

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

PROPRIEDADES ELÉTRICAS DE ROCHAS DA BACIA SEDIMENTAR
SERGIPE - ALAGOAS

Tese Apresentada por

ALDENOR SANTOS DA SILVA

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOFÍSICA

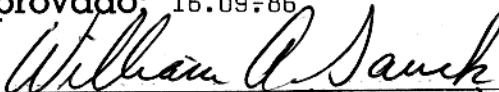
Conferido pelo Curso de Pós-Graduação em

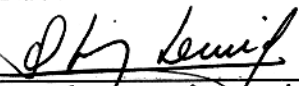
Geociências da

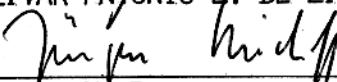
Universidade Federal do Pará

Aprovado: 16.09.86

Comitê de Tese


WILLIAM AUGUST SAUCK (ORIENTADOR)


OLIVAR ANTONIO L. DE LIMA


JÜRGEN H. BISCHOFF

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS

1986

1986

1986

1986

T.286. SILVA, Aldenor Santos da

Propriedades elétricas de rochas da Bacia Sedimentar. Sergipe-Alagoas. Belém, UFPA/CG, 1986.

100 p.

Tese apresentada ao Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará para obter o grau de mestre em Ciências na área de Geofísica.

1. Geofísica aplicada, 2. Resistividade Complexa-Rochas, 3. Polarização Induzida. I. Universidade Federal do Pará/Centro de Geociências. II. Título.

AGRADECIMENTO

Ao Dr. William August Sauck pela orientação des
te trabalho.

Ao Dr. Jürgen Hirchi Bischoff por suas sugestões
e apoio na parte instrumental para elaboração deste trabalho.

Ao Dr. Olivar Antônio Lima de Lima pelas suges
tões dadas ao examinar este trabalho.

Ao Mrs. Alexandre José Martins Figueiras pela co
laboração na análise petrográfica das amostras estudadas.

Ao Mrs. Brígida Ramati Pereira da Rocha por seu
auxílio nos contatos mantidos com a companhia de mineração para
obtenção das amostras.

Ao Dr. José Ricardo Santos de Souza pelo apoio
e incentivo.

Ao Dr. Luis Erçilio do C. Faria Júnior por sua
colaboração e compreensão para realização deste trabalho.

Ao Centro de Geociências da Universidade Federal
do Pará pelo apoio.

A PETROMISA (Petrobrás Mineração S.A) pelo forneci
mento das amostras dos furos de sondagens na bacia sedimentar Ser
gipe-Alagoas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifi
co e Tecnológico - CNPq pelo suporte financeiro a este projeto
de pesquisa, e pela bolsa de estudos concedida no período de
82-85.

A todos os que colaboraram direta ou indiretamen
te para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO

1 - INTRODUÇÃO	01
2 - PROPRIEDADES ELÉTRICAS DE ROCHAS: TEORIA	
2.1 - Mecanismo de condução elétrica nas rochas	02
3 - METODOLOGIA EMPREGADA NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	
3.1 - Princípio de medida de parâmetros elétricos de rochas em laboratório	08
3.2 - Seleção e preparo das amostras	11
3.3 - Análise petrográfica das amostras	11
3.4 - Medidas de condutividade	12
3.4.1 - Instrumentação utilizada	12
3.4.1.1 - Sistema de Eletrodos	13
3.5 - Medidas de Porosidade	13
3.6 - Medidas de Densidade	13
3.7 - Determinação do Coeficiente de Anisotropia	14
3.8 - Forma de apresentação dos resultados	14
4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	
4.1 - Análise petrográfica	16
4.2 - Análise geral dos dados obtidos sobre as amostras	21
5 - CONCLUSÃO	37
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
7 - ANEXOS	41
ANEXO 01 - Parâmetros obtidos sobre as amostras do FURO - 9 PEO-7-SE, apresentados em forma de tabela.	
ANEXO 02 - Parâmetros obtidos sobre as amostras do FURO - 9 PSS-1-SE, apresentados em forma de tabela.	

- ANEXO 03 - Apresentação dos perfis relativos a densidade da amostra sêca, densidade da amostra saturada, porosidade, máximo teor de minerais metálicos e efeito percentual em frequência (PFE), para as amostras do FURO-9-PEO-7-SE.
- ANEXO 04 - Apresentação dos perfis relativos aos teores dos elementos chumbo, cobre e zinco e a resistividade DC das amostras do FURO-9-PEO-7-SE.
- ANEXO 05 - Apresentação dos perfis relativos a densidade da amostra sêca, densidade da amostra saturada, porosidade, máximo teor de minerais metálicos e efeito percentual em frequência (PFE), para as amostras do FURO-9-PSS-1-SE.
- ANEXO 06 - Apresentação dos perfis relativos aos teores dos elementos chumbo, cobre e zinco, e a resistivida de DC das amostras do FURO-9-PSS-1-SE.
- ANEXO 07 - Apresentação em forma de tabela dos dados geoló-gicos das amostras do FURO-9-PEO-7-SE, tais como a litologia, mineralogia, seleção, arredondamen-to, cimentação e formação geológica a que pertence a amostra.
- ANEXO 08 - Apresentação em forma de tabela dos dados geoló-gicos das amostras do FURO-9-PSS-1-SE, tais como a litologia, mineralogia, seleção, arredondamen-to, cimentação e formação geológica a que pertence a amostra.
- ANEXO 09 - Espectros de amplitude e fase da condutividade complexa para as amostras do FURO-9--PEO-7-SE.

ANEXO 10 - Curvas de relaxação tipo Cole-Cole para as amostras do FURO-9-PEO-7-SE.

ANEXO 11 - Espectros de amplitude e fase da condutividade complexa para as amostras do FURO-9-PSS-1-SE.

ANEXO 12 - Curvas de relaxação do tipo Cole-Cole para as amostras do FURO-9-PSS-1-SE.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 - Mapa geológico da área de trabalho (modificado do diagrama do DNPM, 1976)

FIGURA 02 - (a)-Uma pequena seção de uma rocha mineralizada, que contém condutos porosos obstruídos e desobstruídos.
(b)-Um circuito equivalente para a rocha mineralizada.

(c)-Resposta típica, no domínio da frequência, para o circuito equivalente.

(d)-Resposta correspondente, no domínio do tempo, para a resposta no domínio da frequência plotada em (c).

FIGURA 03 - Representação esquemática do sistema de Medida Direta de Impedância.

FIGURA 04 - (a)-Relação de fase entre a condutividade real (σ'), condutividade imaginária (σ''), e condutividade complexa (σ^*).

(b)-Relação de fase entre a permissividade relativa real (k'), permissividade relativa imaginária (k''), e permissividade relativa complexa (k^*), θ = ângulo de fase, δ = ângulo de perda, V = voltagem na amostra, I_p = corrente de perda, I_c = corrente de cargas, I = corrente total.

FIGURA 05 - Espectro de condutividade complexa da amostra nº 27 do FURO-9-PEO-7-SE.

FIGURA 06 - Curva de relaxação tipo Cole-Cole para a amostra nº 27 do FURO-9-PEO-7-SE.

FIGURA 07 - Espectro de condutividade complexa da amostra nº09 do FURO-9-PEO-7-SE.

FIGURA 08 - Espectro de condutividade complexa da amostra nº18 do FURO-9-PSS-1-SE.

FIGURA 09 - Curva de relaxação tipo Cole-Cole para a amostra nº 31 do FURO-9-PEO-7-SE.

FIGURA 10 - Curva de relaxação tipo Cole-Cole para a amostra ' nº 02 do FURO-9-PSS-1-SE.

FIGURA 11 - Disposição de cada amostra estudada do FURO-9-PEO-7-SE, num diagrama de resistividade DC versus poro-sidade.

FIGURA 12 - Disposição de cada amostra estudada do FURO-9-PSS-1-SE, num diagrama de resistividade DC versus poro-sidade.

FIGURA 13 - Espectro de amplitude e fase da condutividade de água utilizada para saturar as amostras estudadas.

RESUMO

Este trabalho se propôs apresentar um estudo das propriedades elétricas de rochas da bacia sedimentar Sergipe-Alagoas. Foram selecionados dois furos de sondagens ambos localizados no Estado de Sergipe, o primeiro pertence ao Projeto-Enxofre, denominado de 9-PEO-7-SE, situado ao norte do município de Itaporanga d'Ajuda, suas amostras foram divididas em quatro unidades distintas, sendo a mais antiga a Formação Rio Pitanga (Walden?), seguindo-se a Formação Muribeca-Membro Carmópolis e Ibura (Aptiano) e Formação Riachuelo-Membro Angico (Aptiano Superior). O segundo pertence ao Projeto Sulfeto Tenório, denominado de 9-PSS-1-SE, situado próximo ao município de Japoatã, suas amostras pertencem exclusivamente à Formação Barra de Itiúba.

Foram obtidos dados sobre as características físicas das rochas, como a densidade e porosidade. As características elétricas como a condutividade complexa, polarização induzida e o coeficiente de anisotropia de algumas amostras. Realizou-se análise petrográfica das amostras baseado no estudo de lâminas delgadas onde foram observadas as características litológicas, mineralógicas e texturais das amostras, visando correlacionar esses dados aos parâmetros físicos e elétricos obtidos. Registrou-se ainda os teores dos elementos Cu, Pb e Zn presentes em cada amostra (dados fornecidos pela PETROMISA).

Verificou-se que as maiores concentrações de minerais metálicos (opacos), presentes nas amostras ocorreram nos arenitos grosseiros e conglomerados mal selecionados.

Foram determinados os espectros de amplitude e fase da condutividade complexa e curvas de relaxação do tipo Cole-Cole, que serviram para apresentar o comportamento elétrico individual das amostras com relação a frequência do sinal aplicado no intervalo de 1 a 1.000 Hz.

O valor mínimo obtido para resistividade do con

junto das amostras dos dois furos foi de 19 Ω .m e o valor máxi
mo de 909 Ω .m. O valor mínimo encontrado para o PFE do mesmo
conjunto foi de 0,19% e o valor máximo de 16%. O valor mínimo en
contrado para o teor dos elementos metálicos Cu e Pb ainda so
bre o mesmo conjunto foi de 14 ppm e o valor máximo encontrado
foi de 5230 ppm.

1 INTRODUÇÃO

Na bacia sedimentar Sergipe-Alagoas foram implantados projetos de exploração mineral sob o patrocínio da PETROMISA (Petrobrás Mineração S.A.) Com entendimentos mantidos entre esta referida companhia e o Centro de Geociências da UFPa, foram cedidas a esta última instituição, algumas amostras de testemunhos de furos de sondagens pertencentes ao Projeto-Enxofre e ao Projeto Sulfeto Tenório ali implantados, para estudos de laboratório das Propriedades Elétricas das referidas amostras, as quais foram utilizadas neste trabalho.

Foram selecionados dois furos de sondagens, o primeiro pertencente ao Projeto Enxofre, denominado de 9-PEO-7-SE, localizado na área ao norte do Município de Itaporanga d'Aju, no estado de Sergipe, cujas coordenadas em U.T.M. (Universal Transverse Mercator) são; $X=788.705 \text{ m}$ - $MC=39^{\circ}$; e $Y=8.785.467 \text{ m}$, com uma profundidade de 660 m. O segundo furo de sondagem pertence ao Projeto Sulfeto Tenório, denominado de 9-PSS-1-SE, localizado em área próxima ao município de Japoatã, no Estado de Sergipe, cujas Coordenadas em U.T.M. são: $X=747.538,3 \text{ m}$ - $MC=39^{\circ}$; e $Y=8.785.467 \text{ m}$, com a profundidade de 260 m. (Fig. 1).

Para cada furo de sondagem acima mencionado foram obtidos pela companhia de mineração alguns dados, como a descrição litológica dos furos, análise química dos testemunhos de sondagem e descrição de amostras de calha. Estes dados foram então enviados ao Centro de Geociências com objetivo de auxiliar na elaboração do referido trabalho de pesquisa.

2 PROPRIEDADES ELÉTRICAS DE ROCHAS: TEORIA

2.1 Mecanismos de condução elétrica nas rochas

A corrente elétrica total num material homogêneo é composta de duas partes: corrente de condução e corrente de deslocamento. A corrente de condução é classicamente definida como aquela que ocorre devido ao transporte ou movimento ordenado ("drift") de cargas e é proporcional ao número de cargas e a velocidade de transporte das cargas. A corrente de deslocamento, através de sua relação com a corrente de polarização é associada com o tempo de mudança na distribuição das cargas ligadas, ou que não estão livres para se deslocar no material. É possível categorizar materiais homogêneos como condutores ou dielétricos de acordo com a corrente predominante. Falar de condutividade ou permissividade de qualquer maneira é um importante assunto de homogeneidade, isto é, acredita-se que a condutividade, por instância, é característica de um material, e não como uma propriedade que varia com a situação interna de uma amostra. As rochas são heterogêneas e, fisicamente, as propriedades elétricas devem variar com a situação das mesmas. Quando fala-se de condutividade e permissividade de uma rocha, deve ser compreendido que fala-se dos parâmetros elétricos de um material homogêneo equivalente.

A condução na estrutura sólida de uma rocha ocorre via quatro mecanismo: semicondução intrínseca, semicondução extrínseca, condução iônica intrínseca e condução iônica extrínseca (Fuller and Ward, 1970). A semicondução intrínseca e a condução iônica intrínseca são predominantes em temperaturas acima de 600°C e, por isso, representam provavelmente num papel insignificante nas rochas da superfície terrestre. Num outro sentido, a semicondução extrínseca ou de impurezas e a condução iônica extrínseca provavelmente são os mecanismos dominantes na maioria dos minerais, especialmente nos óxidos e sulfetos metálicos, predominantes na superfície terrestre.

A corrente de deslocamento surge pelo mecanismo de polarização, o qual inclui polarização eletrônica, polarização atômica, polarização de orientação, polarização de eletrodo e polarização de membrana (Keller e Frischknecht, 1966). Os três primeiros mecanismos são contribuintes da permissividade dielétrica normal de materiais homogêneos com tempos de relaxação de 10^{-16} a 10^{-4} segundos. A polarização de eletrodo e de membrana ocorrem quando certas fases de minerais sólidos estão em contato com uma fase aquosa (Madden e Marshall, 1959a e 1959b). Os minerais de óxidos e sulfetos metálicos, distribuídos nos poros de rochas úmidas (ou rochas saturadas), podem produzir pronunciada polarização de eletrodo. Os minerais de argila distribuídos nos poros de rochas úmidas ou parcialmente saturadas podem produzir pronunciada polarização de membrana. Estes dois últimos tipos de polarização tem constante de tempo na faixa de 10^{-4} segundos a alguns minutos.

O fluxo de corrente (tanto de condução como de deslocamento) nas rochas, envolve desta forma mecanismos que podem produzir uma pronunciada dependência da frequência na relação entre campo elétrico e densidade de corrente total. Além disso, com base puramente física e intuitiva, deve parecer ilógico prever que a corrente de condução esteja exatamente em fase e a corrente de deslocamento exatamente fora de fase com o campo elétrico em todas as frequências. O deslocamento de íons, por instância, através dos líquidos nos poros ou através da estrutura sólida da rocha é afetado por vários fatores, incluindo a viscosidade do líquido, fatores locais (que podem aparecer como polarização), e colisões nos sólidos; tais fatores contribuirão para produzir uma componente em quadratura da corrente de condução. Similarmente, ambas componentes em quadratura e em fase da corrente de deslocamento, associadas com a polarização de pares impurezas-lacunas ocorrem em substâncias heterogêneas, tais como em minerais cristalinos impuros (Lidiard, 1957).

Um modelo simples de relaxação construído para ajustar uma variedade de resultados de resistividade complexa em

laboratório (Maddden and Cantwell, 1967, Pelton et al. 1972) foi originalmente proposto por Cole e Cole (1941) para prever o comportamento dielétrico complexo. O circuito da Figura 2b é uma malha resistiva que exibe uma relaxação Cole-Cole.

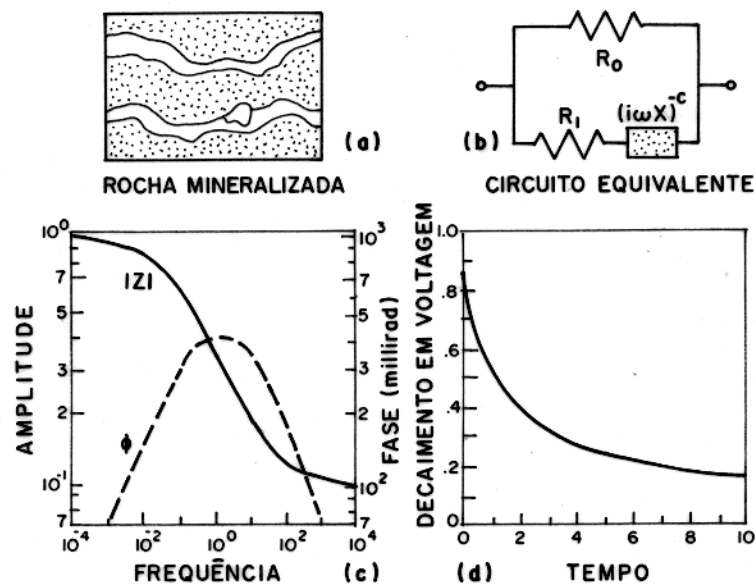


Fig. 2 (a) Uma pequena seção de uma rocha mineralizada, a qual tem condutos porosos obstruídos e desobstruídos.
 (b) Um circuito equivalente para a rocha mineralizada.
 (c) Resposta típica no domínio da frequência para o circuito equivalente.
 (d) Resposta correspondente, no domínio do tempo para a resposta no domínio da frequência plotada em (c).

Outros circuitos equivalentes podem ser antevistos quais também tem a mesma resposta, porém o circuito anteriormente mencionado, fornece uma analogia conveniente para um

exame da geometria dos poros em uma rocha mineralizada a qual é mostrada na figura 2a. No circuito a impedância complexa, $(i\omega X)^{-C}$ simula a interface metálica-iônica. A resistência R_0 simula o conduto poroso desobstruído que permite a condução paralela através de um elemento puramente resistivo e a resistência R_1 simula a resistência da solução no conduto poroso obstruído. Uma palavra de alerta é que esta observação é de uma pequena seção de uma rocha mineralizada a admitidamente muito simples; os verdadeiros percursos da condução são certamente, mais complicados. Contudo, este modelo simples e o circuito equivalente permitem derivar virtualmente todas as feições essenciais do espectro de IP observado no laboratório e no campo.

O comportamento geral do circuito equivalente com a frequência é dado na Figura 2c. É obvio que para frequências muito baixas somente o percurso puramente resistivo pode conduzir corrente. Como um resultado, a amplitude da impedância tende assintoticamente a R_0 . Em frequência muito alta a impedância complexa torna-se desprezível com respeito a R_1 de modo que a impedância total é justamente R_1 em paralelo com R_0 . Entre duas assíntotas existe uma região dispersiva onde a amplitude da impedância decresce lentamente e o ângulo de fase atinge um máximo. Sobre um gráfico bilogarítmico, a fase é inteiramente simétrica em torno deste máximo; nas baixas frequências a fase tem uma inclinação de $+C$, e nas altas frequências ela tem uma inclinação de $-C$.

Como a impedância do circuito não é nula em frequências infinitamente altas, deve existir uma descontinuidade na resposta do circuito no domínio do tempo. Adotando a definição de cargueabilidade (m) proposta por Seigel (1959), como sendo a razão da voltagem imediatamente após, para a voltagem imediatamente antes da cessação de um carregamento de corrente infinitamente longo, podemos escrever a expressão para a impedância do circuito equivalente como:

$$z(\omega) = R_0 \left[1 - m \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^C} \right) \right], \quad (1)$$

onde

$$m = \frac{1}{\frac{1+R1}{Ro}} \quad (2)$$

e

$$\tau = X \cdot \left(\frac{Ro}{m}\right)^{1/c} \quad (3)$$

o segundo parâmetro, ou "constante de tempo" como fôï escolhido chama-lo, determina a duração do tempo requerido para o decaimento no domínio do tempo. Se a dependência em freqüência c for igual a 1,0 o decaimento no domínio do tempo tem a forma exponencial negativa familiar.

$$V(t) = m \frac{Ro}{Io} e^{-t/\tau} \quad (4)$$

onde Io é a magnitude do carregamento de corrente infinitamente longo.

Estudos de laboratório sobre IP (Madden e Cantwell, 1967; Petton et al, 1972) mostraram, contudo que a dependência em fraquência não é igual a 1,0, porém está tipicamente na faixa de 0,1 a 0,6. Como resultado o decaimento de IP é mais vagaroso que o exponencial, como ilustrado na Figura 2d e toma a forma geral,

$$V(t) = m \frac{Ro}{Io} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot \left(\frac{t}{\tau}\right)^{nc}}{\Gamma(nc + 1)} \quad (5)$$

onde $\Gamma(x)$ é a função Gama. Como $\Gamma(x+1) = x!$ quando x é inteiro, (5) reduz-se para (4) quando $c=1,0$.

Tentou-se mostrar que a visualização mais simples de uma rocha mineralizada resulta em um modelo de relaxação contendo somente quatro parâmetros, o qual prediz o comportamen

to IP tanto no domínio da frequência como no domínio do tempo. Os quatro parâmetros são a resistividade de R_0 , a capacitância de (m) , a constante de tempo τ , e a dependência na frequência c .

3 METODOLOGIA EMPREGADA NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 Princípio de Medida de Parâmetro Elétrico de Rochas em Laboratório.

Quando uma voltagem V é imprimida através de um espécime de rocha (Figura 3), uma corrente de perda I_p e uma corrente de deslocamento I_c fluem através da rocha (Figura 3).

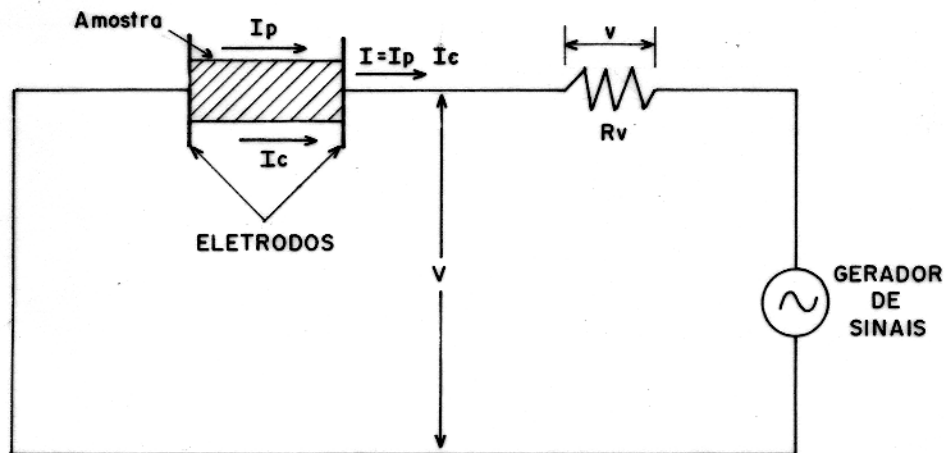


Figura 3 Representação esquemática do sistema de medida direta de impedância (Collet and Katsube, 1973).

