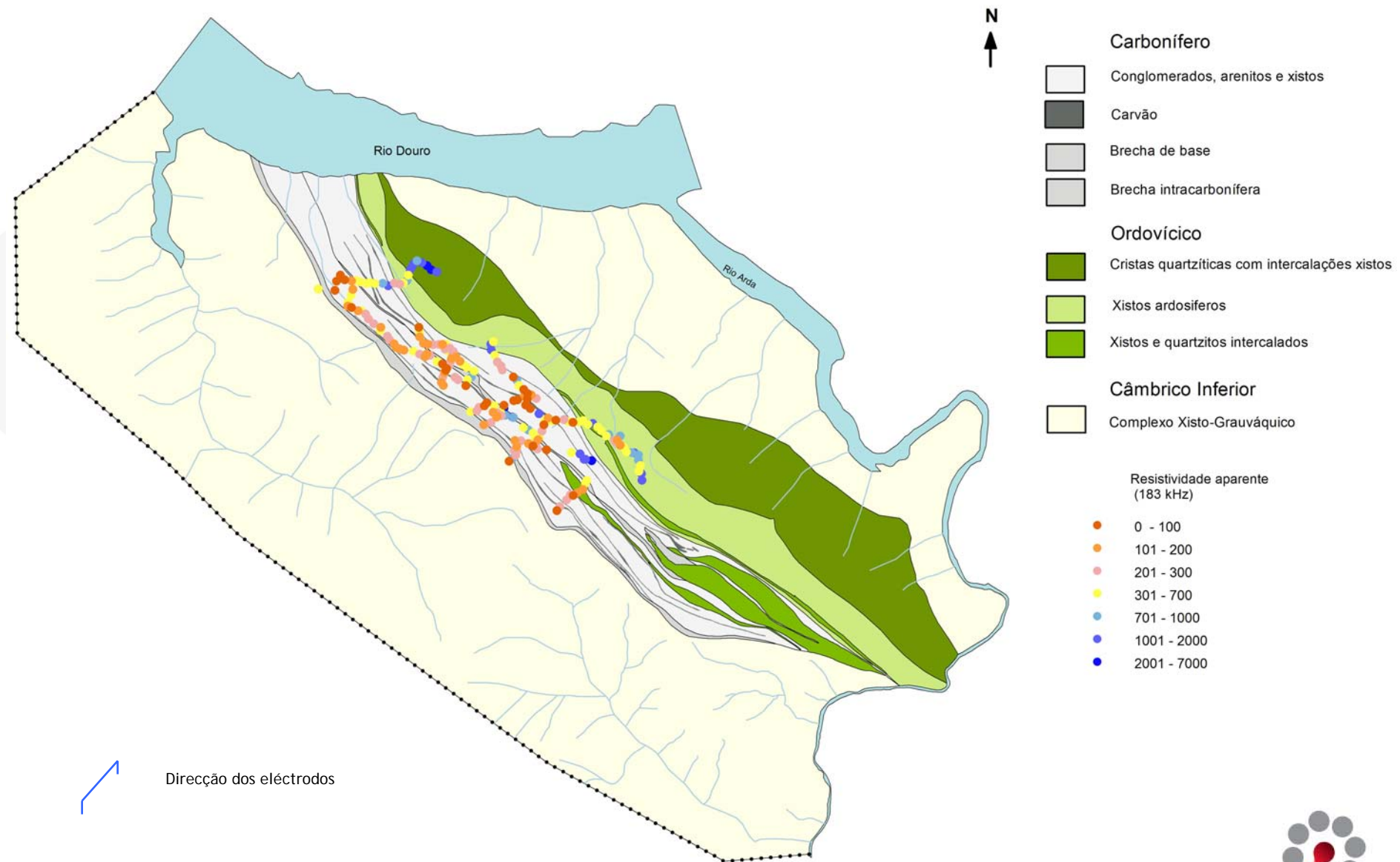
ANÁLISE DE RESULTADOS (2)