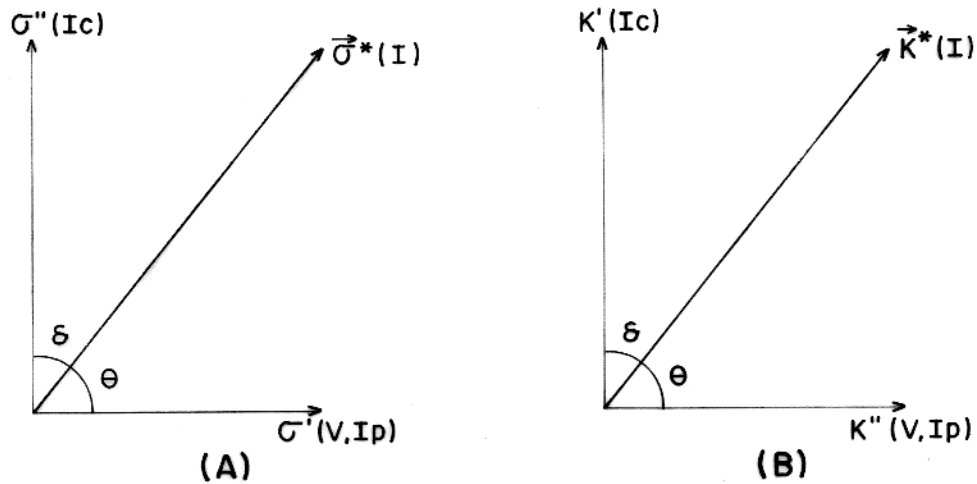


Figura 4 - (A) Relação de fase entre a condutividade real (σ'), condutividade imaginária (σ''), e condutividade complexa ($\vec{\sigma}^*$). (B) Relação de fase entre permissividade relativa real (K') e a permissividade relativa imaginária (K''), e permissividade relativa complexa (\vec{K}^*). θ = ângulo de fase, δ = ângulo de perda, V = Voltagem na amostra, I_p = corrente de perda, I_c = corrente de cargas, e I = corrente total (Çoçlet and Katsube, 1973)

Por esta razão as propriedades elétricas de uma rocha tem sido expressa em termos da condutividade complexa ($\vec{\sigma}^*$), resistividade complexa ($\vec{\rho}^*$), e permissividade relativa complexa (\vec{K}^*), segundo Von Hippel (1954):

$$\vec{\sigma}^* = \sigma' + j\sigma'' \quad (6)$$

$$\vec{\rho}^* = \rho' - j\rho'' \quad (7)$$

$$\vec{K}^* = k' - jk'' \quad (8)$$

onde

σ' , σ'' condutividade real e imaginária

ρ' , ρ'' resistividade real e imaginária

k' , k'' permissividade relativa real e imaginária

Existem as seguintes relações entre estes parâmetros:

$$\sigma'' = \omega k'' \epsilon_0 \quad (9)$$

$$k'' = \sigma' / \omega \epsilon_0 \quad (10)$$

$$\rho' = \sigma' / |\sigma^*|^2 \quad (11)$$

$$\rho'' = \sigma'' / |\sigma^*|^2 \quad (12)$$

onde ϵ_0 é a permissividade do ar ou vácuo ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m), e ω é dado em radianos ($=2\pi f$). A relação entre σ^* , ρ^* , admitância (Y), e impedância (Z) são:

$$\rho^* = \frac{d}{A} \cdot Y = \frac{d}{A} (G + jB) \quad (13)$$

$$\rho^* = \frac{A}{d} \cdot Z = \frac{A}{d} (R - jX) \quad (14)$$

onde

A = Área da seção transversal do espécime de rocha

d = Comprimento do espécime de rocha

G = Condutância do espécime de rocha

B = Permitância do espécime de rocha

R = Resistência do espécime de rocha

X = Reatância do espécime de rocha

A razão da corrente de perda para a corrente de deslocamento é expressa pela tangente de perda ($\tan \delta$) ou fator de dissipação D (Collet and Katsube, 1973).

$$D = \tan \delta = \frac{I_p}{I_c} = \frac{\sigma'}{\sigma''} = \frac{\sigma''}{\omega k'' \epsilon_0} \quad (15)$$

Das equações (6) e (9) obtém-se:

$$\sigma^* = \sigma' + j\omega k'' \epsilon_0 \quad (16)$$

$$|\sigma^*| = \sqrt{(\sigma')^2 + (\omega k' \epsilon_0)^2} \quad (17)$$

3.2 Seleção e Preparo das Amostras

As amostras possuíam comprimentos que variaram no intervalo de 7 a 20 cm; e diâmetro variando de 8 a 11 cm.

Procurou-se obter amostras em cada furo de diferentes litologias de modo a estudar o espectro de condutividade, o percentual de polarização induzida, a porosidade e a densidade das amostras selecionadas.

Para realizar as medidas, as amostras foram cortadas com serra de diamante, com faces planas e paralelas. Em seguida foram secadas em uma estufa a vácuo. Posteriormente, em condições secas as amostras foram pesadas com uma balança de precisão. Uma seção de cada amostra foi retirada para confecção de lâmina delgada e seção polida.

Realizada a tarefa acima mencionada as amostras individualmente foram colocadas em recipientes contendo água de condutividade conhecida (0,01841 s/m), até atingirem a saturação. Este processo durou um intervalo de 4 a 14 dias, uma vez que o ponto de saturação de cada amostra foi variável. Nestas novas condições as amostras foram, pesadas e simultaneamente foi obtido o espectro de condutividade para cada amostra.

3.3 Análise Petrográfica das Amostras

Para este trabalho, foi utilizado a determinação ótica dos minerais, através do exame de lâminas delgadas em microscópio petrográfico e de seções polidas em microscópio com luz refletida. Os teores dos minerais presentes nas lâminas delgadas foram obtidos utilizando o método de estimativa visual.

As lâminas e seções polidas foram cortadas paralelas e adjacentes às faces das amostras utilizadas para obten-

ção do espectro de condutividade.

Os teores de cobre, zinco e chumbo bem como de outros elementos químicos presentes nas amostras foram obtidos através de análises químicas realizadas pela PETROMISA em frações correspondentes às que foram realizadas as medidas elétricas e as observações petrográficas.

3.4 Medidas de Condutividade

3.4.1 Instrumentação Utilizada

O princípio empregado para medir a condutividade complexa das amostras foi o de Medida Direta de Impedância (Parágrafo 3.1). A obtenção do módulo e da fase da impedância complexa para várias frequências de interesse permitiu a definição dos espectros de condutividade na faixa de 1 a 10^3 Hz. Foram utilizados os seguintes instrumentos:

- ANALIZADOR DE ESPECTRO 3582A, HEWLETT* PACKARD
- DOIS AMPLIFICADORES DIFERENCIAIS, PACIFIC, SÉRIES 60A/70 A.
- SISTEMA DE 4 - ELETRODOS E PORTA AMOSTRA.

Uma fonte de ruído embutida do Analisador de Espectro serviu como o "real-time" equivalente a um gerador de sinal convencional cobrindo uma faixa de frequências no intervalo de 1 a 25 KHz.

Foi garantido que a densidade de corrente não excedesse ao limite superior de aproximadamente 10^{-7} amps/cm², sugerido por Mandel e Marshall (1959) para assegurar o comportamento linear da rocha medida. A corrente total, I, pode ser calculada a partir da medida da tensão V no Resistor (Rv) colocado em série com a amostra. Como $I = V/R_v$, a densidade de corrente total $J_t = I/A$, onde A é a área da seção transversal da amostra.

3.4.1.1 Sistema de eletrodos

Para realização deste trabalho foi construído um sistema de eletrodos-porta-eletrodos, no laboratório de Propriedades Elétricas das rochas do Centro de Geociências (Bischoff e Rocha, 1982). Este sistema consiste de dois recipientes de acrílico de forma cúbica, nos quais encontram-se adaptados os eletrodos de corrente e de potencial. Estes eletrodos são de platina em forma de rede, e tem formato circular. Neste sistema cada eletrodo de corrente se localiza na parte central de cada recipiente de acrílico em contato direto com a solução que deve umedecer a amostra. Os eletrodos de potencial encontram-se adaptados em uma das paredes laterais de cada recipiente. Este sistema minimiza o efeito de acoplamento indutivo entre os eletrodos e a amostra.

3.5 Medidas de Porosidade

A porosidade pode ser determinada como uma fração de volume de água na rocha saturada.

$$\phi = V_e / V_r \quad (18)$$

onde V_e representa o volume de água presente na rocha, computada pela comparação do peso da amostra seca, com o peso da amostra saturada com eletrólito e V_r o volume do espécime de rocha.

3.6 Medidas de Densidade

Para medida da densidade das amostras, estas foram inicialmente cortadas em faces planas e paralelas, para obter uma forma geométrica que possibilitasse a fácil e precisa computação do volume externo. Posteriormente estas amostras foram colocadas em um estufa a vácuo com o intuito de retirar a umidade e em seguida foram pesadas com uma balança de precisão. Após este procedimento, estas amostras foram saturadas com água destilada e nesta nova condição foram pesadas. De posse da massa da amostra seca e saturada e do volume externo de cada

amostra, foram obtidas as respectivas razões m/V que, por definição, são as densidades do espécime sêco e saturado.

3.7 Determinação do Coeficiente de Anisotropia

A dependência da resistividade em relação a direção do fluxo de corrente é chamada de anisotropia. O coeficiente de anisotropia pode ser definido tomando-se a raiz quadrada da razão das resistividades medidas em duas direções principais, ao longo do plano de acamamento e transversalmente ao plano de acamamento (Keller and Frischnecht, 1966). A resistividade longitudinal é sempre menor que a resistividade transversal. A expressão que define o coeficiente de anisotropia é:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_\ell}} \quad (19)$$

onde,

ρ_t = resistividade transversal

ρ_ℓ = resistividade longitudinal

Para este trabalho, foram cortados cilindros menores cujos eixos principais foram perpendiculares ao eixo da amostra original. Obteve-se, apenas os coeficientes de anisotropia das amostras que apresentavam uma visível estratificação, uma vez que este coeficiente é conveniente aplicado para esta situação.

3.8 Forma de apresentação dos resultados

Os resultados das medidas realizadas sobre as amostras selecionadas dos dois furos de sondagens estudados, estão apresentados na forma de tabelas anexas, no que diz respeito aos valores de densidade das amostras sêcas, densidade das amostras saturadas, porosidade, coeficiente de anisotropia,

bem como os valores do módulo e da fase da impedância e condutividade complexa das referidas amostras nas frequências selecionadas, e a percentagem de polarização induzida normalizada para uma década (NPFE) no espectro de impedância complexa das amostras acima mencionadas. Além disso foram construídas figuras as quais apresentam os espectros de amplitude e fase da condutividade complexa das amostras em papel semi-log devido a variação de valores apresentados. Também foram construídos em papel milimetrado diagramas da parte real da condutividade $\sigma(\omega)$ em função da parte imaginária, onde,

$$\text{Re } \sigma(\omega) = |\sigma(\omega)| \cdot \cos\theta(\omega) \quad (20)$$

$$\text{Im } \sigma(\omega) = |\sigma(\omega)| \cdot \sin\theta(\omega) \quad (21)$$

Os valores obtidos para estas referidas partes foram normalizados, em relação ao maior valor de $\text{Re } \sigma(\omega)$ para cada amostra, e assim construíram-se as curvas de relaxação do tipo Cole-Cole (Pelton, et al, 1978) para as referidas amostras.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.

4.1 Análise Petrográfica

A análise petrográfica realizada com base na descrição de amostras e estudo de lâminas delgadas dos dois furos de sondagens tiveram como finalidade o estudo das características mineralógicas e texturais, visando correlacionar esses dados aos parâmetros físicos e elétricos obtidos, além de procurar separar as diversas formações geológicas ocorrentes.

As amostras do furo 9-PEO-7-SE foram divididas em quatro unidades distintas por um sedimentólogo (Alexandre José M. Figueiras, 1985), sendo a mais antiga a Formação Rio Pitanga (Wearden?), seguindo-se a Formação Muribeca-Membros carmópolis e Ibura (Aptiano) e Formação Riachuelo-Membro Angico (Aptiano Superior).

A amostra mais basal da Formação Rio Pitanga, se refere a um arenito arcossiano, de coloração cinza, compacto, grosseiro, mal selecionado, com grãos subangulosos. Sua mineralogia é composta principalmente por feldspatos (feldspatos potássico - 19%, plagioclásio 15% e peritita 4%), quartzo (28%) e fragmento de rochas (20%) (fragmentos de pelite, siltito, granito e gnaiss granatífero). Secundariamente temos opacos 6% (nesta formação é que ocorre a maior percentagem destes minerais), clorita (5%), granada (2%) e carbonato (1%).

Segue-se um nível de microesporito impuro, ríofos silífero onde, além da calcita tem-se secundariamente a presença de quartzo, chert, plagioclásio, microclina e fragmentos de rochas (pelitos). Destaca-se a presença de cimento carbonático, posterior ao fraturamento da rocha. Segue-se uma seqüência conglomératica predominando na base os fragmentos de carbonato, pelito e gnaiss. Esses fragmentos apresentam um arcabouço fechado, onde os espaços intergranulares estão preenchidos por cimento esparítico. É comum a presença de um envoltório carbonático

nesses fragmentos. A matriz é micrítica a microesparítica, pre dominante essa última.

Mais para o topo torna-se dominante os fragemen tos de rocha pelítica, bem orientados, além de secundariamente, a presença de chert e quartzo. A matriz é carbonática.

A sequência termina com um conglomerado semelhan te ao da base, destacando-se entretanto a composição do cimen to que envolve os fragmentos que no caso deixa de ser carbonáti co e passa a ser de minerais opacos. No anexo 07 estão descri tas individualmente as amostras desta formação geológica.

O Membro Carmópolis (Formação Muribeca) inicia com um arenito arcossiano lítico, de coloração cinza-esverdeado, com algumas intercalações de lâminas de argila. Observa-se, nes se pacote, uma variação granulométrica bem conspícua onde, aos níveis mais grosseiros estão comumente associados, os fragmentos de rocha. Os leitos mais finos são melhor selecionados, exibindo grãos angulosos e subangulosos com tamanho médio de 80 μm e contatos retilíneos a côncavo-convexos. Os níveis mais grossei ros podem atingir até 700 μm sendo seu tamanho médio de 150 μm .

Sua mineralogia é constituída por quartzo (32%), microclima (19%), plagioclásio (11%), fragmentos de rocha (19%) fragmentos de carbonato, granito, pelito, arenito e xisto grana tífero), clorita (13%), chert (4%). Secundariamente temos grana da, anidrita, opacos e sericita que, em conjunto não ultrapas sam 2%.

Em direção ao topo há uma leve diminuição na seleção dos grãos tornam-se mais angulosos e ocorre um sensível aumento do cimento carbonático. Esses níveis são constituídos por quartzo (26%), feldspatos (potássico 23% e plagioclásio 7%), fragmentos de rocha (15%), carbonato (15%), chert (6%), clorita (5%) e granada (3%). É comum a presença de calcita poiquilotó pica.

Na profundidade de 55 m foi observado um nível de siltito, coloração cinza, algo intemperizado e laminado. Afora os minerais argilosos tem-se a presença do quartzo, plagioclásio e feldspato potássico e mais raramente clorita, granada, opacos e fragmentos de rocha (granito e xisto). Observa-se tambem uma certa orientação dos minerais.

No topo volta aparecer o mesmo arenito arcossiano lítico descrito anteriormente, destacando-se porém a presença de abundantes módulos de anidrita.

A amostra mais basal, entre as disponíveis do Membro Ibura da Formação Muribeca, refere-se a um nível de anidrita bastante impura, de coloração cinza-amarronzada, onde observa-se duas gerações de anidrita. A primeira formada por diminutos cristais que cimentam os componentes detríticos e outra em forma de cristais alongados constituindo os módulos. Além de anidrita observa-se a presença de feldspatos (plagioclásio e microclina), quartzo, fragmentos de rocha (siltito) e calcita, mais raramente temos clorita, opacos, granada e epidoto.

Segue-se níveis microesporito impuros e afossilífero. A calcita é o mineral predominante (74%), ocorrendo como cristais anhedrais seguida de quartzo que não ultrapasse a 15%. Em direção ao topo torna-se menos intemperizado e diminui o teor de argila e de fragmento de rocha (6%). Estes fragmentos são de pelito entrecortados, irregularmente, por veios de anidrita. Secundariamente temos feldspatos (3%), opacos (2%) e clorita (2%).

Mais próximo ao topo da formação ocorre um pacote de anidrita, mais ou menos puro de espessura de aproximadamente 10 cm, comumente associado a carbonatos e mais raramente a fragmentos de rocha (carbonato e pelito). Ocorre ainda a presença de quartzo autigênico. As amostras pertencentes a esta formação geológica estão descritas individualmente no anexo 07.

A Formação Riachuelo (Membro Angico), inicia com um conglomerado petromítico, de colocação cinza-esverdeado até avermelhada, com fragmentos de rocha bem arredondados, cujas dimensões, em amostra de mão, alcançam mais de 10 cm. Esses fragmentos são de gnaiss, granito, chert, pelito, carbonato e vulcânica, estando alguns fragmentos bastantes intemperizados.

A matriz é formada essencialmente por quartzo e feldspato (plagioclásio e microclina), com grãos para separar angulosos e subangulosos, muito provavelmente selecionados. Observa-se também a presença de cimento carbonático.

Em direção ao topo da camada observa-se uma ritimicidade na variação granulométrica, embora a espessura dos níveis não seja constante. Os fragmentos de rocha vão diminuindo tanto em quantidade como em tamanho e a porosidade torna-se mais acentuada. Ocorre ainda uma melhora da seleção e do arredondamento e diminui a presença do cimento carbonático. Passam então a predominar os arenitos arcosianos líticos, de granulação média, cuja mineralogia é constituída por quartzo (33%), feldspatos (microclina 14%, plagioclásio 10% e pertita 5%), fragmentos de rocha (26%) e carbonatos (8%), além de clorita (1%), granada (1%), opacos (1%) e epidoto (menos que 1%). A sericita é comum como produto de alteração dos feldspatos. A descrição individual das amostras estudadas desta formação geológica está apresentada no anexo 07.

As amostras descritas no furo de sondagem 9-PSS-1-SE pertencem exclusivamente a Formação Barra de Itiúba. Esta formação é constituída predominantemente por arenitos arcosianos com algumas intercalações de níveis carbonáticos. São em geral afossilíferos embora, em duas seções (AM-02, profundidade = 80,95m e AM 27, profundidade = 238,92m), tenha sido verificado a presença de esporádicos fragmentos de ostracodes.

Os arenitos arcosianos são de coloração cinza-clara e cinza-amarelada compactos, porosos, geralmente bem sele

leccionados, com granulometria variando desde areia muito fina até areia fina. Os grãos são angulosos e subangulosos com contatos retilíneos e menos frequentemente pontuais ou côncavo-convexos. Na porção basal e mediana da seção predominam os grãos de menor tamanho (100 µm), enquanto os maiores (200 µm), estão concentrados em direção ao topo. Ressalta-se que nesse último caso é onde se encontra os níveis com menor seleção.

Os espaços intergrãos estão, algumas vezes preenchidos pela matriz argilosa (pouco abundante) e mais raramente por cimento e óxido de ferro.

Sua mineralogia está constituída por quartzo (63%) feldspatos 20% (plagioclásio (16%) e microclina (4%)), argilo-minerais (6%), calcita (3%), opacos (2%), fragmentos de rocha (turmalina e epidoto) 2%, além de muscovita, clorita, óxido de ferro, glauconita e raros fragmentos de fosfato que não ultrapassam os 2%.

Já os níveis de arenitos arcossianos finos carbonáticos, são de coloração cinza-amarronzada, com laminações onduladas (algas?) e aparente sinais de bioturbação. Possuem distribuição errática dentro do perfil, estando presente tanto na base como no topo da seção. Interessante destacar a associação desses níveis com os ostracodes. São em geral bem selecionados, poucos porosos, com grãos angulosos formando um arcabouço fechado, onde os espaços intergranulares estão preenchidos pelo cimento carbonático. Observa-se ainda a presença de calcita preenchendo algumas fraturas diagenéticas sugerindo duas fases de cimentação. Em uma das seções foi verificada a presença de finas lâminas de argila intercaladas.

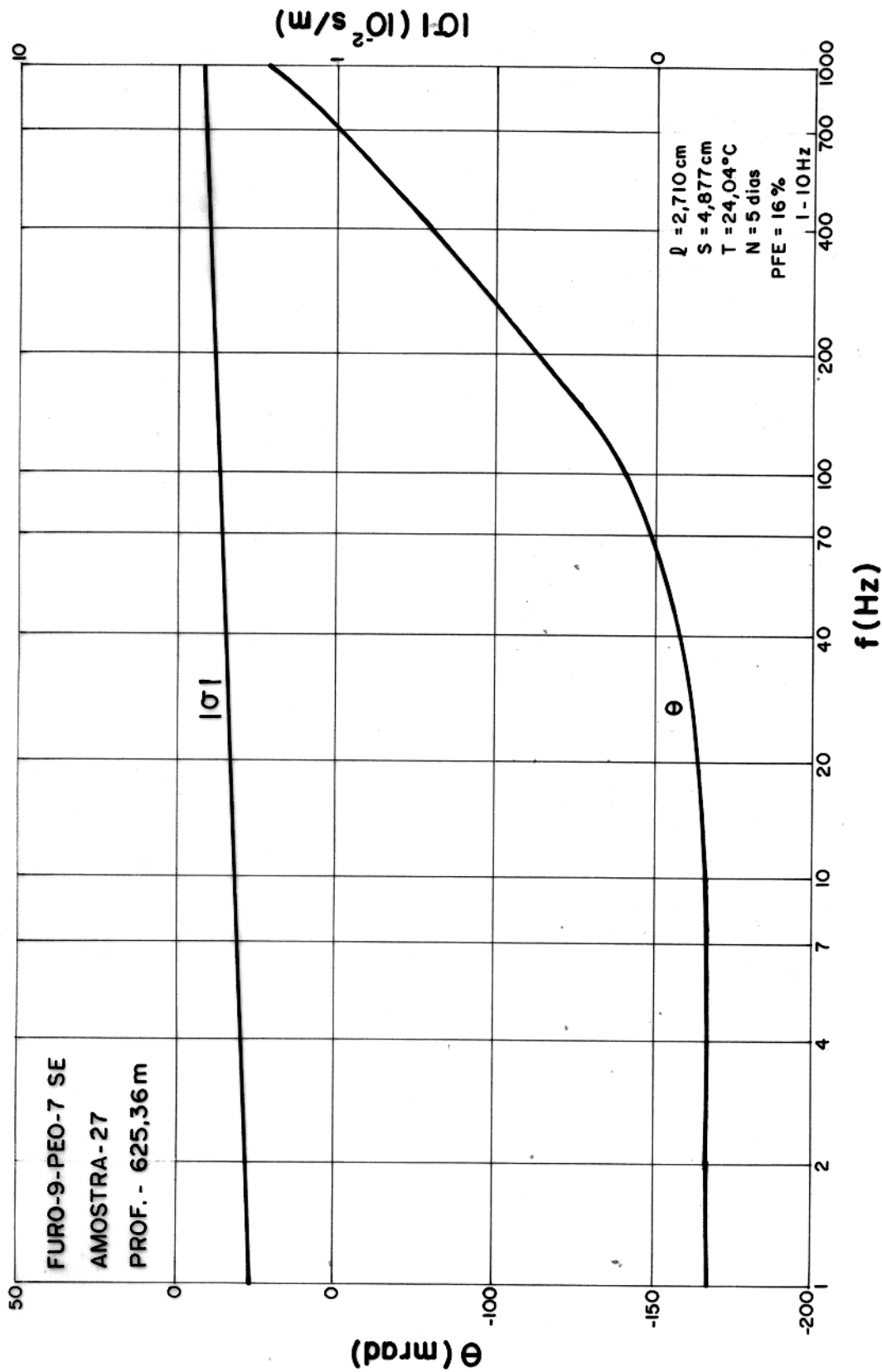
Sua mineralogia é bastante simples, sendo constituída por quartzo (52%), calcita (37%), feldspatos (plagioclásio + microclina)=(8%); e opacos que não ultrapassam 2%, além de raros grãos de epidoto e turmalina que não chegam a ultrapassar 1%. A descrição individual das amostras estudadas desta formação geológica está apresentada no anexo 08.

4.2 Análise Geral dos Dados Obtidos Sobre as Amostras

Pode-se observar nos anexos 01 e 02 no que se refere aos dados obtidos de análises químicas que os teores dos elementos metálicos (chumbo e cobre) são inferiores a 1000 ppm na maioria das amostras e insuficientes para causar anomalias de IP.

Os anexos 03 e 04 mostram os perfis dos dados apresentados em forma de tabela no anexo 01. Os anexos 05 e 06 mostram os perfis dos dados apresentados no anexo 02. As descontinuidades observadas nos perfis referente aos dados de efeito para separar percentual em frequência (PFE) e resistividade (ρ) deve-se ao fato de que algumas amostras encontravam-se impossibilitadas para a realização das medidas (estas referidas amostras decompunham-se ao manuseio).

Os teores dos minerais metálicos mais significativos das amostras do FURO-9-PEO-7-SE, de acordo com os estudos petrográficos realizados (ver anexos) 01 e 03), estão presentes nas amostras de nº 5 na profundidade de 472,22 m, onde o conteúdo de minerais opacos atingem a 4%. A amostra nº 27 pertencente a este mesmo furo na profundidade de 625,36 m é a amostra que apresenta o maior teor de minerais metálico dentre todas as amostras estudadas (incluindo os dois furos). Destaca-se nesta amostra o teor do elemento chumbo, e a presença de óxido de ferro. Esta amostra, foi também a que apresentou o maior valor de PFE (16%), (ver anexo 03). A figura 05 apresenta o espectro de condutividade complexa desta amostra, pode-se notar que para as frequências mais baixas (<10Hz) o ângulo de fase é superior em valor absoluto a 160 mrad e que o módulo da condutividade complexa apresenta uma variação espectral bastante acentuada. A figura 06 mostra o diagrama tipo Cole-Cole para a referida amostra, pode-se verificar que este é o diagrama mais amplo e que apresenta os maiores valores para parte imaginária normalizada nas baixas frequências, mostrando claramente que a amostra não se comporta com características puramente resistiva. Estas



ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA

- l = COMPRIMENTO DA AMOSTRA
- S = ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA AMOSTRA
- T = TEMPERATURA AMBIENTE
- N = NÚMERO DE DIAS QUE A AMOSTRA ESTEVE NO BANHO
- PFE = EFEITO PERCENTUAL EM FREQUÊNCIA

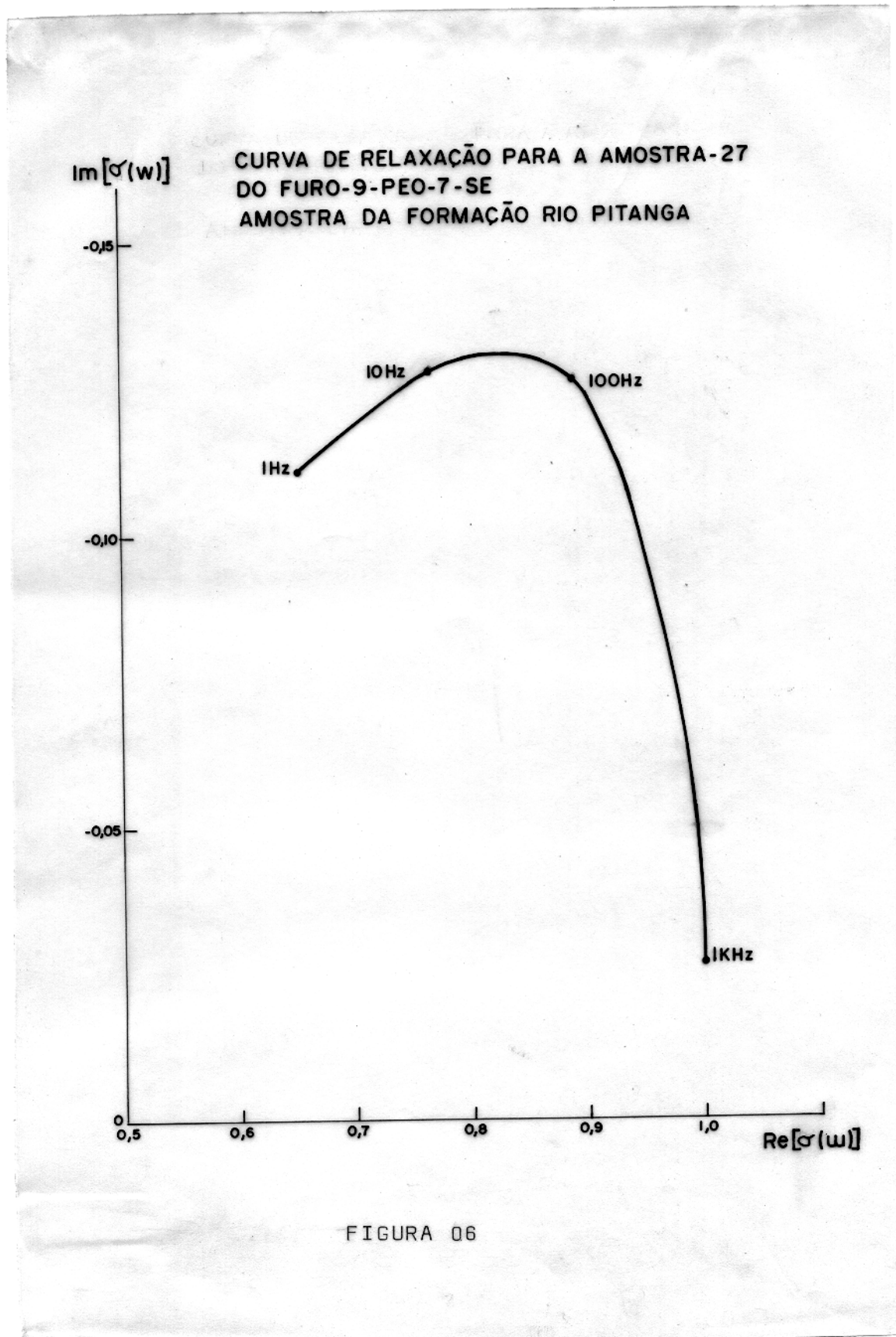


FIGURA 06

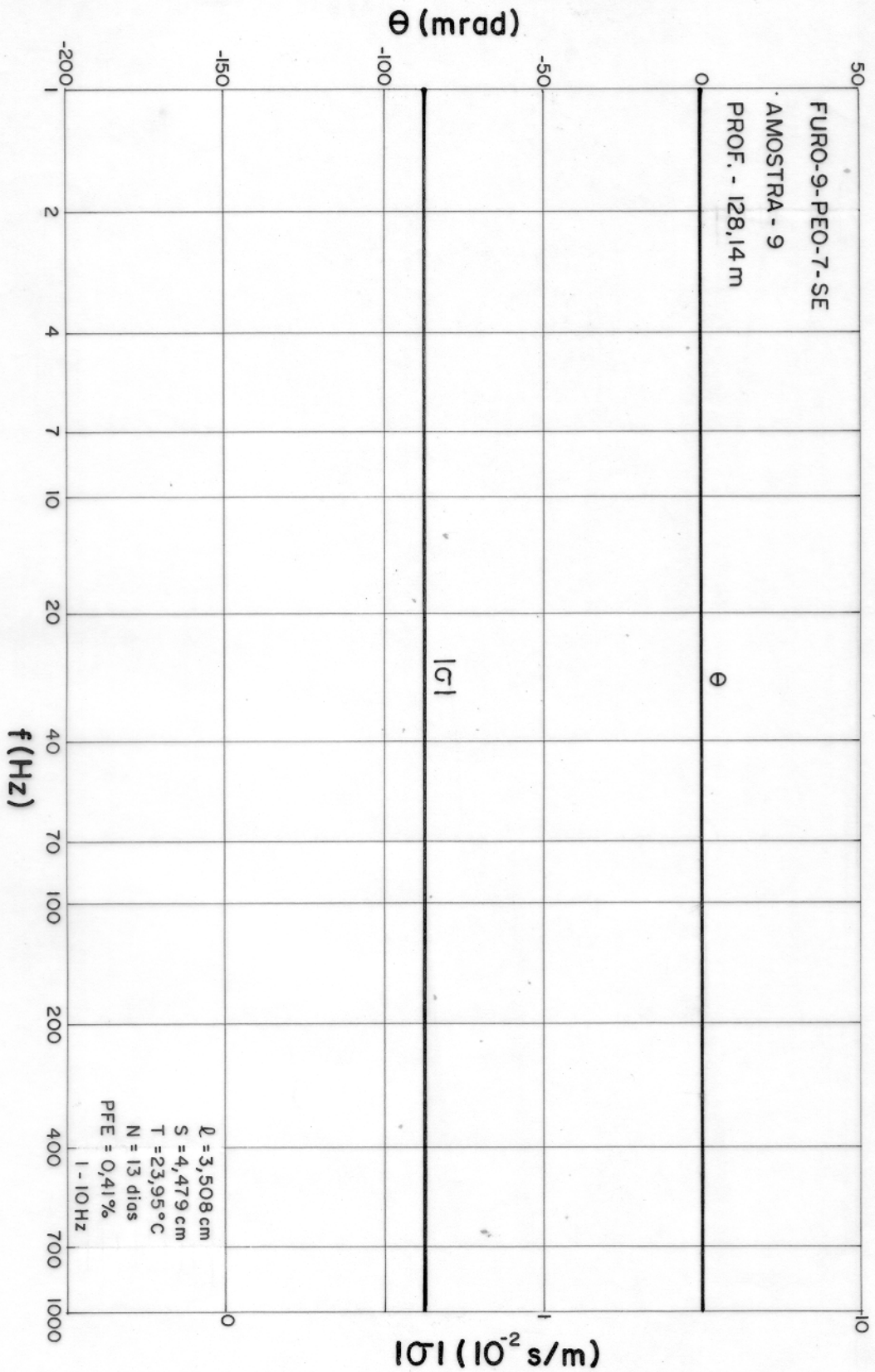
informações caracterizam que esta amostra possui significativa mi
neralização metálica.

Pode-se observar através do perfil corresponde
dente aos valores PFE no anexo 03, bem como observado os espec
tros de condutividade complexa e diagramas tipo Cole-Cole das
amostras estudadas do Furo-9-PEO-7-SE, que as amostras N^o 27 e
31 são as que possuem os maiores valores de polarização indu
zida (>6%). O comportamento apresentado por estas duas amostras
deve-se a presença de minerais metálicos e de argila suficientes
para provocar efeito de IP.

Observa-se também com relação aos espectros de
amplitude da condutividade complexa que a maioria das amostras
estudadas dos dois furos apresentam uma forma quase constante .
Este comportamento, associado a um espectro de fase nulo é ca
racterístico de um comportamento ohmico da maioria das amostras
estudadas (ver anexo 09 e anexo 11). Para estas amostras não
foram construídos diagramas tipo Cole-Cole, uma vez que só a
presentam valores para a parte real. Este fato nos leva a acre
ditar que a maioria das amostras estudadas possui baixo teor de
minerais metálicos e de argila, consistente com o dado de que o
efeito percentual em frequência para estas amostras é inferior
a 4%. Este comportamento era esperado uma vez que a maioria das
amostras estudadas contém baixos teores de chumbo e cobre (ver
anexos 01 e 02). As figuras n^o 07 e 08 mostram os espectros tí
picos de duas amostras que possuem o comportamento acima descri
to.

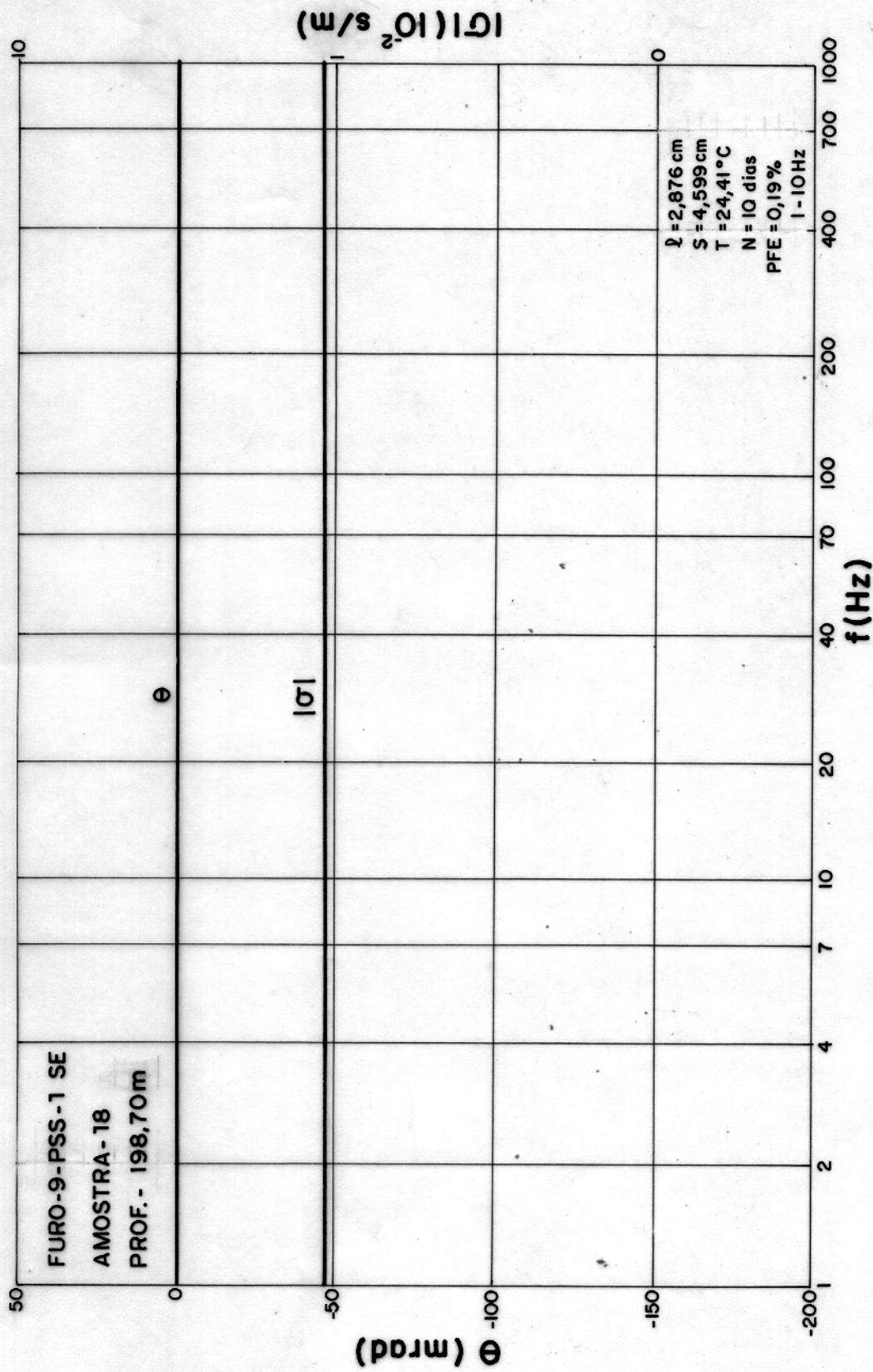
Com relação as curvas de relaxação tipo Cole-Co
le construídas para amostras com espectros de fase não nulos, po
de-se dizer que cada uma delas apresentam um comportamento elé
trico distinto com relação aos valores obtidos para a parte re
al e parte imaginária da condutividade complexa em cada fre
quência aplicada. Pode-se afirmar que as formas das curvas de
relaxação são semelhantes para estas amostras.

As figuras 9 e 10 apresentam as curvas de rela



ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA

FIGURA 07



ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA

xação para duas amostras dos dois furos que apresentam efeitos percentual em frequências superiores a 5%, e fase com valores superiores a 10 mrad. Pode-se observar que as suas formas são semelhantes e que os valores da parte imaginária da condutividade para as frequências mais baixas (<10 Hz) são, em valor absoluto, bem mais elevados do que nas demais amostras, excetuando a amostra nº 27 (ver anexo 09 e 11). Esse comportamento poderia ser esperado, uma vez que a figura 9 corresponde a amostra nº 31 do FURO-9-PEO-7-SE, que possui minerais metálicos (opacos) em sua composição e a figura 10 corresponde a amostra nº 02 do FURO-9-PSS-1-SE que possui níveis de argila (ver anexos 07 e 08), presenças que podem causar IP.

Pela análise dos anexos 07 e 08, que apresentam os dados geológicos das amostras no que diz respeito a litologia, mineralogia, seleção, arredondamento e cimentação, uma das observações mais importantes que pode ser feita é a de que a maior concentração de minerais metálicos (opacos) está presente nos arenitos mais grosseiros e conglomerados mal selecionados. Assim, as amostras nº 05, 15 e 27 do FURO-9-PEO-7-SE, possuem 4%, 2% e 8% respectivamente de minerais metálicos e as amostras nº 08 e 10 do FURO-9-PSS-1-SE, possuem 3% e 2% de minerais metálicos. Uma vez que cada amostra está situada a uma profundidade conhecida, pode-se localizar os níveis onde existe maior concentração dos minerais metálicos. O nível que mais se destacou pela presença destes referidos minerais está localizado a 625,36 m de profundidade no FURO-9-PEO-7-SE, cujas as características geológicas encontram-se descritas no anexo 07.

Analisando-se o anexo 03 pode-se verificar que alguns picos nos perfis de densidade seca e saturada estão associada as amostras nº 02, 05 e 27 do FURO-9-PEO-7-SE, correspondente também a picos nos perfis de teor dos elementos pesados chumbo e zinco (ver anexo 04). Pode-se observar ainda no anexo 03 através do perfil de porosidade, que as amostras mais porosas do FURO-9-PEO-7-SE, são as de números 23, 25 e 31. Nota-se ainda no perfil que apresenta os teores de minerais metálicos que as amostras que apresentam maiores teores são as de

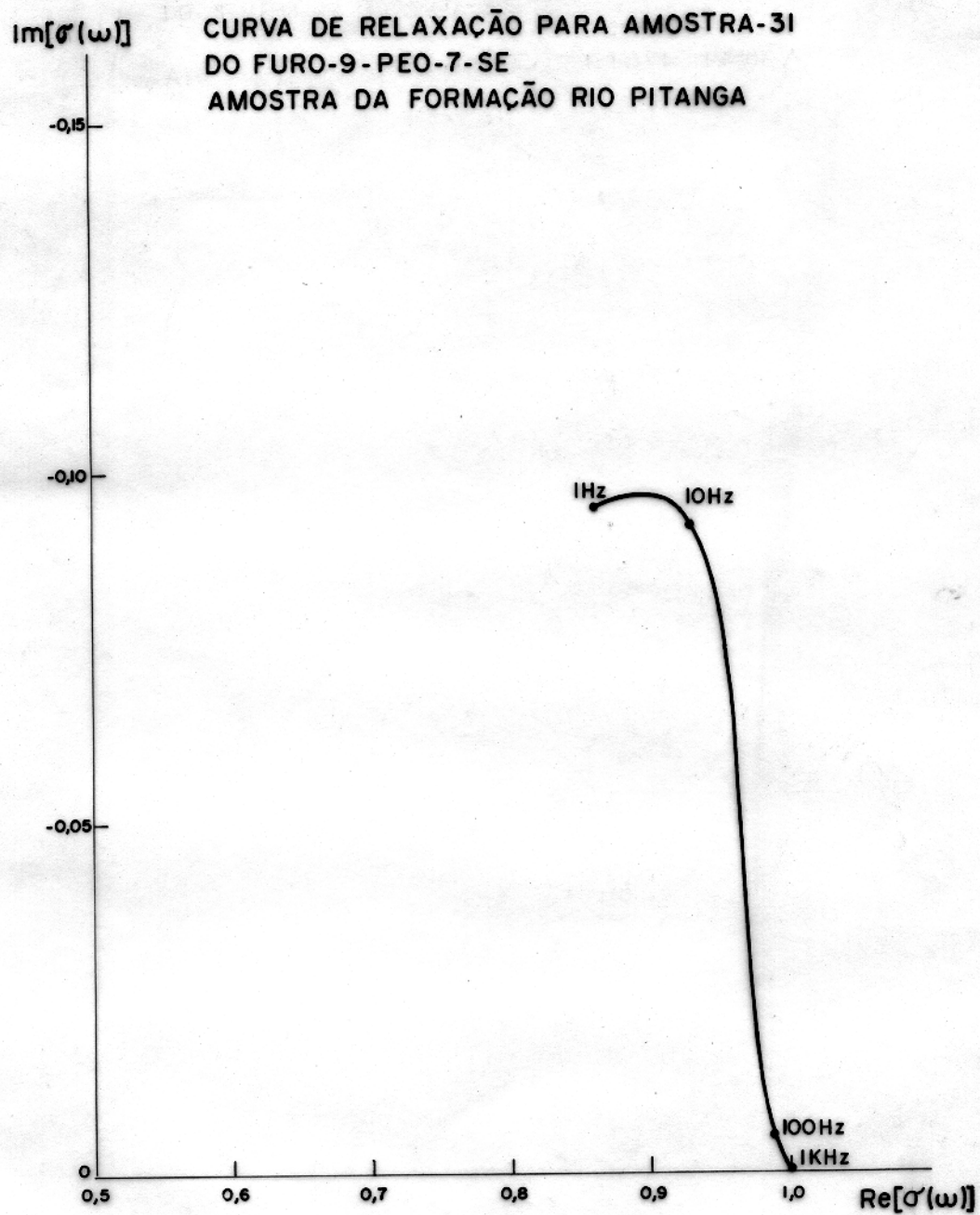


FIGURA 09

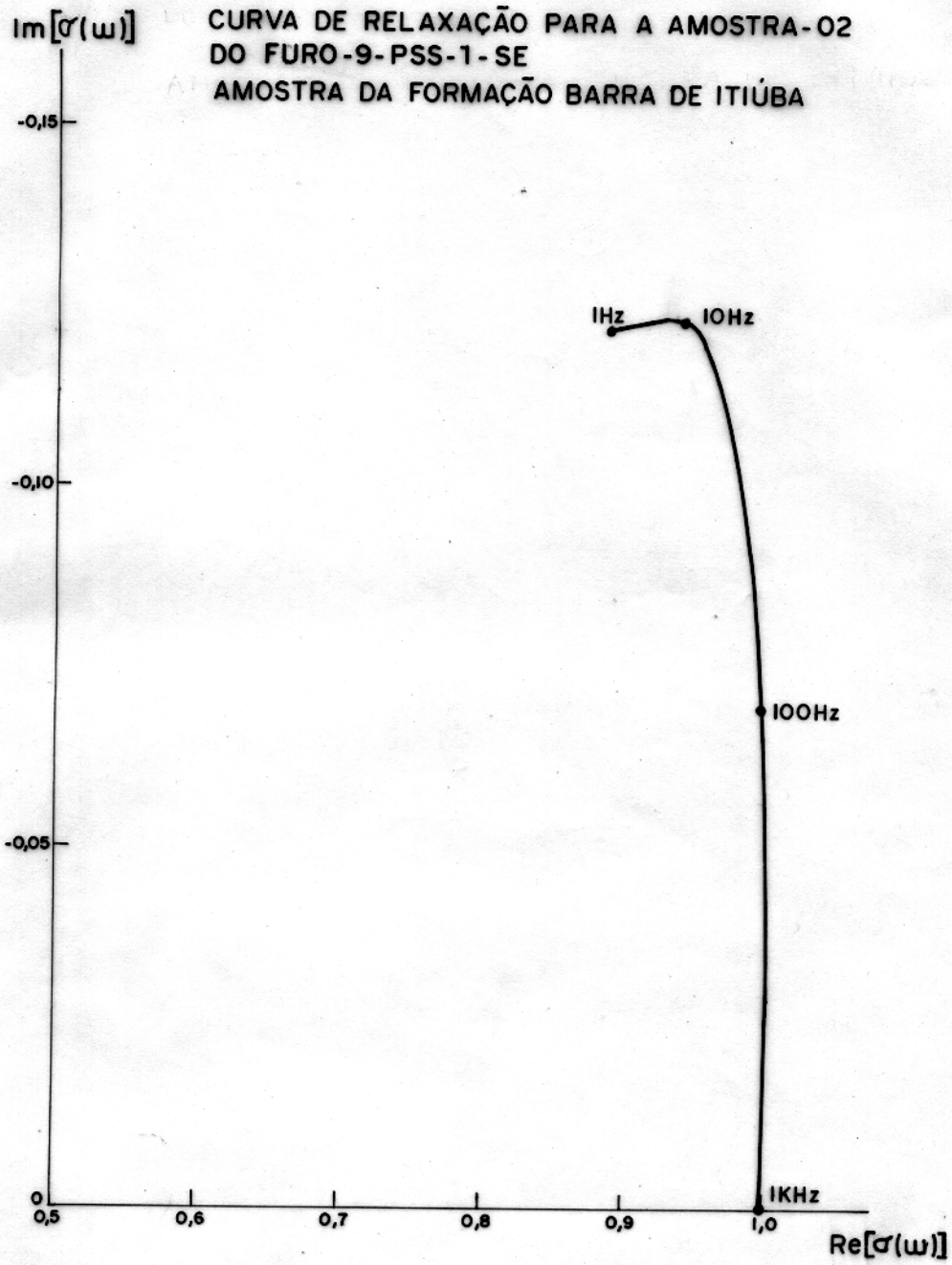


FIGURA 10

nº 05 e 27.

Analisando-se o anexo 05, pode-se notar que existem dois picos não muito acentuados nos perfis de densidade sêca e saturada na altura das amostras nº 08 e 10 do FURO-9-PSS-1-SE, que correspondem também a picos nos perfis de teor dos elementos pesados chumbo e zinco (ver anexo 06). Pode-se verificar ainda no anexo 05 através do perfil de porosidade que as amostras mais porosas desse furo são as amostras nº 10, 14 e 21. No perfil que apresenta os teores de minerais metálicos pode-se verificar que as amostras nº 08, 10, 19, 21 e 22 apresentam maior concentração desses minerais.