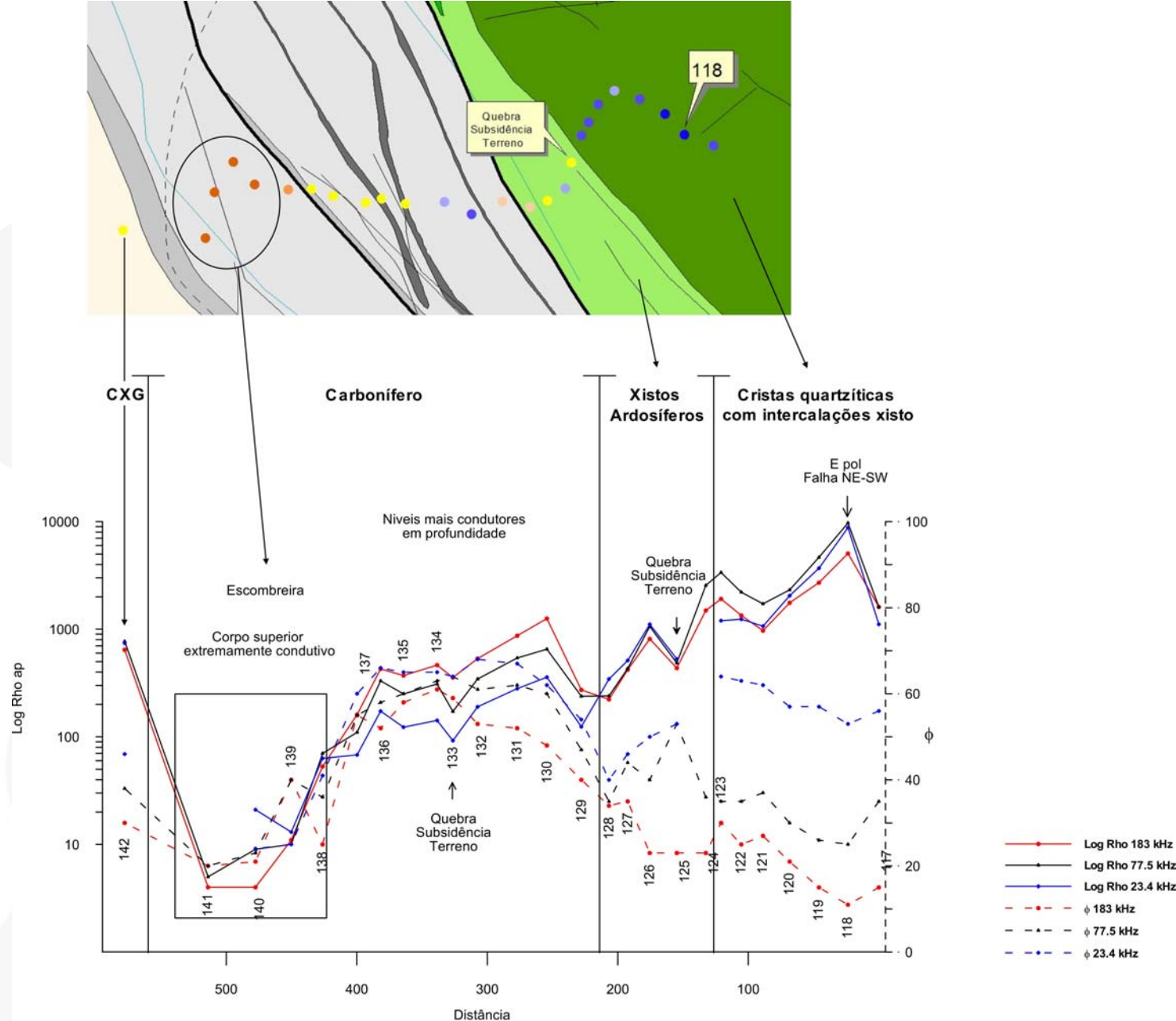
MÉTODO RADIOMAGNETOTELLURIC-RESISTIVITY (RMT-R)