As figuras 11 e 12 apresentam a disposição das amostras de cada um dos furos num diagrama de resistividade ver sos porosidade. Observando-se a figura 11 verifica-se que a faixa de variação da porosidade no Furo-9-PEO-7-SE, é maior do que a do FURO-9-PSS-1-SE, enquanto uma relação inversa é obtida para a resistividade DC. Pode-se notar ainda que os valores de resistividade DC e de porosidade da maioria das amostras na figura 11 estão dispersos numa faixa que de 3,42% a 13,65% de porosidade, e de 27,70 Ω m e 163,93 Ω m de resistividade. Na fi gura 12 estes valores estão dispersos numa faixa que vai de 19,19% a 24,24% de porosidade, e de 31,94 Ω m a 303,03 Ω m de resistividade. Utilizando-se a difundida função empírica conhecida como lei de Archie, que relaciona a resistividade da rocha contendo água com a porosidade:

$$\rho = a \cdot \rho_w \cdot \phi^{-m} \quad (22)$$

Onde ρ é a resistividade de volume da rocha, ρ_w é a resistividade de de água contida na estrutura dos poros, ϕ é a porosidade ex pressa como uma fração por unidade de volume da rocha e "a" e "m" parâmetros cujo valores são determinados arbitrariamente para fazer a equação ajustar ao particular grupo de medidas.

A Equação (22) indica que a razão da resistividade de de volume da rocha para a resistividade da água deve ser uma

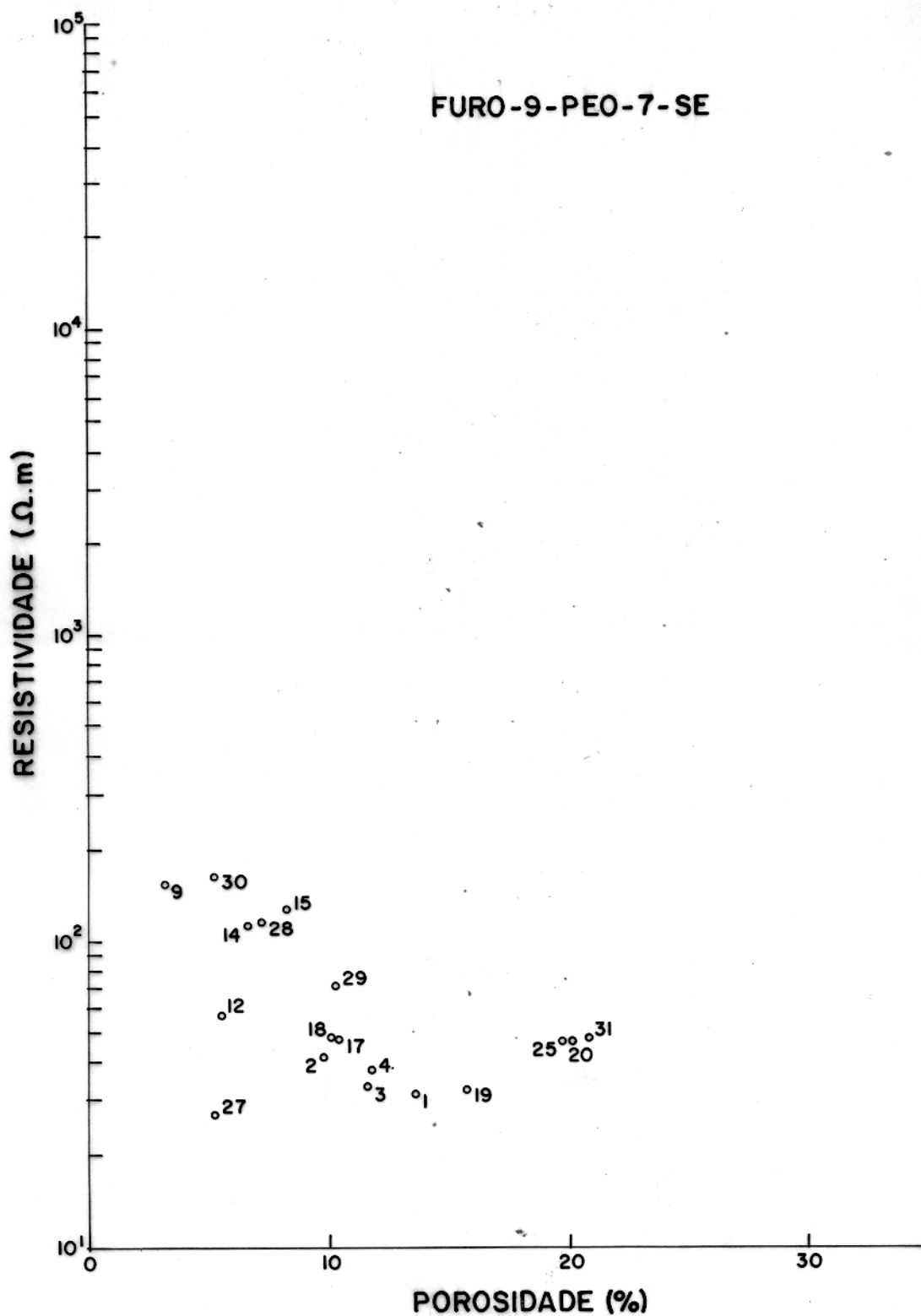


FIGURA 11

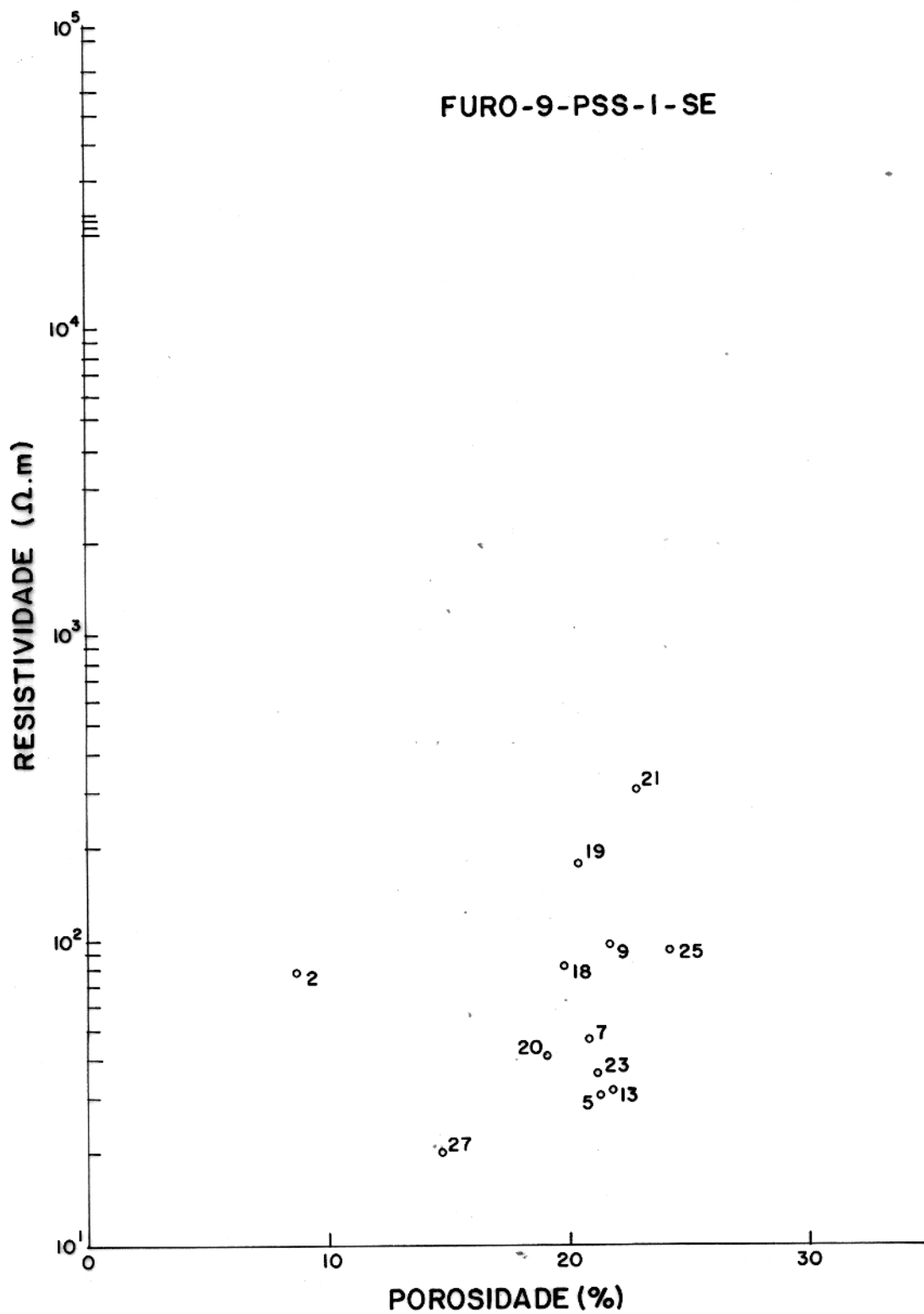


FIGURA 12

constante para uma dada porosidade; a qual não deve depender da resistividade da água na rocha. Esta razão é chamada de FA TOR DE FORMAÇÃO (Keller and Frischknecht, 1966).

Pode-se observar na Tabela 1, que para a maioria das amostras estudadas do FURD-9-PEO-7-SE, que o valor de "a" foi inferior a 1, significando que na maioria das amostras estudadas deste furo de sondagem predominou a porosidade intergranular. Nota-se também que o valor mais frequente obtido para o coeficiente de cimentação foi $m = 2$, significando que a maioria das amostras deste furo de sondagem apresenta granulometria bem variada (Keller and Frischknecht, 1966). As amostras nº 4, 14, 15, 17, pertencem a um grupo que possui a mesma litologia, mesmo grau de seleção dos grãos e forma de arredondamento dos grãos (ver anexo 7), e apresenta as constantes $0,53 \leq a \leq 0,77$, e $m = 2,0$. As amostras nº 3, 18, 19, pertencem a outro grupo que possui a mesma litologia, mesmo grau de seleção dos grãos, e forma de arredondamento dos grãos ligeiramente diferentes (ver anexo 7), e apresenta as constantes $0,32 \leq a \leq 0,90$, e $m = 2,0$.

Na Tabela 2 pode-se observar que para a maioria das amostras estudadas do FURD-9-PSS-1-SE, o valor de "a" foi superior a 1, significando que para a maioria das amostras estudadas predominou a porosidade de junta (Keller and Frischknecht, 1966). Nota-se ainda que o valor mais frequente obtido para o coeficiente de cimentação foi $m = 2,0$. As amostras N° 5, 7, 9, pertencem a um grupo que possui a mesma litologia, porém apresenta diferentes graus de seleção dos grãos e forma de arredondamento dos grãos (ver anexo 8), e apresenta as constantes $1,59 \leq a \leq 2,70$, e $1,07 \leq m \leq 2,0$.

A figura 13 apresenta o espectro de amplitude e fase da condutividade da água utilizada para saturar todas as amostras estudadas.

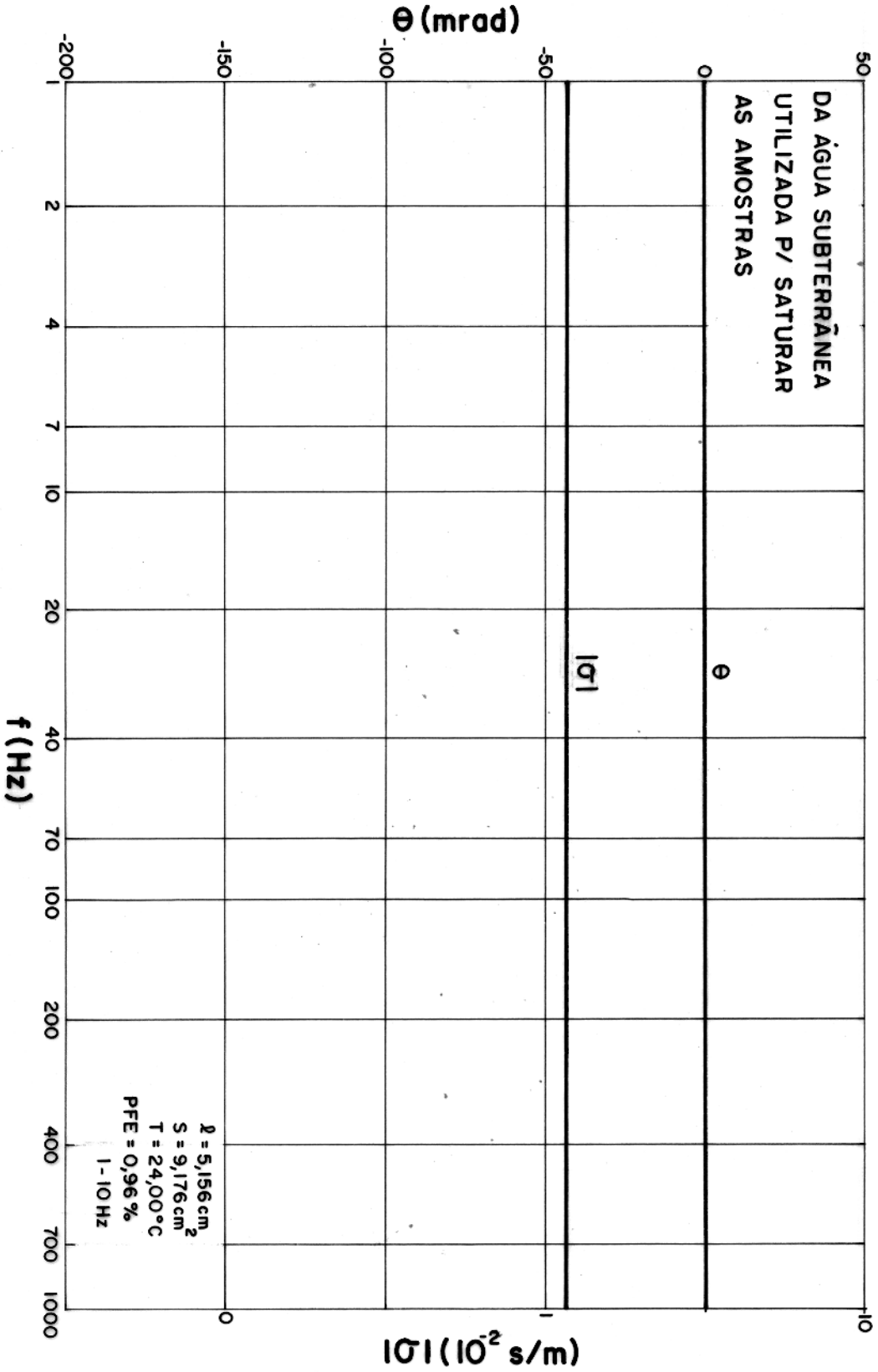
TABELA 01

FURO - 9-PEO-7-SE			
A M O S T R A	α	m	FATOR DE FORMAÇÃO
01	0,78	2,0	F= 0,78 -2,0
02	0,46	2,0	F= 0,46 -2,0
03	0,32	2,0	F= 0,32 -2,0
04	0,77	2,0	F= 0,77 -2,0
09	0,38	1,31	F= 0,38 -2,0
12	0,38	1,23	F= 0,38 -1,23
14	0,53	2,0	F= 0,53 -2,0
15	0,66	2,0	F= 0,66 -2,0
17	0,62	2,0	F= 0,62 -2,0
18	0,90	2,0	F= 0,90 -2,0
19	0,62	2,0	F= 0,62 -2,0
23	2,35	2,0	F= 2,35 -2,0
25	2,10	2,0	F= 2,10 -2,0
27	0,20	1,01	F= 0,20 -1,01
28	0,45	2,0	F= 0,45 -2,0
29	0,78	2,0	F= 0,78 -2,0
30	0,63	2,0	F= 0,63 -2,0
31	2,30	1,68	F= 2,3 -1,68

TABELA 02

FURO - 9 - PSS - 1 - SE			
A M O S T R A	a	m	FATOR DE FORMAÇÃO
02	1,20	2,0	F = 1,20 -2,0
05	1,59	2,0	F = 1,59 -2,0
07	1,67	2,0	F = 1,67 -2,0
09	2,70	1,07	F = 2,70 -1,07
13	0,94	2,0	F = 0,94 -2,0
18	2,40	1,19	F = 2,40 -1,19
19	2,40	1,57	F = 2,40 -1,57
20	0,76	2,0	F = 0,76 -2,0
21	2,80	2,83	F = 2,80 -2,83
23	1,08	2,0	F = 1,08 -2,0
26	2,90	0,90	*
27	0,95	0,88	*

* Estas amostras possuem grãos muito pouco variados e pouco cimentados. Não é conveniente a aplicação da Lei de Archie.



l = COMPRIMENTO DO TUBO CONTENDO ÁGUA SUBTERRÂNEA
 S = ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO TUBO
 T = TEMPERATURA DA ÁGUA
 PFE = EFEITO PERCENTUAL EM FREQUÊNCIA

5 CONCLUSÃO

Para atingir os objetivos deste trabalho que consistiu de um estudo de propriedades elétricas de rochas sedimentares em laboratório, algumas contendo minerais metálicos, foi necessário obter dados adicionais sobre as propriedades físicas das rochas (densidade seca, densidade saturada, e porosidade), bem como dados sobre as suas características geológicas tais como litologia, mineralogia e textura. Além disso foram usados dados de análises químicas para os elementos metálicos de interesse (cobre, chumbo e zinco), e finalmente obteve-se os parâmetros elétricos (condutividade complexa, efeito percentual em frequência PFE e coeficiente de anisotropia). As informações acima mencionadas, estão apresentadas na forma de tabelas e gráficos em anexo. Com os dados assim obtidos foi possível realizar uma análise dos mesmos a qual foi discutida no capítulo anterior. Como um resultado deste trabalho pode-se testemunhar que existe uma forte relação entre o efeito percentual em frequência nas rochas sedimentares e o teor de minerais metálicos e argila presentes na rocha. Verifica-se também, que as maiores concentrações de minerais metálicos (opacos) presentes nas amostras estudadas ocorrem nos arenitos grosseiros e conglomerados mal selecionados. Além disso, pode-se afirmar que os teores dos elementos metálicos cobre, chumbo e zinco contidos na maioria das amostras são insuficientes para causar anomalias de IP. Através dos perfis construídos para os dois furos de sondagens estudadas foi possível analisar em conjunto os dados físicos e mineralógicos obtidos sobre as amostras. O valor mínimo obtido para a resistividade do conjunto das amostras dos dois furos foi de $19 \Omega.m$ e o valor máximo de $909 \Omega.m$. O valor mínimo encontrado para o PFE do mesmo conjunto foi de 0,19% e o valor máximo de 16%. O valor mínimo encontrado para o teor dos elementos metálicos cobre e chumbo ainda sobre o mesmo conjunto foi de 14 ppm e o valor máximo encontrado foi de 5230 ppm.

Foi possível obter ainda para as amostras estudadas que apresentaram litologia apropriada, a aplicação de uma

expressão particular da Lei de Archie, que relaciona a resistividade de volume da rocha e a porosidade expressa como uma fração por unidade de volume da rocha. Estas expressões encontram-se apresentadas nas Tabelas 1 e 2 do parágrafo 4.2; e cujas análises encontram-se no referido parágrafo.

Os espectros de amplitude e fase da condutividade complexa e as curvas de relaxação tipo Cole-Cole serviram para apresentar o comportamento elétrico individual das amostras com relação a frequência do sinal aplicado no intervalo de 1 a 1000 Hz.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BISCHOFF, J., & ROCHA, B. R. P. da, 1982, Automatic laboratory system for the measurement of the complex electrical resistivity. International Symposium on Applied Geophysics in Tropical Regions: Brazilian Geophysical Society (SBGF).
- COLE, K. S., & COLE, R.H., 1941, Dispersion and absorption in dielectrics; J. Chem. Phys., V.9, p.341.
- COLLET, L.S., & KATSUBE, T. J., 1973, Electrical parameters of rocks in developing geophysical techniques: Geophysics, V. 38, p. 76-91.
- FULLER, B. D., & WARD, S. H., 1970, Linear systems description of the electrical parameters of rocks. IEEE transactions on Geoscience Electronics, V. 38, n° 1, p. 7-18.
- KELLER, G. V., & FRISCHKNECHT, F. C., 1966, Electrical methods in geophysical prospecting: New York, Pergamann Press, 517 p.
- LIDIARD, A. B., 1957, "Ionic conductivity", in Handbuch der Physik, V. 20 ("Elektrische Leitungsphanomene II"). Berlin : Springer-Verlag.
- MADDEN, T. R., & CANTWELL, T., 1967, Induced polarization, a review, in Mining geophysics, vol. 2 Tulsa, seg, p. 373-400.
- MADDEN, T. R., & MARSHALL, D. 1959a, Electrode and membrane polarization: M. I. T. report to A. E. C., RME 3157.
- MADDEN, T. R., & MARSHALL, D., 1959 b, Induced polarization, a study of its causes and magnitudes in geologic materials: Final M. I. T. report to A. E. C.
- PELTON, W. H., SWITH, R. J., & HALLOF, P. G., 1972, Parameters to describe second-order IP effects in the frequency domain:

Taranto, Mcphar Geophysics, Ltd.

PELTON, W. H., WARD, S. H., HALLOF, P. G., & NELSON, P. H., 1978, Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP, Geophysics, V. 43., p.588-609.

SEIGEL, H. O., 1959, Mathematical formulation and type curves for induced polarization: Geophysics, V. 24, p. 547-565.

VON HIPPEL, A. R., 1954, Dielectrics and Waves: New York, John Willey & Sons, p. 3-5.