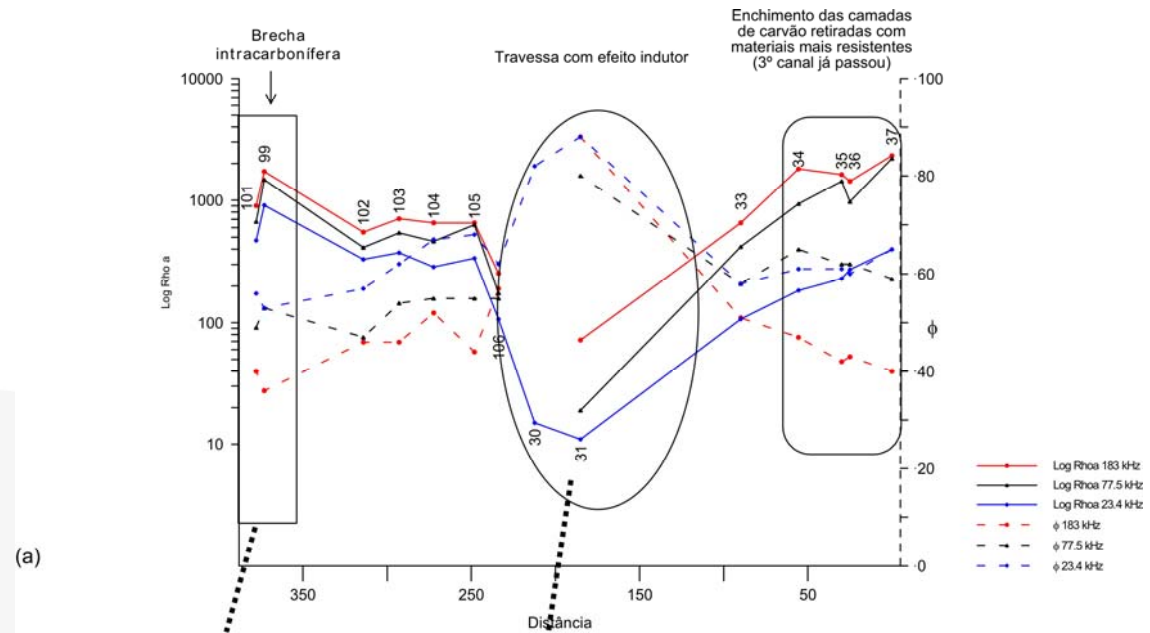
MÉTODO RADIOMAGNETOTELLURIC-RESISTIVITY (RMT-R)



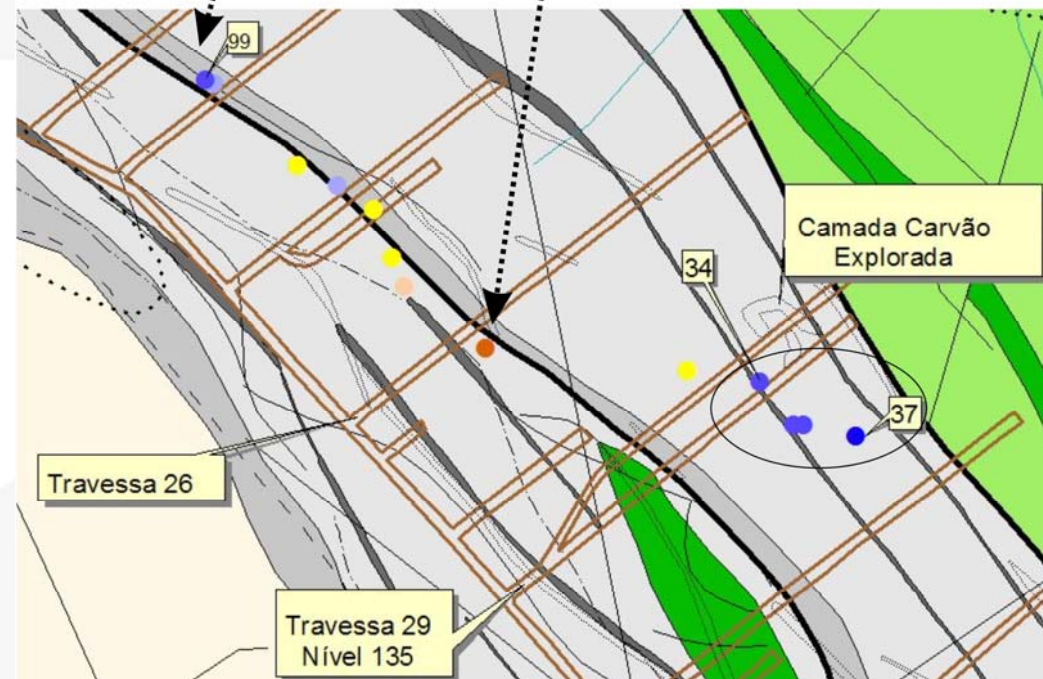
ANÁLISE DE RESULTADOS (1)



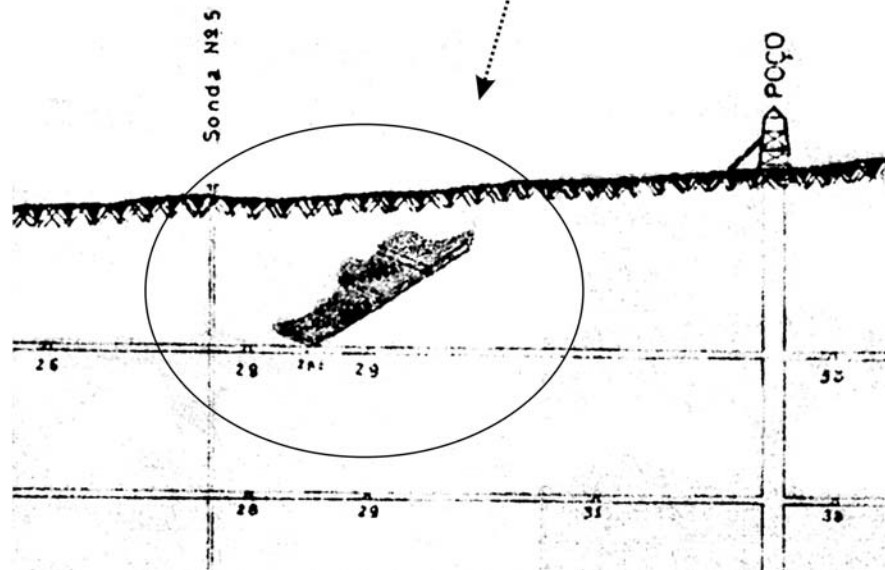
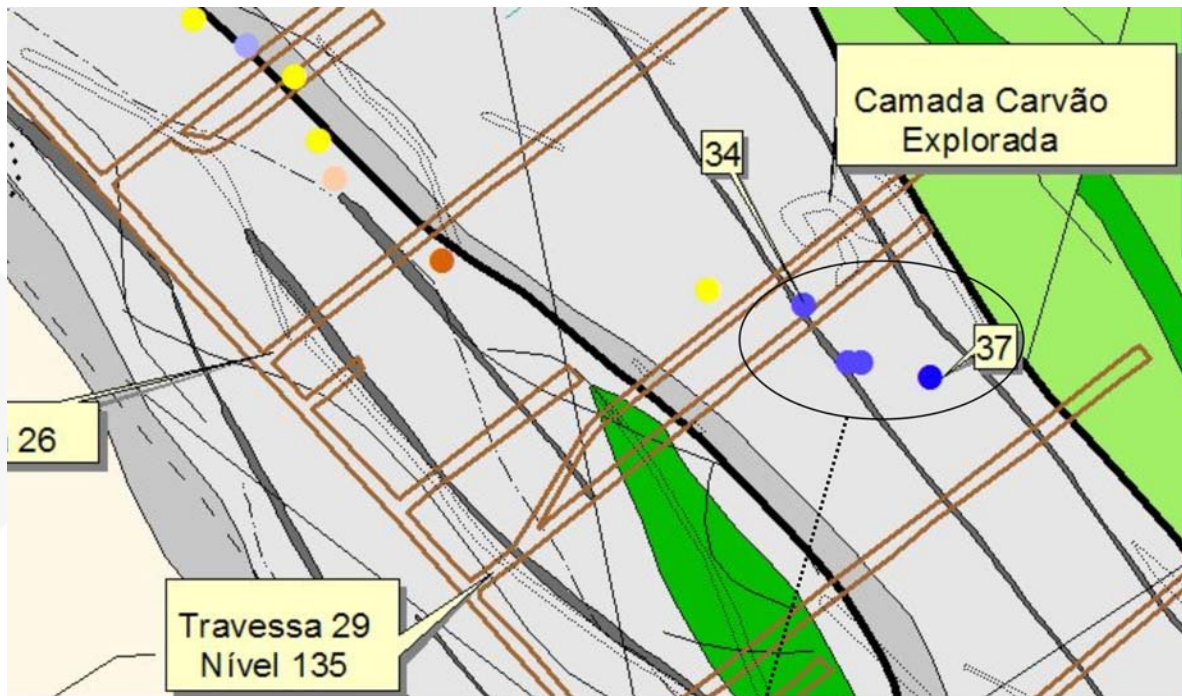
ANÁLISE DE RESULTADOS (2)