FURO - 9 PEO 7 - SE		PROPRIEDADES FÍSICAS		
NUMERAÇÃO DAS AMOSTRA	PROFUNDIDADE DAS AMOSTRAS	DENSIDADE DA AMOSTRA SÊCA (g cm ³)	DENSIDADE DA AMOSTRA SATURADA (g cm ³)	TEOR DO VÁZIO POROSIDADE (%)
01	463,08	2,16	2,29	13,69
02	463,52	2,35	2,45	9,87
03	466,30	2,15	2,27	11,53
04	468,75	2,27	2,37	11,73
05	472,22	2,57	2,60	3,02
06	483,10	-	-	-
09	490,11	1,91	1,95	3,42
12	513,00	2,56	2,61	5,69
14	548,44	2,34	2,41	6,69
15	552,93	2,56	2,64	8,45
17	574,18	2,15	2,25	10,86
18	574,54	2,47	2,57	10,25
19	576,73	2,36	2,52	15,70
23	589,28	2,06	2,26	20,00
25	603,74	2,08	2,29	19,98
27	625,36	2,58	2,63	5,39
28	629,67	2,49	2,56	7,31
29	632,21	2,31	2,42	10,39
30	636,07	2,53	2,56	5,72
31	639,42	2,03	2,24	20,92

OBS: A numeração das amostra é a mesma realizada pelo Laboratório da PETROMISA

(-) Refere-se a dados
* Dados Obtidos por

* DADOS OBTIDOS DE ANÁLIS QUÍMICA			PETROGRAFIA	PROPRIEDADES ELÉTRICAS	
TEOR DO ELEMENTO ZINCO (PPm)	TEOR DO ELEMENTO TO ZINCO (PPm)	TEOR DO ELEMENTO COBRE (PPm)	TEOR DOS MINE- RAIS OPACOS	EFEITO PERCENTU- AL EM FREQUÊNCIA (PFE) 1.10Hz	COEFICIENTE DE ANISOTRO- PIA.
20	190	7	≤ 1%	0,67%	-
500	4200	14	< 1%	1,78%	-
17	22	5	< 1%	1,86%	-
288	5000	12	< 1%	2,30%	-
1370	12800	8	4%	-	-
47	339	46	< 1%	-	-
18	75	28	< 1%	0,41%	1,04
16	45	34	< 1%	2,36%	-
70	1406	20	< 1%	0,48%	-
72	286	16	2%	3,48%	-
59	738	18	1%	2,40%	-
155	740	13	1%	1,46%	-
73	912	18	1%	1,67%	-
660	144	18	< 1%	6,12%	-
376	96	9	< 1%	1,04%	-
300	562	230	8%	16,00%	-
20	4120	166	1%	4,81%	-
196	1256	62	1%	1,57%	-
40	44	47	< 1%	1,33%	-
47	43	23	< 1%	6,64%	-

que não poderam ser obtidos

PETROMISA

FURO-9-PSS-- 1 - SE		PROPRIEDADES FÍSICAS			
MINERAÇÃO DAS AMOSTRAS	PROFUNDIDADE DAS AMOSTRAS	DENSIDADE DA AMOSTRA SÊCA (g/cm ³)	DENSIDADE DA AMOSTRA SATURADA (g/cm ³)	POROSIDADE (%)	T M
02	880,95	2,14	2,33	8,70	
05	1110,50	1,94	2,15	21,27	
07	127,19	1,87	2,08	20,88	
08	127,71	2,02	2,23	21,13	
09	128,14	1,86	2,07	21,56	
10	128,36	2,00	2,24	23,86	
12	141,62	1,88	2,10	21,82	
13	159,30	1,85	2,07	21,87	
14	160,32	1,89	2,13	23,76	
17	193,69	2,36	2,43	7,23	
18	198,70	1,87	2,07	19,99	
19	199,73	1,89	2,10	20,41	
20	216,53	1,98	2,17	19,19	
21	217,35	1,92	2,15	22,81	
22	218,98	-	-	-	
23	225,80	1,92	2,14	21,14	
25	237,76	2,00	22,24	24,29	
26	238,46	1,99	2,23	24,24	
27	238,92	2,08	2,23	14,64	

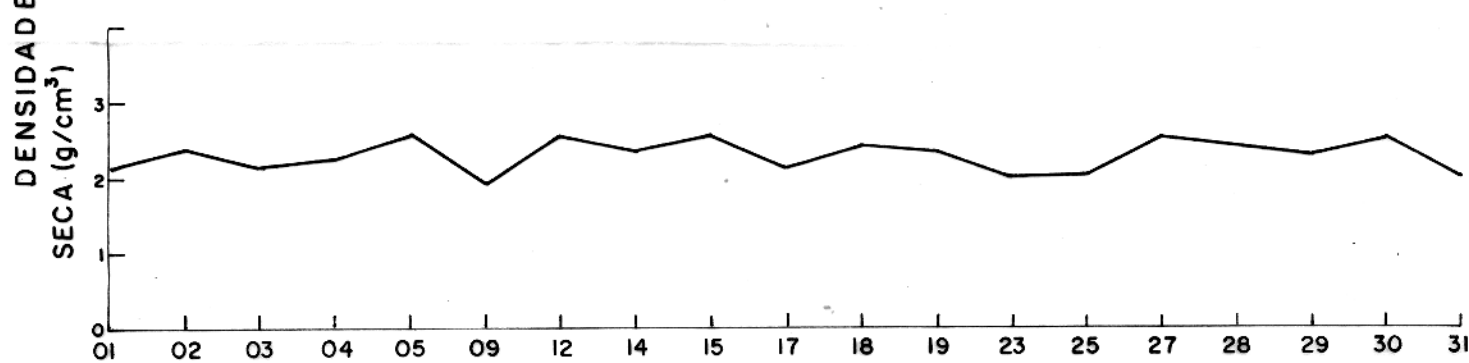
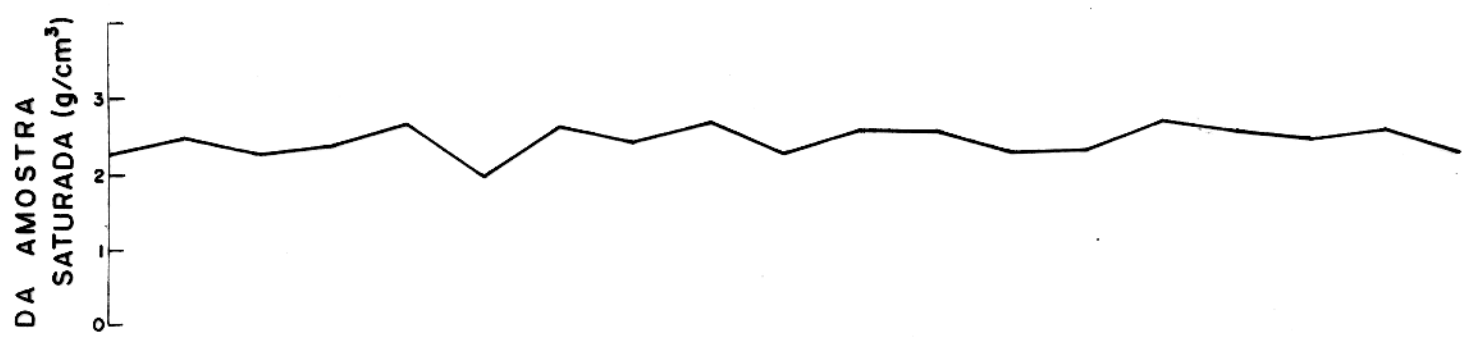
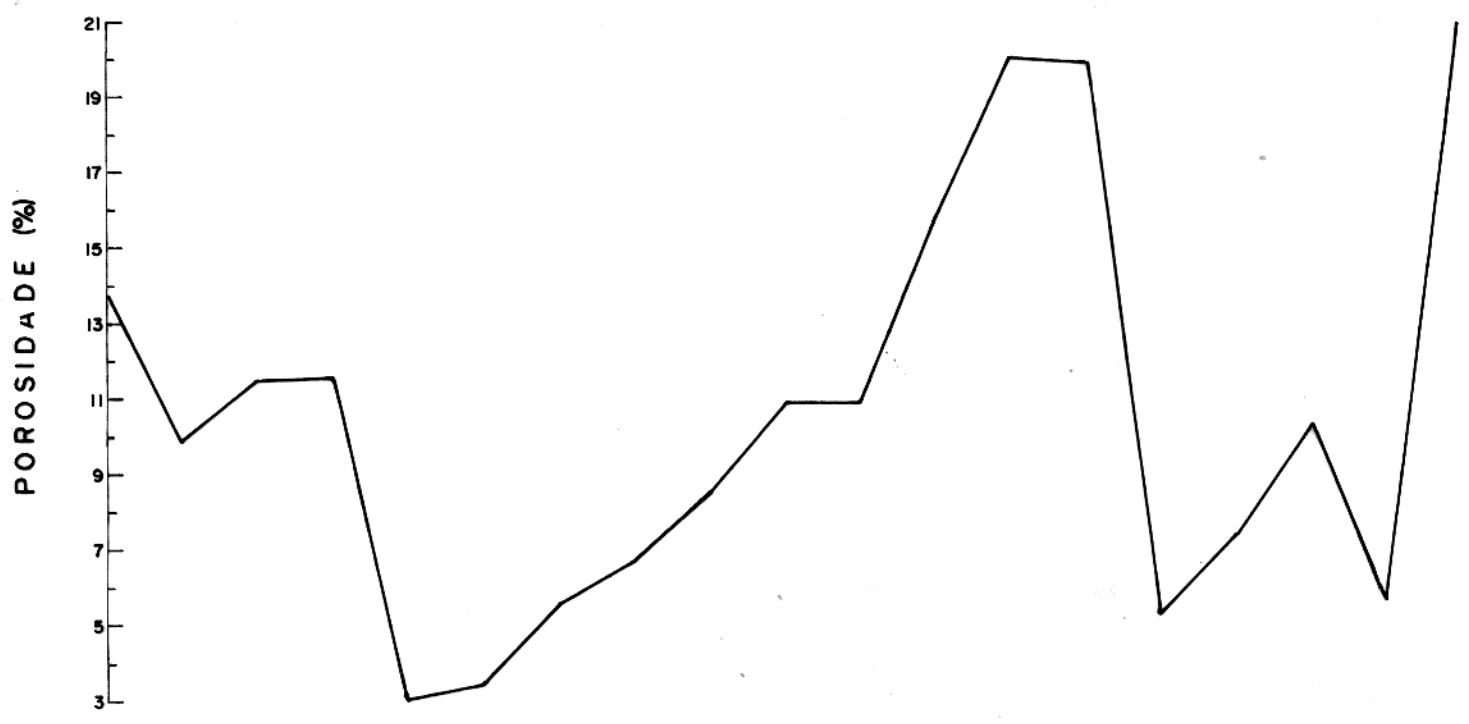
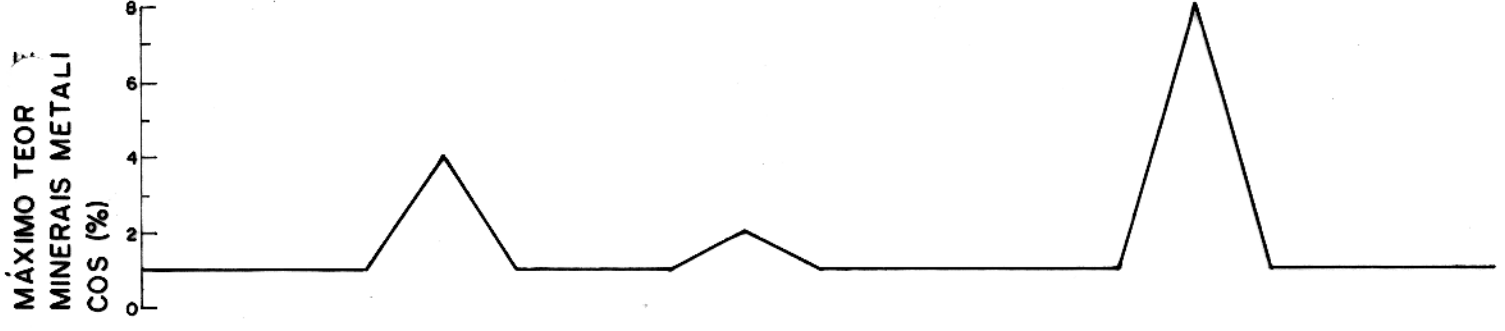
OBS: A numeração das amostras é a mesma realizada pelo laboratório da PETROMISA.

(-) Refere-se a dados que não foram obtidos
* Dados fornecidos

DADOS OBTIDOS DE ANÁLISE QUÍMICA*			PETROGRAFIA	PROPRIEDADES ELÉTRICAS	
TEOR DO ELEMENTO CHUMBO (PPM)	TEOR DO ELEMENTO ZINCO (PPM)	TEOR DO ELEMENTO COBRE (PPM)	TEOR DOS MINERAIS OPACOS	EFEITO PERCENTUAL EM FREQUÊNCIA (PFE).1.10Hz	COEFICIENTE DE ANISOTROPIA.
-	-	-	< 1%	6,34%	-
23	81	8	< 1%	1,61%	-
280	4640	9	2%	0,92%	-
3380	8500	23	3%	-	-
20	882	5	1%	0,35%	-
126	950	6	2%	-	-
8	314	6	< 1%	-	-
9	13	10	< 1%	1,18%	1,07
7772	90	9	< 1%	-	-
-	-	-	< 1%	-	-
11	50	15	1%	0,19%	1,02
3	22	9	2%	1,02%	1,10
3	17	11	1%	1,24%	1,10
5	34	8	2%	0,93%	1,04
-	-	-	2%	3,46%	1,04
81	308	20	2%	0,91%	1,02
-	-	-	3%	-	1,02
-	-	-	1%	3,09%	-
-	-	-	1%	2,22%	-

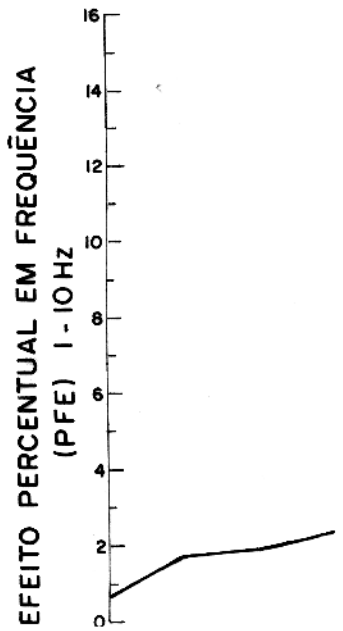
os que não pode

s pela PETROMISA

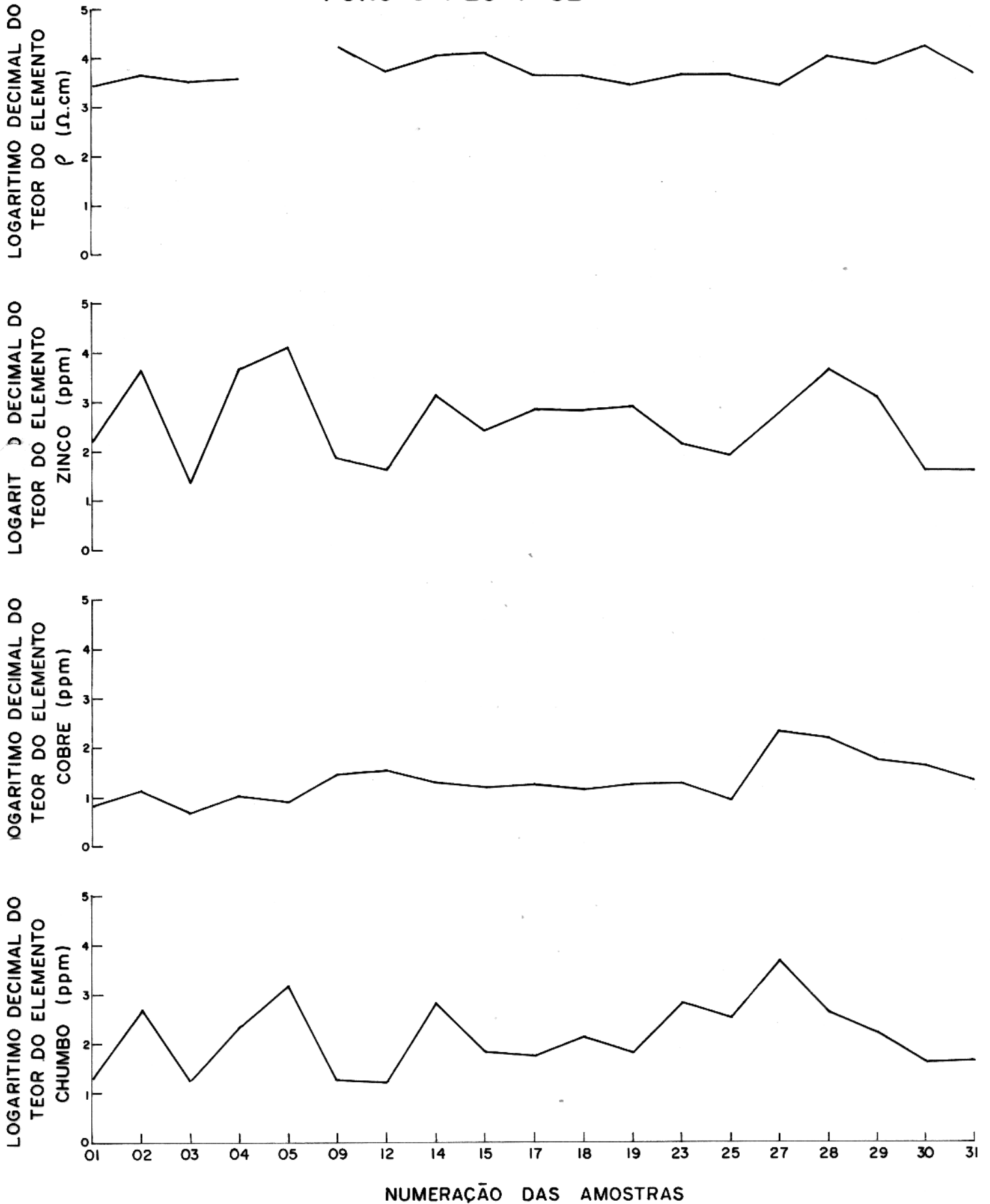


NUMERAÇÃO DAS AMOSTRAS

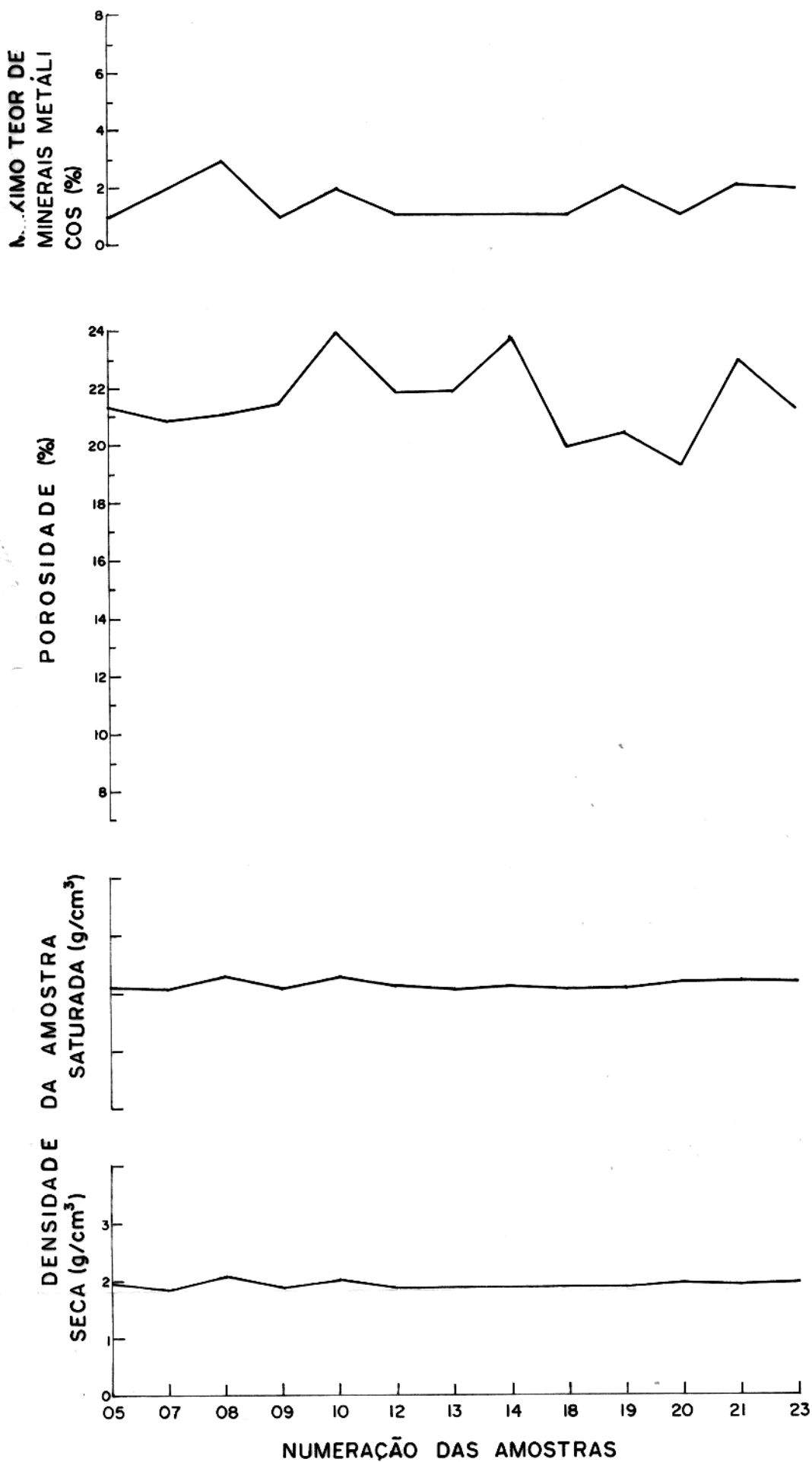
FURO-9-PEO-7-SE



FURO-9-PEO-7-SE



NUMERAÇÃO DAS AMOSTRAS



EFEITO PERCENTUAL EM
FREQUÊNCIA (PFE) 1-10HZ

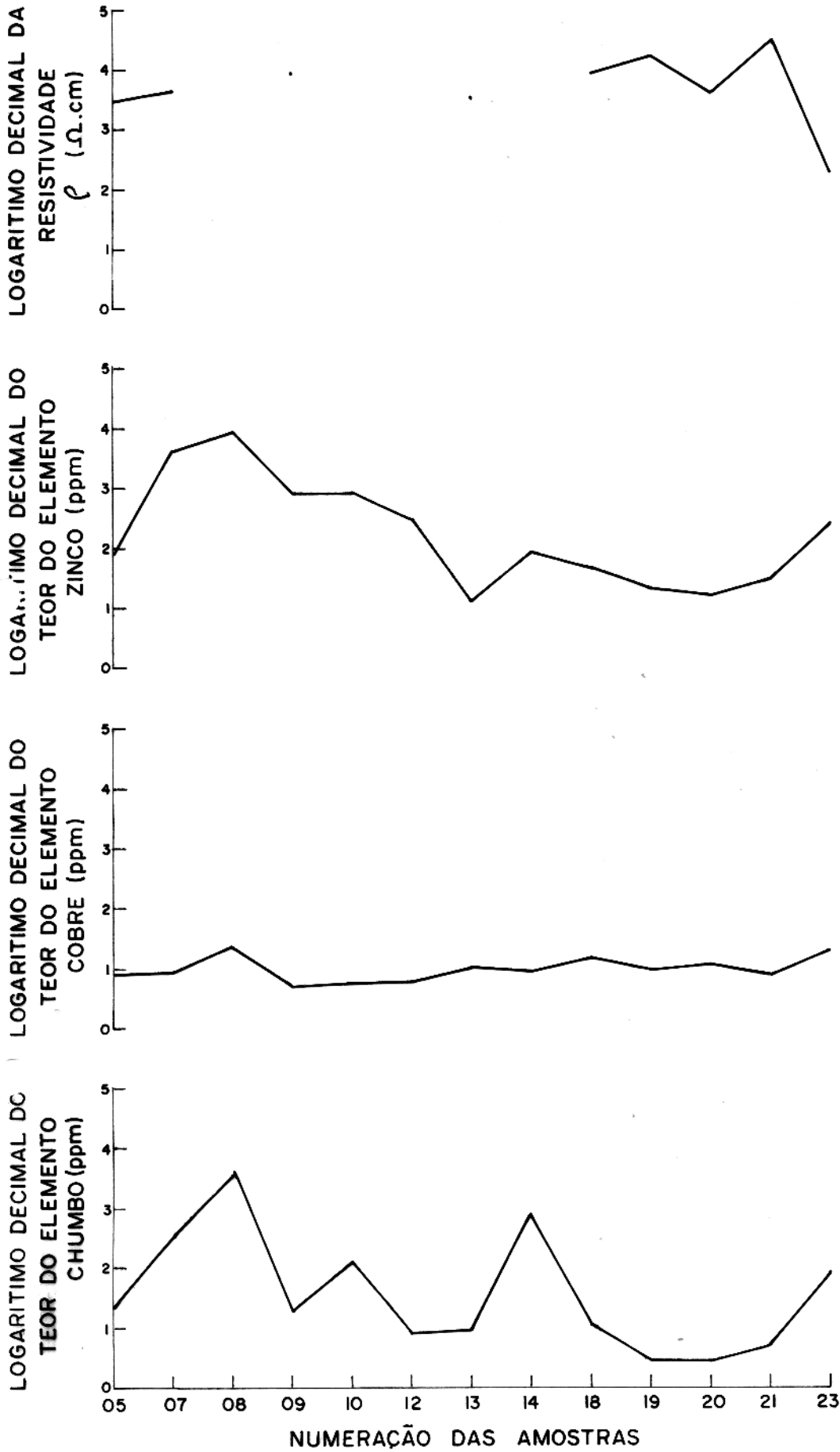


FURO-9-PSS-1-SE

45



FURO-9-PSS-I-SE



7 - A N E X O S

AMOSTRA	PROFUNDIDADE	LITOLITOLOGIA	
Nº 01	463,08 m	Arenito Subarcósico	Quartzo, feldspato (xisto, arenita, calcita, chert, opaco)
Nº 02	463,52 m	Sublitarenito	quartzo, microlito de rocha, calcita, epidota
Nº 03	466,30 m	Arenito arcósico	Quartzo, dolomita, fragmentos (pertita) microlito, muscovita
Nº 04	468,75 m	Arcósico conglomerático com abundante fragmentos de rocha.	Plagioclásio, microlito de rocha, clorita, amianto, calcita, cianita.
Nº 05	472,22 m	Arcósico conglomerático com fragmento de rocha	Plagioclásio, mica (carbonato, piroxênio).
Nº 06	483,10	Trata-se de uma massa fina de anidrita, com grãos de quartzo, onde os grãos maiores, são de quartzo, feldspato. Há módulos de anidrita bem distinguíveis e bolsões aparentemente interperizados.	Anidrita, calciclásio, quartzo (raro), opaco
Nº 09	490,11 m	Trata-se de uma massa praticamente de anidrita, além de carbonato em cristais anhedrais e pequenos grãos de quartzo dispersos. Raramente ocorre um material amarelado que se assemelha a argila	Anidrita, calcipirita, feldspato
Nº 12	513,00 m	Trata-se de uma massa de anidrita, formando a matriz onde estão imersos os minerais (em contato pontual)	quartzo, plagioclásio de rocha (pertita, óxido de ferro, opacos).