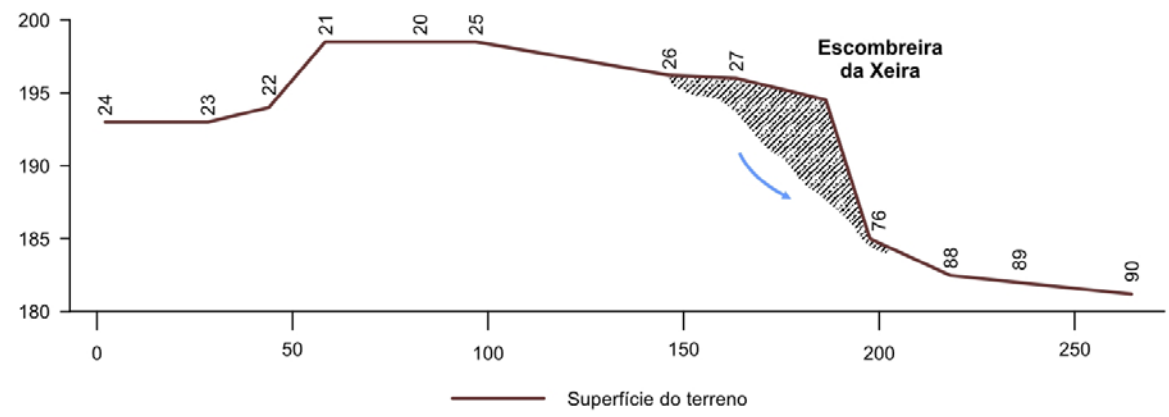
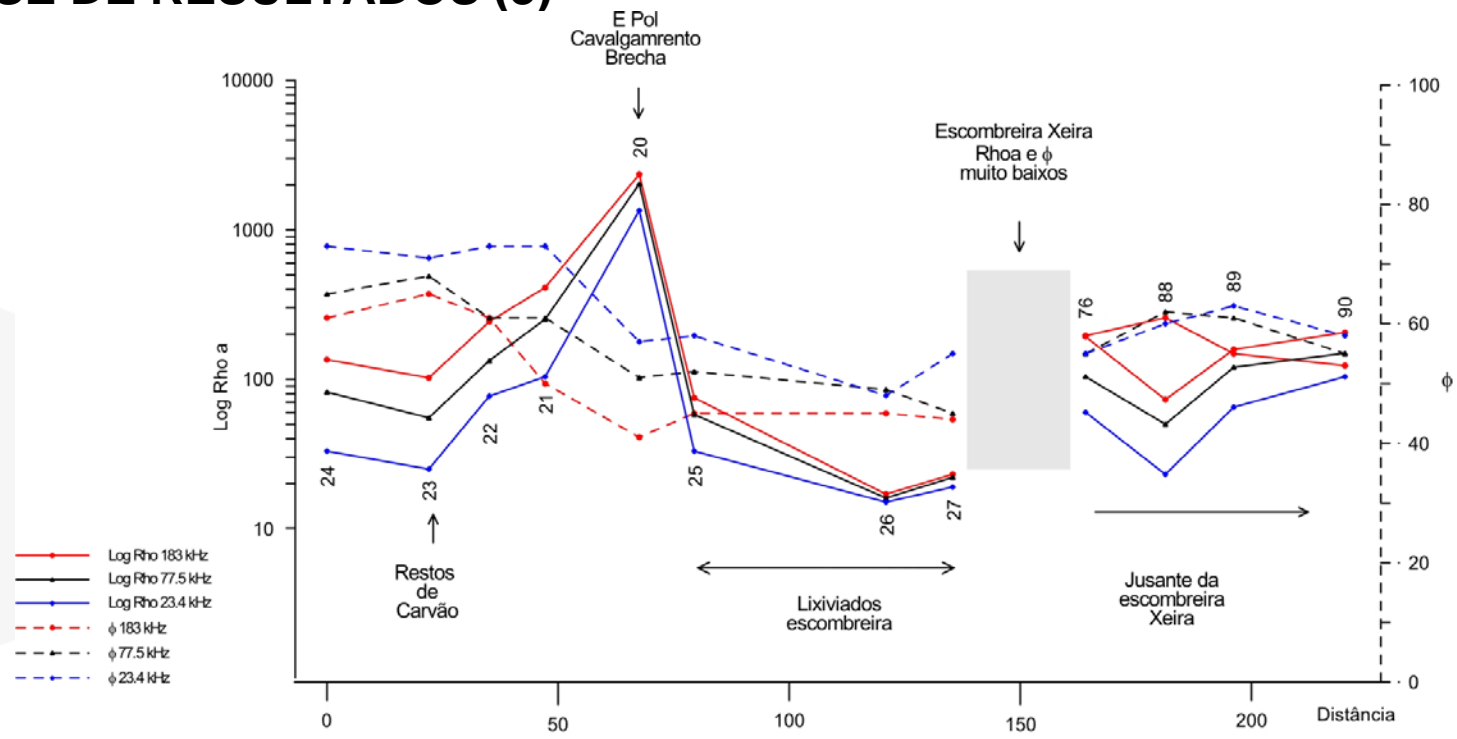
(a)



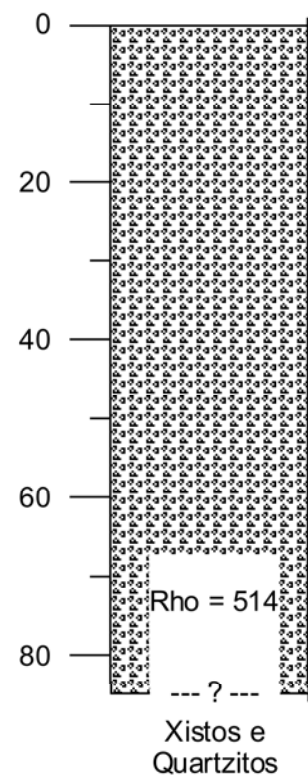
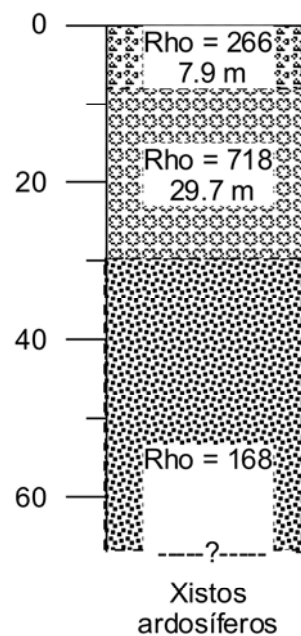
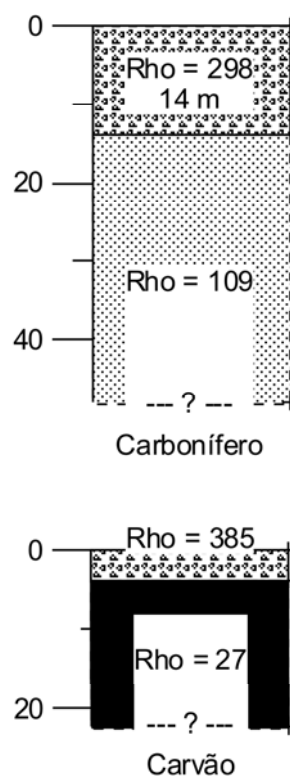
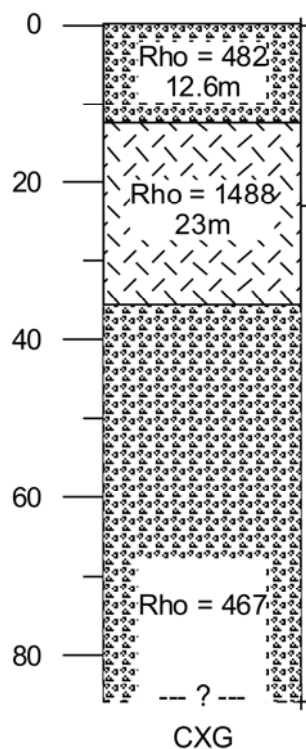
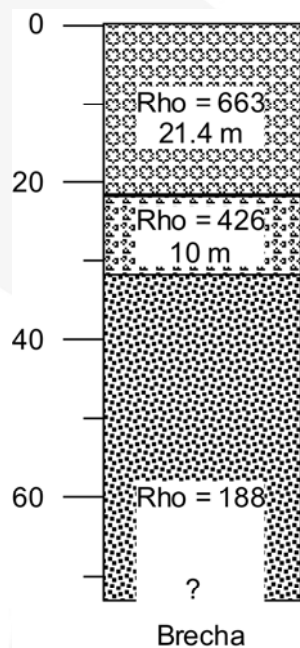
ANÁLISE DE RESULTADOS (2)