MINERALOGIA	SELEÇÃO	ARREDONDA- MENTO	CIMENTO	FORMAÇÃO GEO- LOGIA DA AMOSIRA
feldspato, fragmentos de rochas to, vulcânica, filito) muscovi- dolomita, óxido de ferro , s	Pobremente selecio- nada.	Anguloso até subarredonda- do.	carbonático	Riachuelo - Membro Angico
microclina, plagioclásio, fragmen- (carbonato, gnaiss, Xisto, se- to, vulcânicas), opacos.	Pobremente selecio- nado	Anguloso até subarredondado	Carbonático	Riachuelo - Membro angico
dolomita, plagioclásio, ortoclá- to de rocha (vulcânica, Xisto, microclina, clorita, chert, serici- ta, opacos.	Pobremente selecio- nado.	Anguloso a su- banguloso	Carbonático	Riachuelo Membro Angico
microclina, pertita, fragmen- (pelito, granito, vulcânica , clorita, glaucomita, opacos (ra- , chert, quartzo biotita, zir-	Muito pobremente se- lecionado.	Anguloso a su- banguloso.	Calcita	Riachuelo Membro Angico
microclina, fragmento de ro- to, xisto, quartzo, sericita , opacos.	Muito pobremente se- lecionado.	Anguloso e su- banguloso.	Predominantemen- te carbonático com óxido de ferro	Riachuelo - Membro Angico
calcita, dolomita (rara), plagio- clásio clorita (raro), muscovita opacos.	—	—	—	Riachuelo - Membro Angi- co
calcita, quartzo, óxido de ferro, feldspato (raro), opacos.	—	—	—	Nuribeca -Mem- bro Ibura.
plagioclásio, feldspato, fragmento (filito), calcita (dolomita, clori- ta, ferro biotita(raro), glaucomi- ta)	O material é muito mal selecionado. Observa-se textura "fluvial" tipi- ca da anidrita.	Grãos angulo- sos a subangu- losos.	—	Nuribeca - Membro Ibura

AMOSTRA	PROFUNDIDADE	LITOLOGIA	MI
Nº 14	548,44 m	Trata-se de um arenito arcossiano com abundantes fragmentos de rocha.	quartzo microssio, opacossita, óxido (quartzizito, to, vulcânico).
Nº 15	552,93 m	Trata-se de um arenito arcossiano com fragmentos de rocha (menos que nas outras lâminas)	quartzo plagioclasita, anidrita, carbonatos de rocha (quartzizito pelito)
Nº 17	574,18 m	Trata-se de um arenito arcossiano com fragmento de rocha.	Feldspato, plagioclasita, biotita, quartzo, chert, pelito) pertita,
Nº 18	574,54 m	Arenito Arcossiano	Feldspato, quartzo, calcita, chert, muscovita, zircão
Nº 19	576,73 m	Arenito Arcossiano	Quartzo, chert, plagioclásio microclina, de rocha (pelito) opaco,
Nº 23	589,28 m	Arenito Arcossico lítico	Plagioclásio, biotita, fragmentos de rocha (pelito) opaco, granito, opaco, granito de rocha (areolado) opaco, uma figura quadrada por opaco.
Nº 25	603,74 m	Arenito arcossico lítico	Quartzo, chert, fragmento de rocha (pelito), filito, opaco, microclina, epidoto, calcita porquilito

MINERALOGIA	SELEÇÃO	ARREDONDAMENTO	CIMENTO	FORMAÇÃO GEOLÓGICA DA AMOSIRA
microclina, feldspato, plagioclásio, dolomita (formado cimento), cloreto de ferro, fragmento de rocha, chert, granito calcário, pelitas) pertita, fragmento vulcânico	O material é mal selecionado.	Anguloso a subanguloso	—	Muribeca - Membro Carmópolis.
plagioclásio, microclina, clorita, calcita, chert, opacos, fragmento de rocha (vulcânicas, xistos, quartzo, epidoto (raro).	O material é mal selecionado	Anguloso e subanguloso	—	Muribeca-Membro Carmópolis
plagioclásio, calcita dolomita, partita (rara) microclina, muscovita, chert, fragmento de rocha (vulcânicas, siltito, carbonato, sericita, granada, opacos.	O material é mal e moderadamente selecionado	grãos angulosos até subangulosos.	Carbonático	Muribeca-Membro Carmópolis
quartzo, plagioclásio, pertita, chert, clorita, opacos, granada, siltito	Mal selecionado	Grãos angulosos	—	Muribeca - Membro Carmópolis
chert, dolomita, granada, clorita, sericita, partita, biotita, epidoto, minerquita, fragmento de rocha (siltito, ultito, carbonato, quartzo, muscovita.	O material é mal selecionado	Grãos angulosos a subangulosos	—	Muribeca Membro Carmópolis.
quartzo, chert, sericita, cloreto de rocha (vulcânica, pelito, partita), calcita pertita, microclina, granada, biotita. Em um fragmento de rocha (siltito fino siltito) encontramos e parece um brizoário substituído	O material é mal selecionado.	grãos angulosos.	—	Muribeca - Membro-Carmópolis.
plagioclásio, sericita, fragmento de rocha (siltito, xisto, granito, arenito calcário, glaucanita), clorita, microclina, mimerquita, granada, pertita. Sobcessimento em pertita calcária.	O material é mal a moderadamente selecionado	Grãos angulosos a subangulosos.	—	Muribeca - Membro-Carmópolis.

AMOSTRA	PROFUNDIDADE	LITOLOGIA	M
Nº 27	625,36 m	Trata-se de um intraesporito , fragmento desde vários centímetros até alguns milímetros.	Apresenta os xido de ferr intraesporito de rocha, têm 5% de óx
Nº 28	629,67 m	Trata-se de um carbonato micritico bastante neomorfizado, já com aspecto esparítico, abundantes fragmento de rocha, alongados e alinhados subparalelamente.	Os fragmento pelito e sec de feldspato de material
Nº 29	632,21 m	Trata-se de um intraesporito com cimento cimento carbonático, onde os grãos dos intra é mais gross seiro que a do cimento.	Os intra não dominantemen chert, pelito fragmentos a cos.
Nº 30	636,07 m	Trata-se de um microesporito	Grãos de fel ta e gragmen chert, vulcâ guns grãos d enquanto rar ritizados.
Nº 31	639,42 m	Arenito arcósico Lítico, bimodal !	Microclina, mento de pel clorita, fra quartzo, fra cita, fragme Obs: Sobre c

MINERALOGIA	SELEÇÃO	ARREDONDAMENTO	CIMENTO	FORMAÇÃO GEOLÓGICA DA AMOSTRA
intraesparito uma aureola de óxido de ferro formando um "rimo". Aparece associado a feldspato, fragmentos de silito, filito, chert. Condição de ferro.	O material é mal selecionado.	Apresenta grãos mais, grosseiros de forma variada desde arredondada até alongada, sem fósseis.	Carbonática	Rio Pitanga
As de rocha são em sua maioria de natureza secundária, chert, afora grãos de quartzo e opacos. Raros filmes orgânico e óxido de ferro.	---	---	---	Rio Pitanga
As essenciais são carbonáticas, e aparece fragmento de rocha (basalto, carbonato, quartzo). Alguns fragmentos parecem clorotizados raros opacos.	---	---	---	Rio Pitanga
Feldspatos (plagioclásio), minerais opacos de rocha (pelito, silito, mica, carbonato) e opacos. Alguns feldspatos estão sericitizados, fragmentos de rochas estão selecionados.	O material é mal selecionado	Os grãos vão desde angulosos até arredondados. Estão em geral flutuando na matriz	---	Rio Pitanga
plagioclásio, granada, chert, fragmento de silito, pertita, fragmento de rocha vulcânica, sericitizado de carbonato, opaco. Crescimento em Feldspato.	Moderadamente selecionado	Grãos angulosos a subangulosos.	Carbonático só que esta sujo com óxido de ferro	Rio Pitanga

AMOSTRA	PROFUNDIDADE	LITOLOGIA	M
Nº 02	80,95 m	SILTITO GROSSEIRO CARBONÁTICO	A fração car meros fragme porítico. A por grãosang quartzo, pla ta(rara), cl a presença
Nº 05	110,50 m	ARENITO ARCOSIANO FINO	Composto ess pato (plagi clina), sec óxido de fer
Nº 07	127,19 m	ARENITO ARCOSIANO FINO	Constituídos mitoclina) c chert, glauc epidoto(rar
Nº 08	127,71 m	ARENITO ARCOSIANO MÉDIO	Apresenta fr grãos de fos tos diminui apresenta ai gilosa, opac
Nº 09	128,14 m	ARENITO ARCOSIANO FINO	Composto por clina, fragm te) de pelit mente) musco
Nº 10	128,36 m	ARENITO ARCOSIANO MÉDIO	Composto por clina, fragm grão de cher tita, rara n ramente obse pato e opacc

MINERALOGIA	SELEÇÃO	ARREDONDAMENTO	CIMENTO	FORMAÇÃO GEO-LÓGICA DA AMOSTRA.
bonática é constituída por inú- mentos de ostrocodes e cimento es- fração arenosa está constituída angulosos bem selecionados de plagioclásio, microclina, muscovi- lorita(rara), opacos. Observa-se níveis de argilosos.	A fração arenosa é bem selecionada. O tamanho médio dos grãos é 60µm.	A fração arenosa é constituída por grãos angulosos.	A fração car- bonática é consti- tuída por cimento esporítico.	Barra de Itiúba
encialmente por quartzo e felds- plasió e menos frequente micro- secundariamente chert, manchas de ro e sericita, opacos	Muito bem selecio- nado, o tamanho mé- dio dos grãos e 170 µm.	Os grãos são subarredonda- dos e arredon- dados.	-	Barra de Itiú- ba
por feldspatos (plagioclásio e quartzo secundariamente, pelito onita (rara), sericita, opacos, , muscovita. clorita(rara)	A seleção não é mu- to boa devido a pre- sença de grãos gran- des. O tamanho mé- dio dos grãos é 200 µm, o tamanho máximo(quartzo=850 µm)	Mais grosseiro que o anterior Os grãos mais grosseiros , são poucos fre- quentes e dis- persos.Os grãos são subarredon- dados. O conta- to entre os grãos é pontual a retilíneo	Raramente observa- se os opacos servin- do como cimento	Barra de Itiúba
mentos bem maiores de pelito, fatos e a quantidade de feldspa- em relação ao arenito anterior, nda uma matriz aparentemente ar- os.	Muito mal seleciona- do. O tamanho grãos varia desde 50 µm até 1,4 mm	Os grãos maio- res são arre- dondados e subarredondados	Maior quantidade de óxido de ferro como cimento	Barra de Itiúba
quartzo, plagioclásio, micro- mentos de rocha (menos frequen- te, chert, sericita (secundaria- vita, glaucomita, opacos	O material é bem se- lecionado.O tamanho médio dos grãos e 200 µm.	Constituído de grãos subangu- losos e subar- redondados , com contatos retilíneos po- rosos.	Localmente observa- se cimento de opacos	Barra de Itiúba
quartzo, plagioclásio, micro- mento de pelito(mais frequente), t, turmalina e glauconita, per- uscovita, raro epidoto. Mais ra- va-se sob crescimento no felds- s	O material é mal se- lecionado, com exces- so de alguns gran- des grãos.Os grãos variam desde 50 µm até 1.4 mm.	Os grãos são subarredonda- dos.	-	Barra de Itiúba

AMOSTRA	PROFUNDIDADE	LITOLOGIA	
Nº 12	141,62 m	Arenito arcossiano fino	Composto pre- guido de fel- microclina), tos de pelit- ros opacos,
Nº 13	159,30 m	Arenito síltico	Constituido cristalino, do de plagio- menos freque- chert, clorit- covita, dolom-
Nº 14	160,32 m	Arenito arcossiano fino	Constituido gioclásio, m- tos de pelit- lina opacos, é pouco freq-
Nº 17	193,69 m	Siltito grosseiro carbonático	Constituido clina, calcit- cos. A calci- preenchendo
Nº 18	198,70 m	Arenito arcossiano muito fino	Constituido clina. Menos óxido de fer- minerais opa-

MINERALOGIA	SELEÇÃO	ARREDONDAMENTO	CIMENTO	FORMAÇÃO GEOLÓGICA DA AMOSTRA
dominantemente por quartzo, <u>se</u> dspato (plagioclásio, <u>per</u> tita , além de chert raros fragmen- <u>to</u> , sericita secundariamente <u>ra</u> rara turmalina.	O material é bem selecionado. O tamanho dos grãos <u>va</u> riam de 60 até 850 <u>sendo</u> o tamanho médio 200 μ m	Apresenta grãos subarredonda- <u>dos</u> , contatos retilineos, <u>pon</u> tuais e <u>ate</u> concavo-conve-xos, bem poro- <u>so</u> .	-	Barra de Itiúba
principalmente de quartzo mono <u>extin</u> ção pouco ondulante, <u>segu</u> í clásio, microclina, <u>per</u> tita e <u>ntemente</u> fragmento de pelito , <u>a</u> , opacos e mais raramente <u>mus</u> ita, epidoto.	A fração grosseira apresenta grãos de <u>mais</u> ou menos 150 μ m bem selecionados <u>poroso</u> .	A fração gros- <u>seira</u> apresen- <u>ta</u> grãos sub- <u>angulosos</u> .	É formado por vezes de mine- <u>rais</u> opacos e carbonatos	Barra de Itiúba
essencialmente por quartzo, <u>pla</u> microclina, <u>per</u> tita, chert, <u>fragnen</u> to e carbonatos (raro), <u>rara</u> turma- <u>carbonato</u> e clorita. A matriz <u>quente</u> .	O material é mais bem selecionado, <u>com</u> grãos em torno de 60 μ m. A porosidade é muito baixa com os grãos formando um arcabouço bem <u>fechado</u> .	Apresenta grãos subangulosos <u>a</u> subarredonda- <u>dos</u>	-	Barra de Itiúba
por quartzo, plagioclásio, <u>micro</u> a, glaucomita rara mucovita opa- <u>ta</u> e esparica e por vezes esta <u>fraturas</u> .	O material é mais bem selecionado <u>com</u> grãos em torno de 60 μ m. A porosidade é muito baixa com os grãos formando um arcobouço bem <u>fechado</u> .	Apresenta grãos subangulosos e subarredondados	-	Barra de Itiúba
por quartzo, plagioclásio, <u>micro</u> - <u>frequentemente</u> calcita, clorita, <u>ro</u> chert. Ocorre irregulares de <u>cos</u> . Um pouco de matriz argilosa	O material é modera- <u>damente</u> selecionado e poroso. O tamanho médio dos grãos é 100 μ m.	Apresenta grãos subangulosos.	Carbonático	Barra de Itiúba

AMOSTRA	PROFUNDIDADE	LITOLOGIA	
Nº 19	199,73 m	Arenito arcossiano muito fino	Sua composição monocrystalina além de plagioclastos, chert, argilosa comita, epidota
Nº 20	216,53 m	Anidrita arcossiano muito fino, algo carbonático	Composta de calcita (pouco frequência) quantidade de chert que o da amostra
Nº 21	217,35 m	Arenito arcossiano muito fino, algo carbonático	Composta de calcita, carbonato, argilosa, covita, turmalina, opacos. Algumas manchas de chert
Nº 22	218,98 m	Arenito arcossiano muito fino	Constituído por calcita, clinoquinarsina, calcita, clorita. Observada mais argilosa
Nº 23	225,80 m	Arenito arcossiano muito fino	Composto de calcita, chert, calcita, ricita, zircão, presença de calcita, fragmentos nos grãos

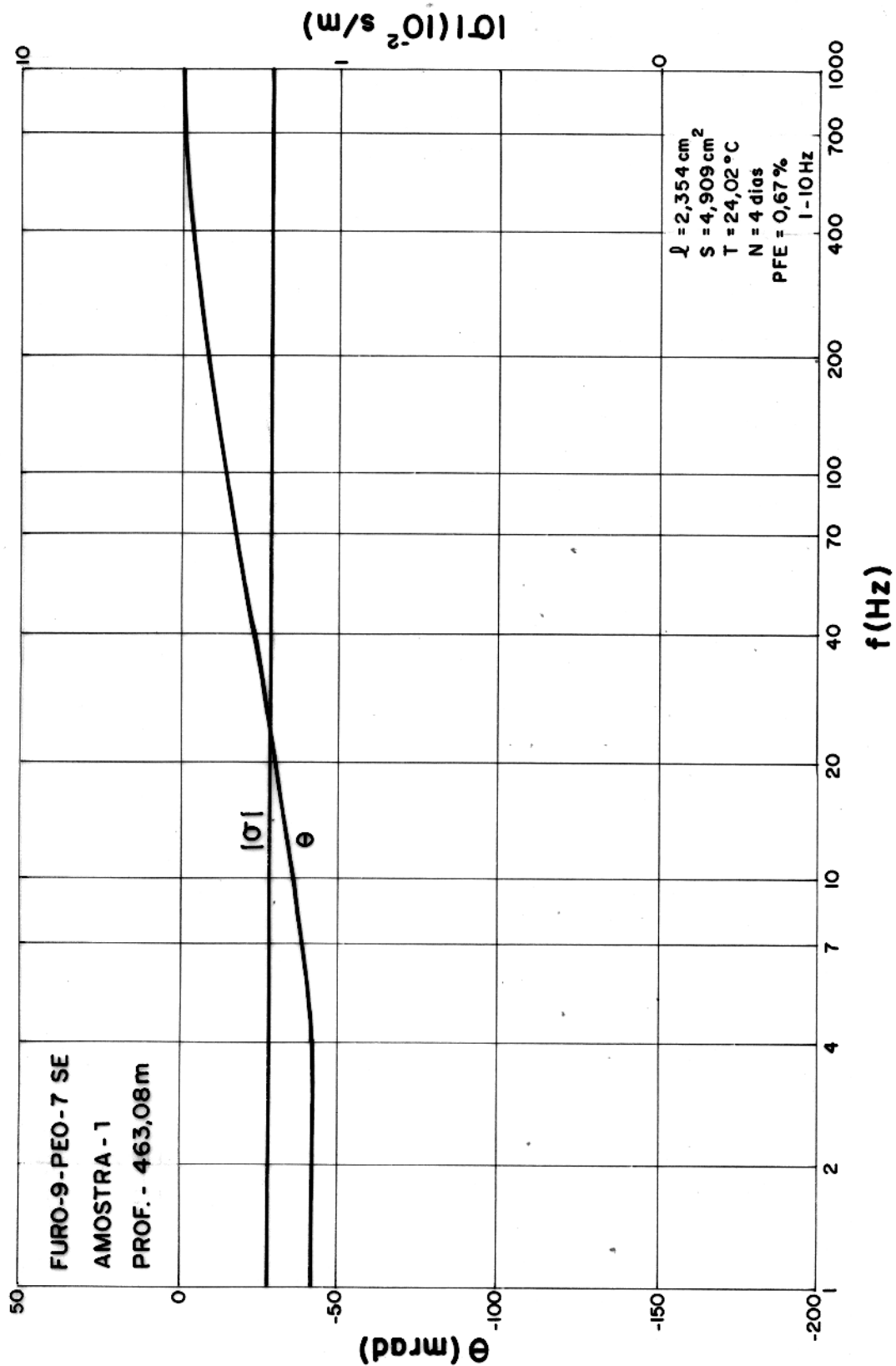
MINERALOGIA	SELEÇÃO	ARREDONDAMENTO	CIMENTO	FORMAÇÃO GEOLOGICA - DA AMOSTRA
<p>ão é predominantemente quartzo com extinção algo ondulante. Plagioclásio, microclina, clorita, opacos, glaucomita.</p>	<p>O material é bem selecionado, onde alguns grãos maiores não ultrapassam a 150µm. Além de poroso, apresenta um arcabouço fechado com os grãos em contato retilineo (principalmente)</p>	<p>Apresenta grãos subangulosos a subarredondados</p>	-	Barra de Itiúba
<p>quartzo, plagioclásio, microclina (principalmente), clorita, calcita, opacos. A matriz de argiloso é maior que a da amostra anterior.</p>	<p>Um pouco mais grosso que o anterior e um pouco menos selecionado, um pouco mais carbonático, mais poroso, mais cloritizado. O tamanho médio dos cristais é 120µm.</p>		-	Barra de Itiúba
<p>quartzo, plagioclásio, microclina, argila. Secundariamente temos muscovita, glaucomita, clorita, sericita. Às vezes o carbonato aparece como fragmentos arredondados (fragmento de rocha)</p>	<p>O material é bem selecionado com contatos retilineos até pontuais, porosidade média, grãos com tamanho médio de 90µm</p>	<p>Apresenta grãos subangulosos a subarredondados</p>	-	Barra de Itiúba
<p>Por quartzo, plagioclásio, microclina, argila, óxido de ferro, opacos. Observa-se um bandejamento com níveis mais carbonáticos.</p>	<p>O material é bem selecionado imerso em uma matriz argilosa. O tamanho médio dos grãos é 80µm</p>	<p>Apresenta grãos angulosos e subangulosos</p>	Calcita	Barra de Itiúba
<p>quartzo, plagioclásio, microclina, clorita, turmalina, opacos, sericita. Por vezes observa-se a presença de quartzo por quilotópica e sobrecrecimentos de quartzo.</p>	<p>Moderadamente selecionado, poroso, contatos ligeiramente côncavo-convexo com tamanho médio de 100µm</p>	<p>Apresenta grãos angulosos e subangulosos</p>	Carbonático	Barra de Itiúba

AMOSTRA	PROFUNDIDADE	LITOLOGIA	
Nº 25	237,76 m	Arenito Arcosiano muito fino	Composto de o na, calcita, opacos.
Nº 26	238,46 m	Arenito Arcosiano muito fino	Composto de o na, chert, carb vita, sericita rita. A matri como o ciment
Nº 27	238,92m	Arenito Arcosiano muito fino, Carbonático	Composto de o chert, calcit ta, epidoto, cl fragmentos de fuso, que por to