ANÁLISE DE RESULTADOS (3)



INVERSÃO MAGNETOTELÚRICA - RESISTIVIDADES REAIS



CONCLUSÕES ESTUDO GEOFÍSICO

- A presença de lixiviados → diminuição da resistividade aparente ($< 100 \text{ ohm.m}$ a 10 ohm.m)
- Aumento de condutividade em profundidade que pode estar associado ou à presença de restos de camadas de carvão ou à presença de contaminantes.
- Identificaram-se contactos geológicos em profundidade.
- Os métodos geofísicos RF-EM e RMT-R foram considerados os apropriados, uma vez que não realizam a homogeneização do meio e fornecem grande densidade de informação.

CONCLUSÕES ESTUDO GEOFÍSICO (cont.)

A aplicação conjunta dos dois métodos permite um complemento de dados obtidos:

- o método RF-EM demonstrou uma melhor aplicação na caracterização e distinção dos sistemas de falhas e fracturas.
- o método RMT-R mostrou ser mais sensível para o mapeamento das variações litológicas do local, tanto à superfície como em profundidade.

CONCLUSÕES:

- A aplicação dos métodos geofísicos RF-EM e RMT-R permitiu um conhecimento mais aprofundado da área de trabalho, principalmente, em profundidade, ao nível de contaminação, da estrutura geológica e da estrutura mineira;
- Os resultados mostraram que a aplicação dos métodos geofísicos são um bom complemento para a interpretação e reconhecimento de áreas contaminadas em maciços fracturados;
- Para a validação dos resultados dos métodos geofísicos, houve sempre o cuidado de cruzar aqueles dados com toda a informação mineira que tinha sido integrada no SIG a 3 dimensões, revelando-se uma metodologia bastante proveitosa.



LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.

www.lneg.pt