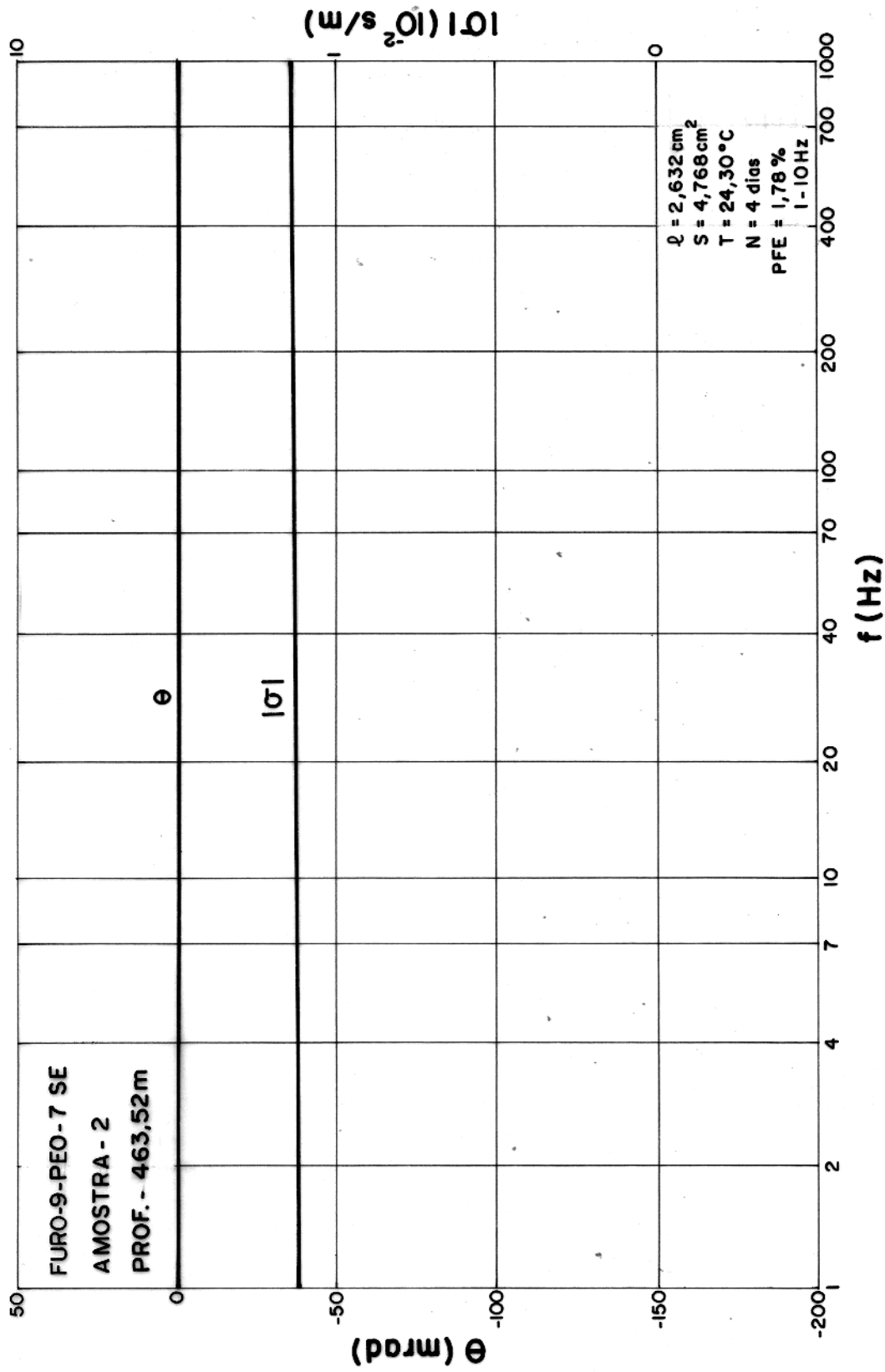
MINERALOGIA	SELEÇÃO	ARREDONDAMENTO	CIMENTO	FORMAÇÃO GEOLOGICA DA AMOSTRA
quartzo, plagioclásio, microclorita, muscovita, sericita,	Moderadamente selecionado, contatos retilineos, algo poroso, tamanho médio dos grãos 80µm	Apresenta grãos angulosos e subangulosos	Carbonático	Barra de Itiúba
quartzo, plagioclásio, microclonato (pouco frequente), muscovita, argila, turmalina, opacos, cloz é muito pouco frequente bem carbonático	Material bem selecionado com tamanho médio de 80µm contatos retilineos a côncavo-cônvexos.	Apresenta grãos angulosos	Carbonático	Barra de Itiúba
quartzo, plagioclásio, microclina, fosfato (raro) opacos, muscovita. Destaca-se a presença de calcário, com bordes algo diversas vezes confunde-se com o cimento	Observa-se uma bimodalidade. O tamanho médio dos grãos é de 100µm. Os grãos tocam-se pontualmente	Os grãos variam de angulosos a subangulosos, com os grãos de quartzo monocristalinos	Calcário	Barra de Itiúba

ANEXO 9

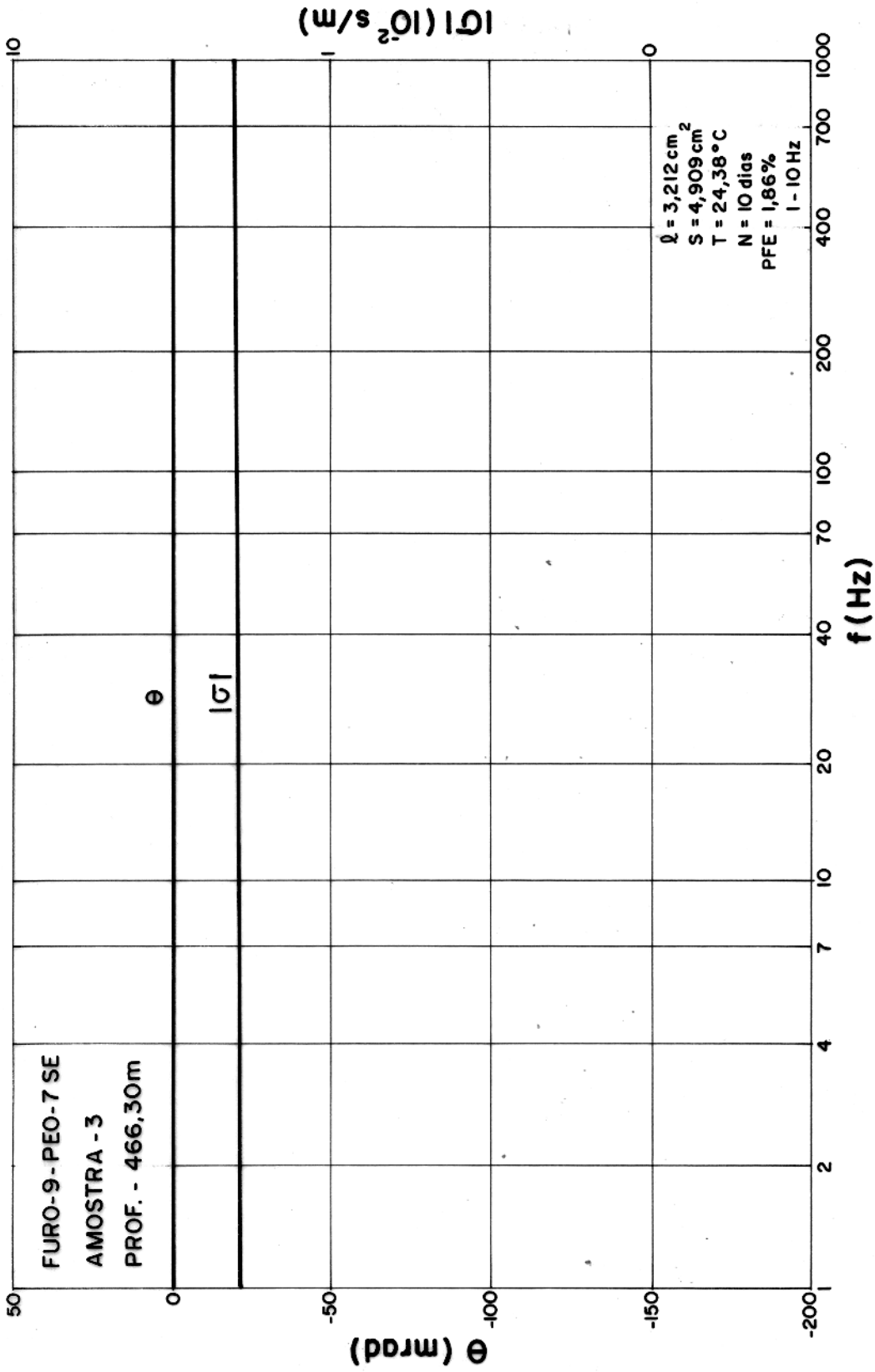
Espectros de amplitude e fase da condutividade
complexa para as amostras do Furo - 9.PE0.7.SE.



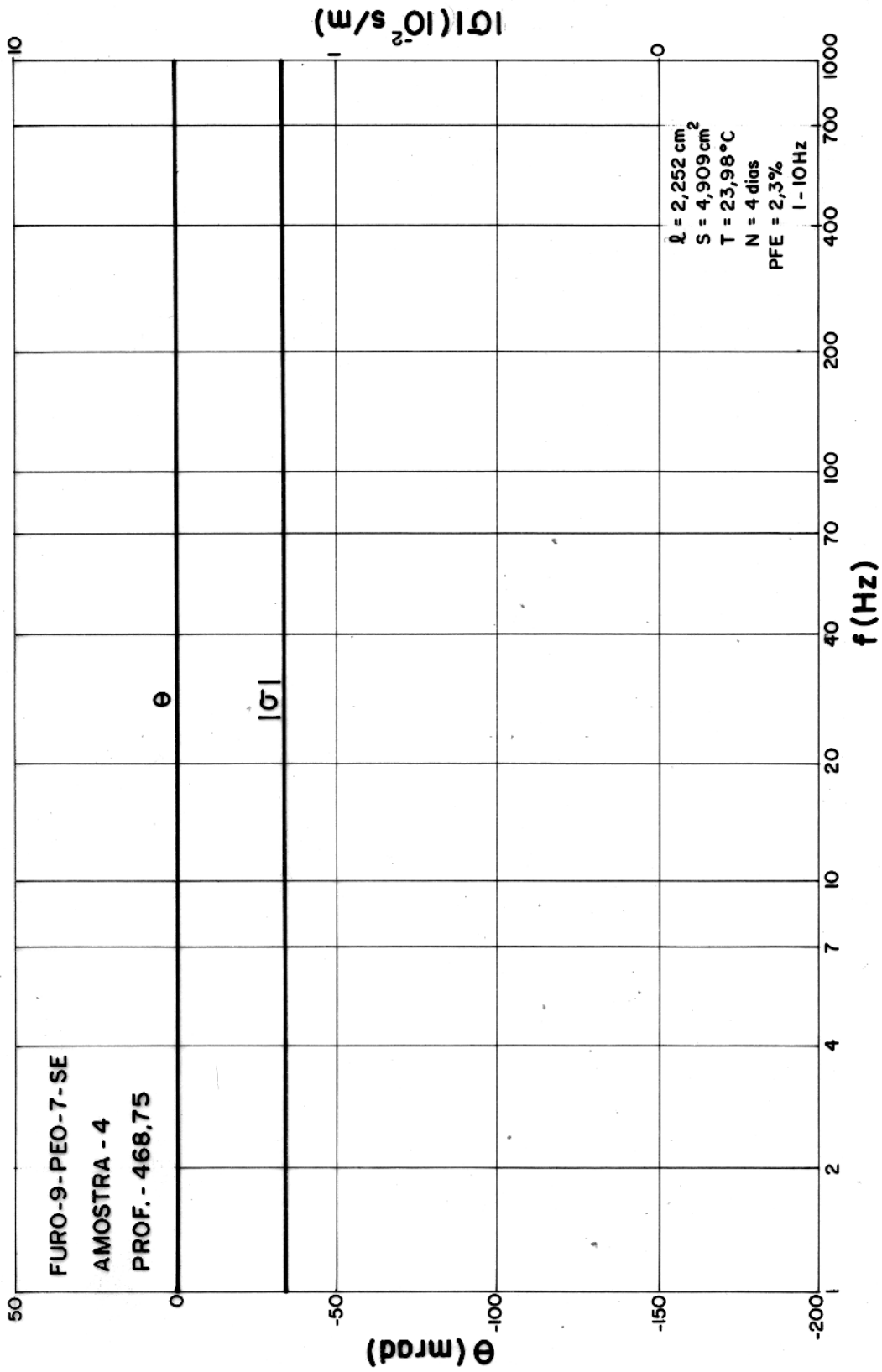
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



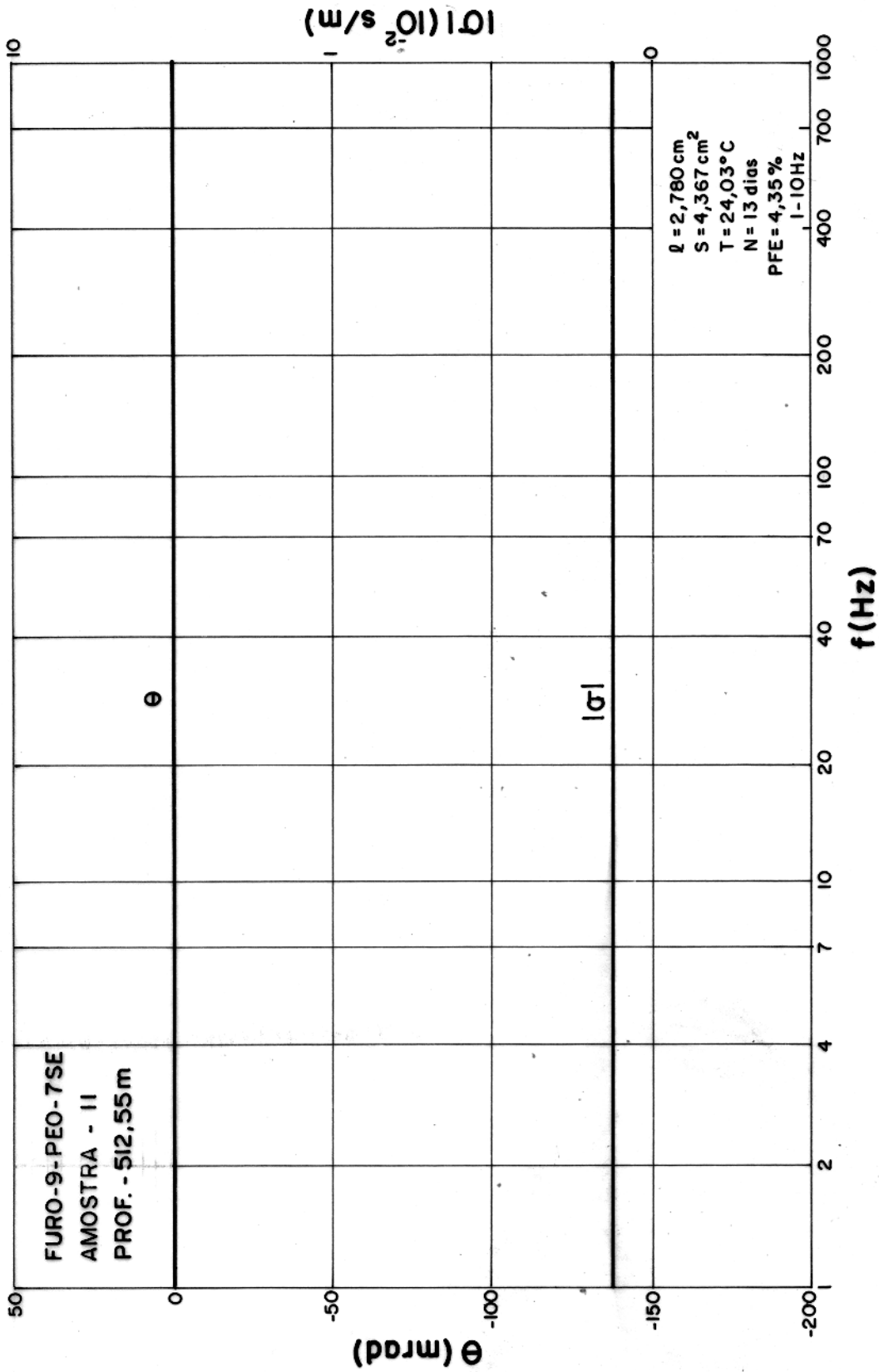
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



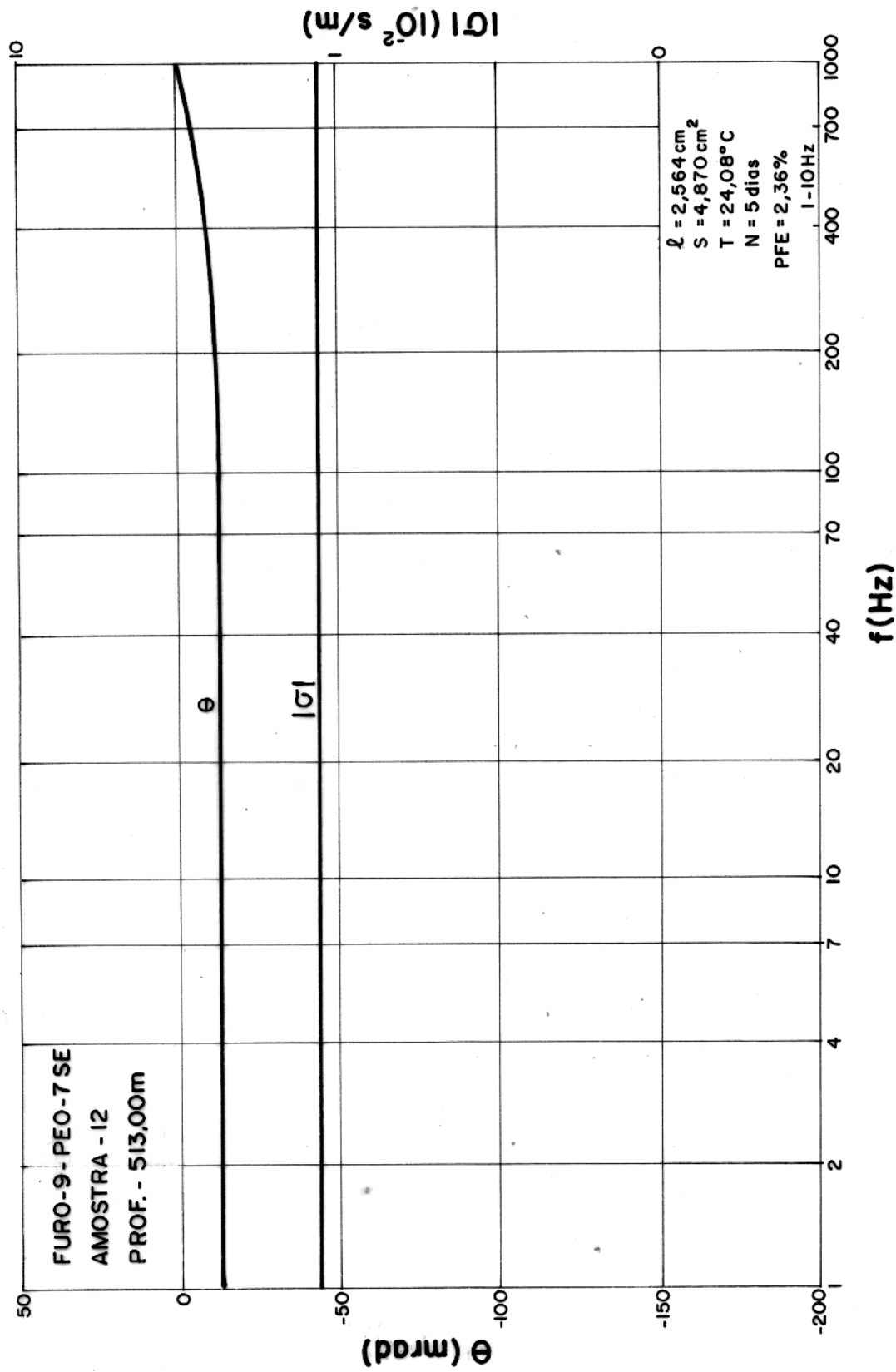
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



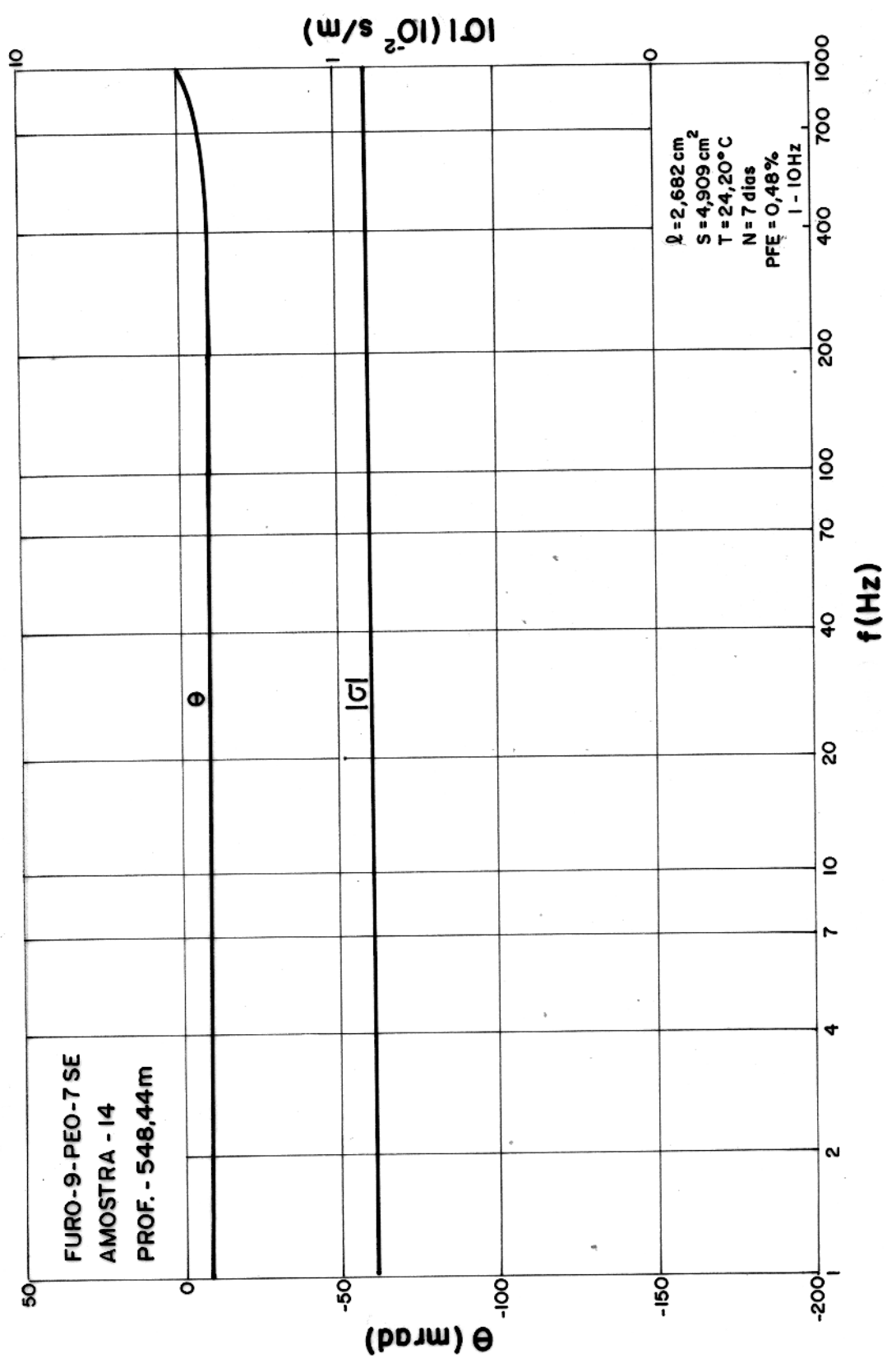
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



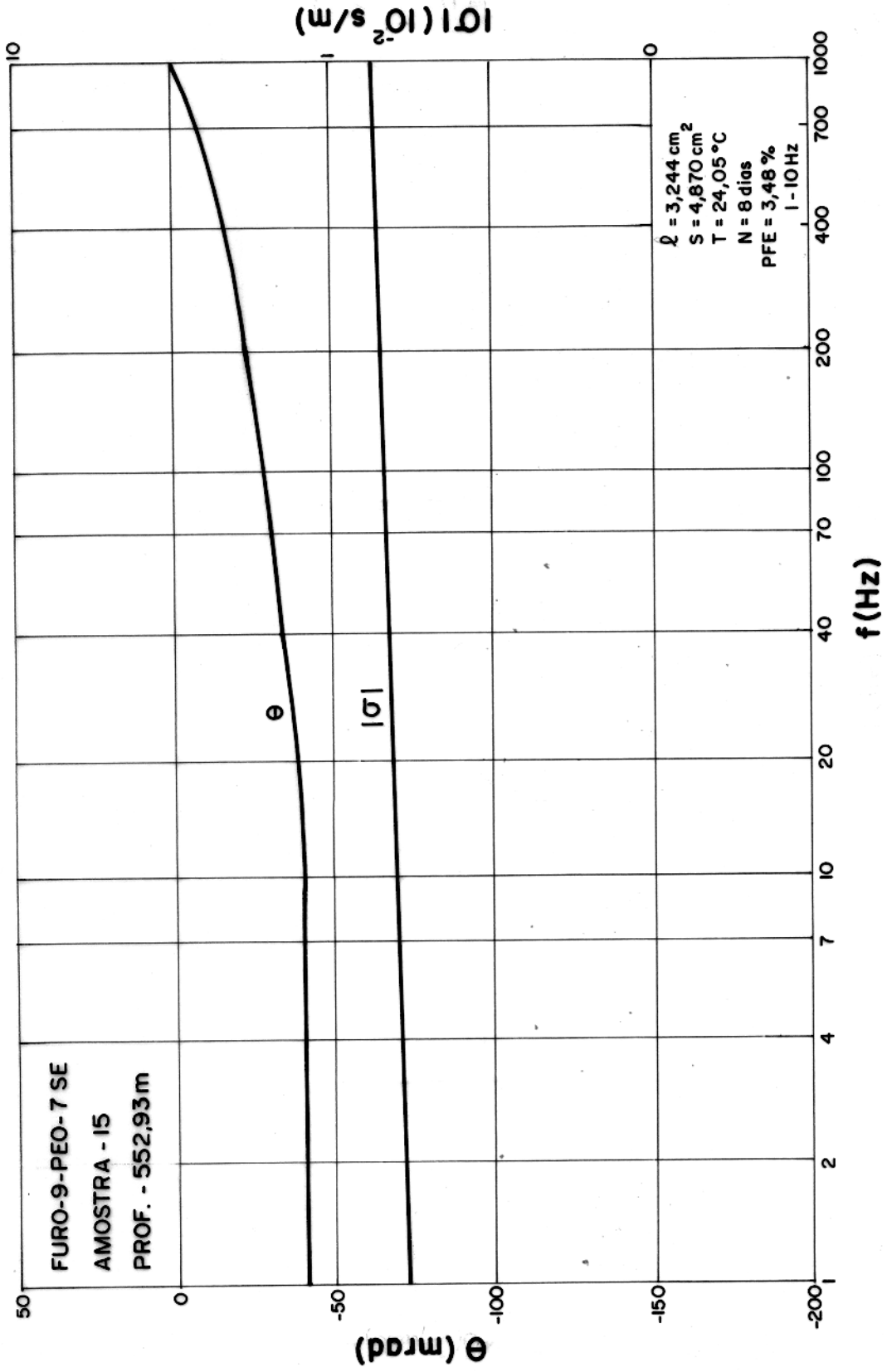
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



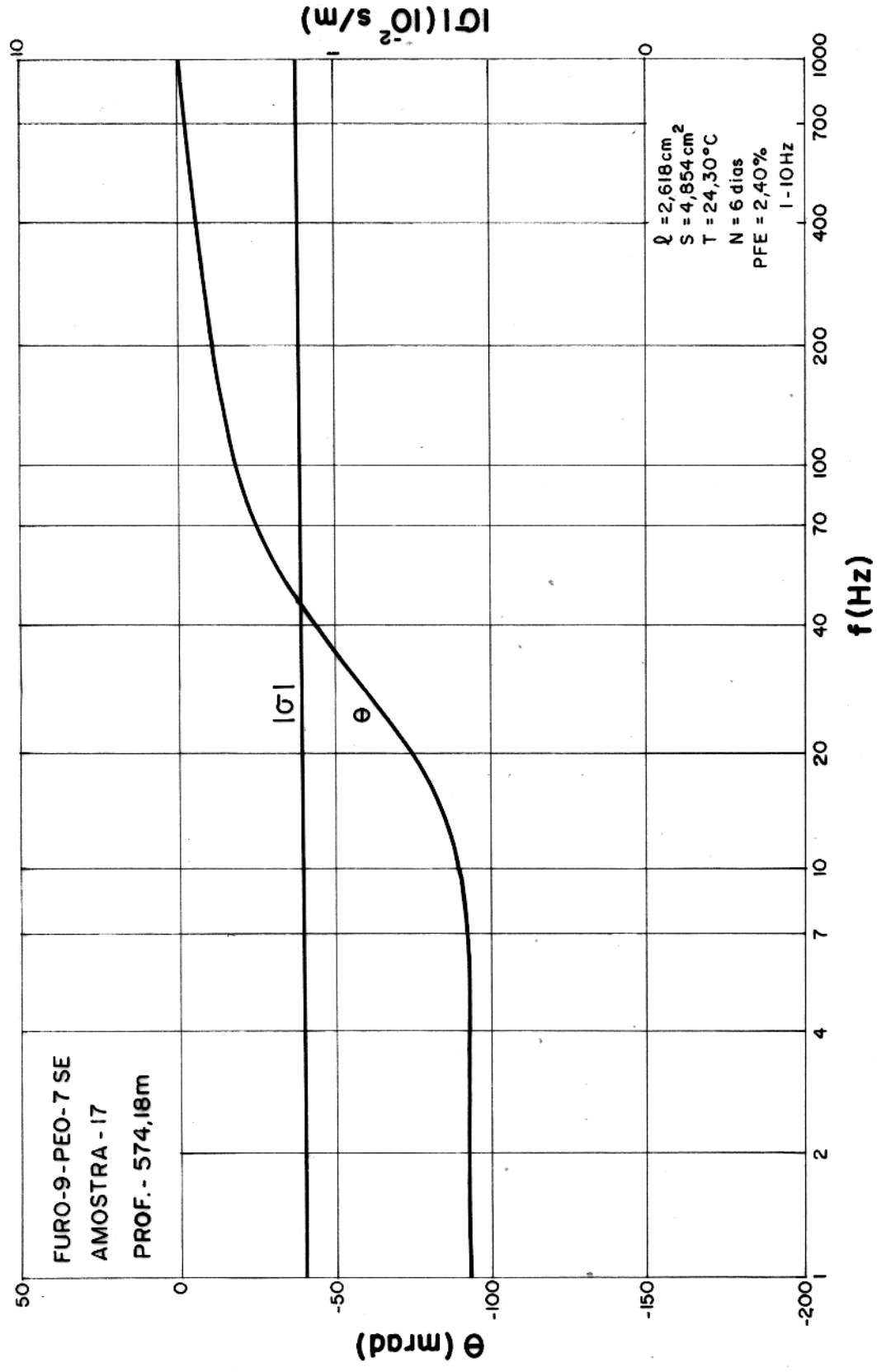
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



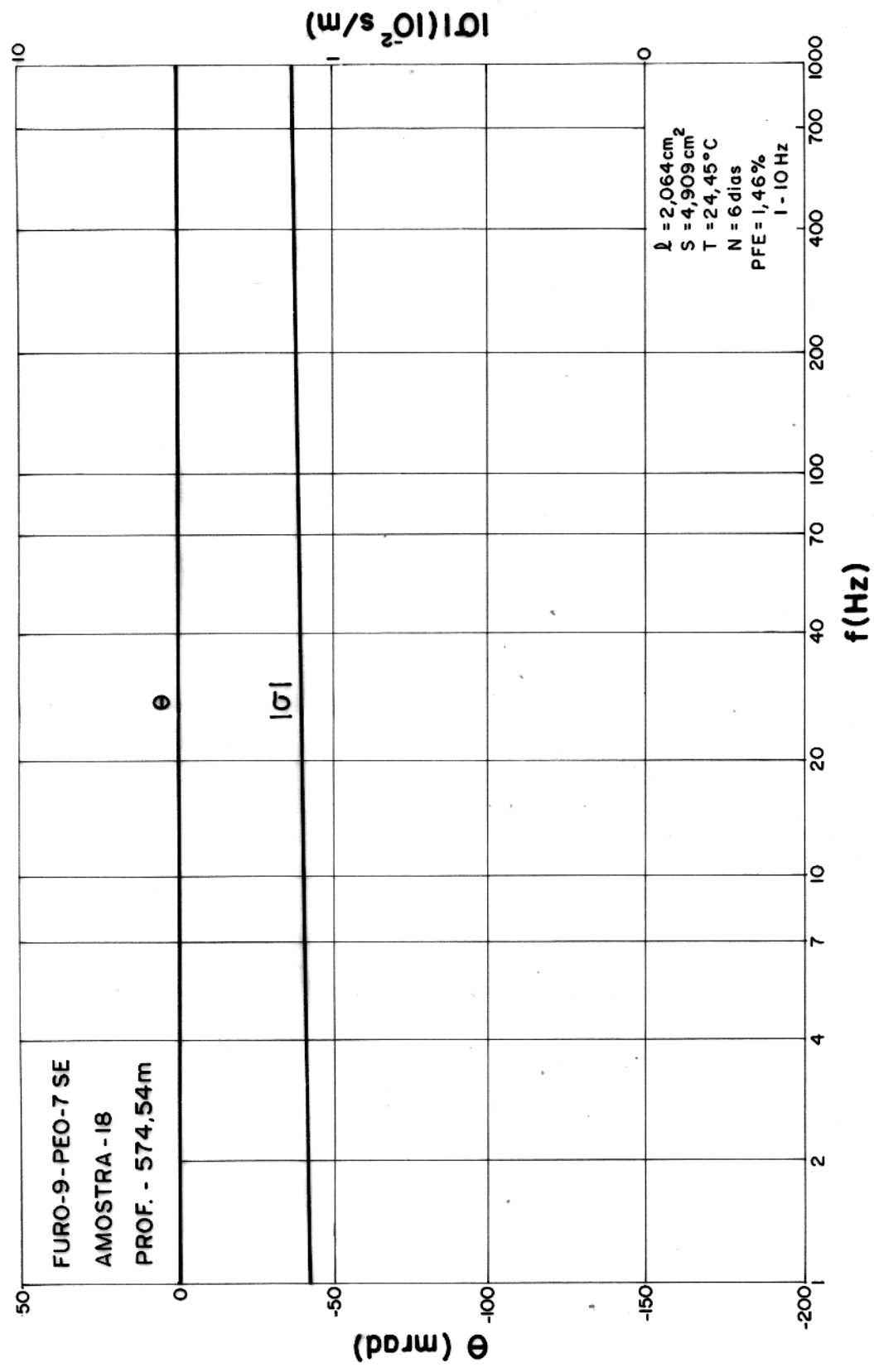
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



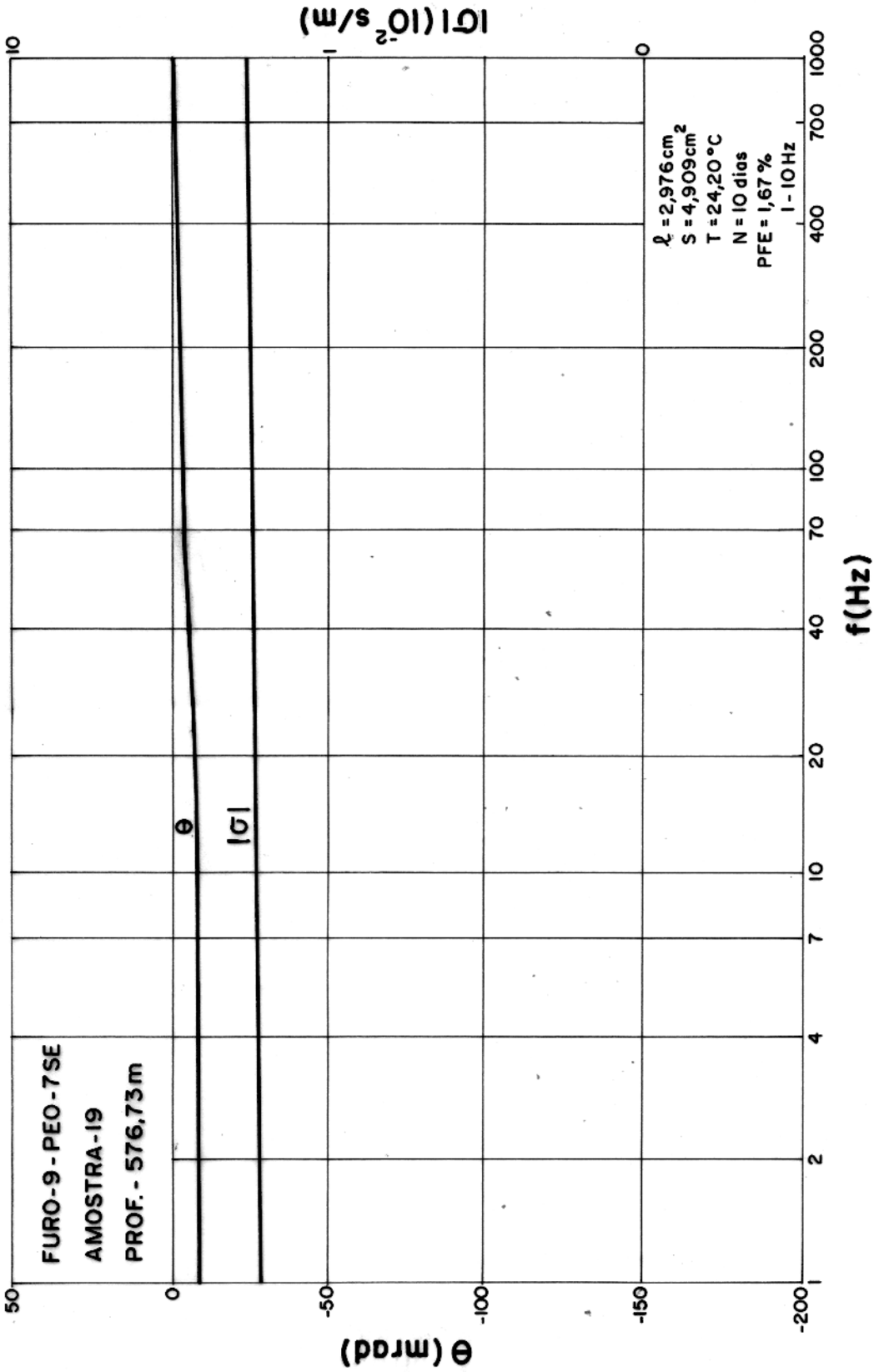
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



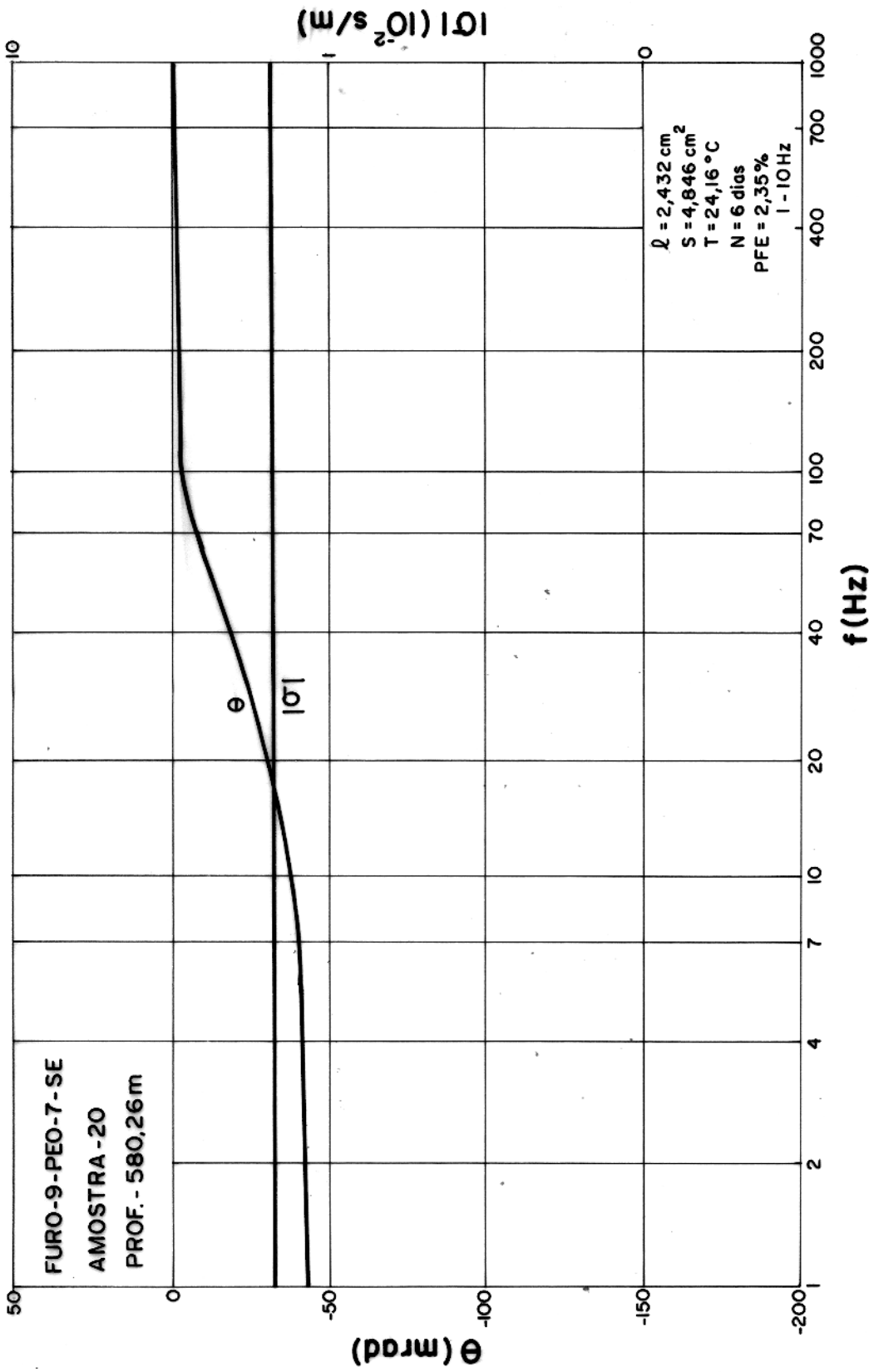
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



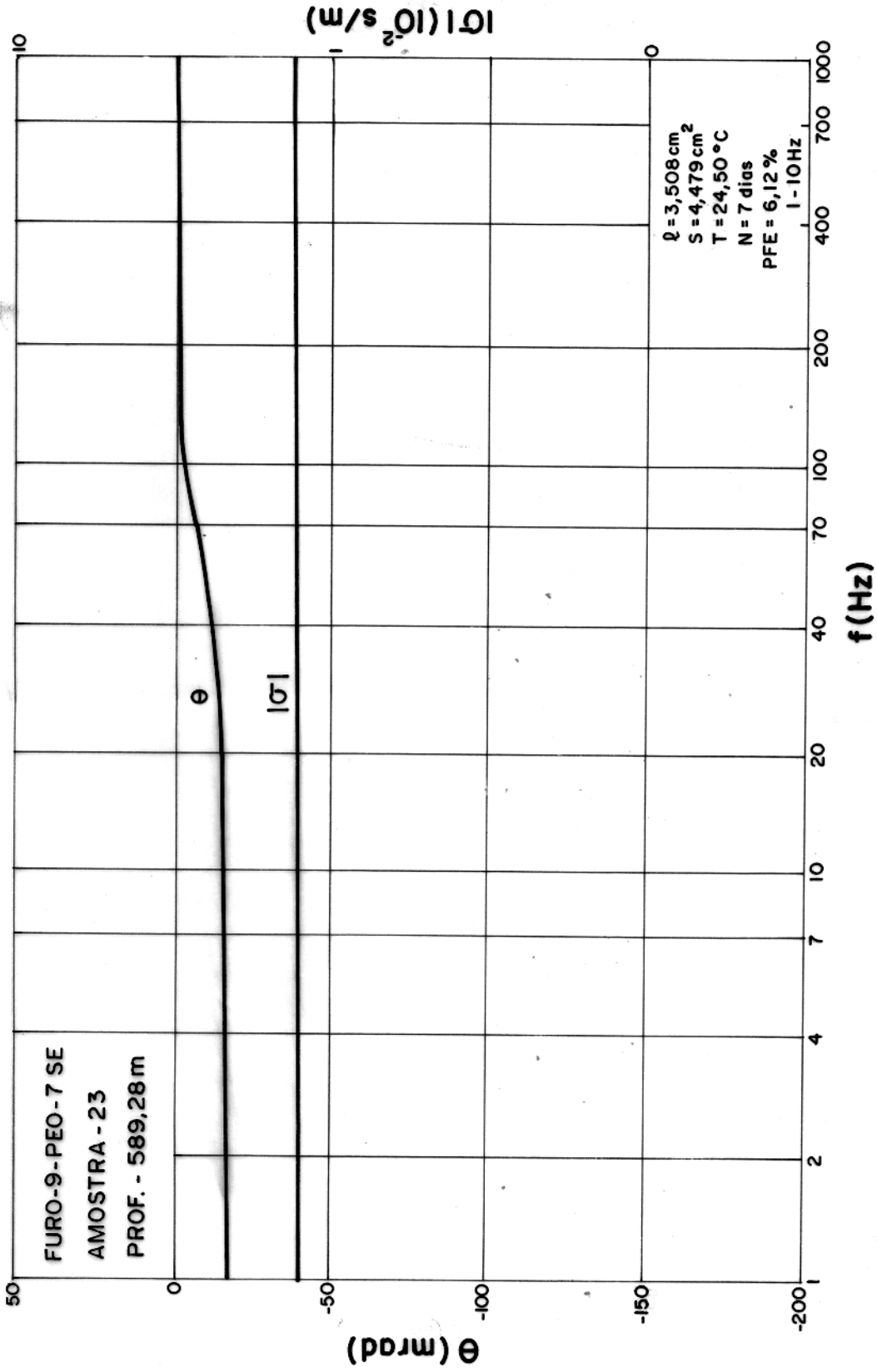
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



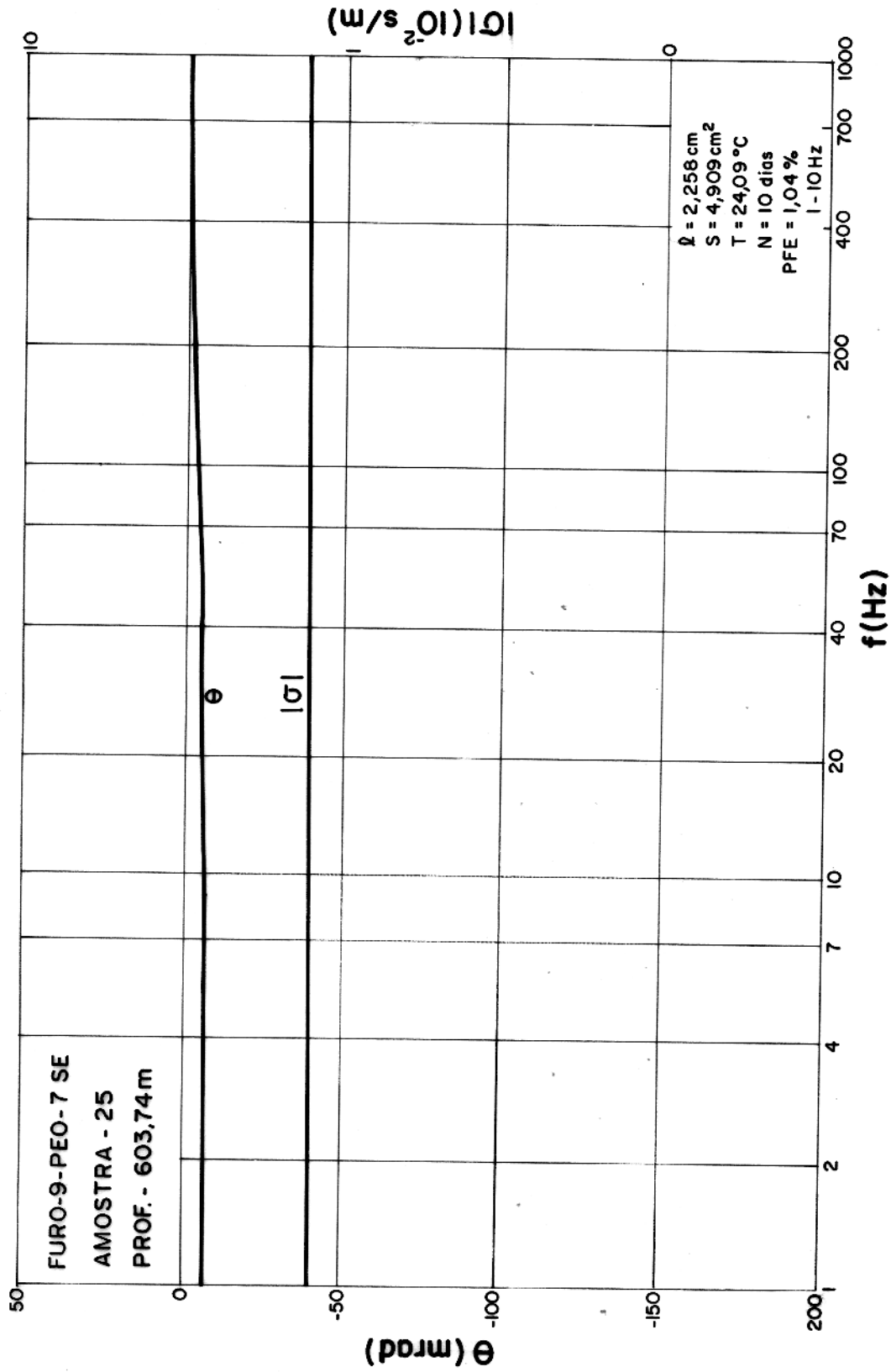
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



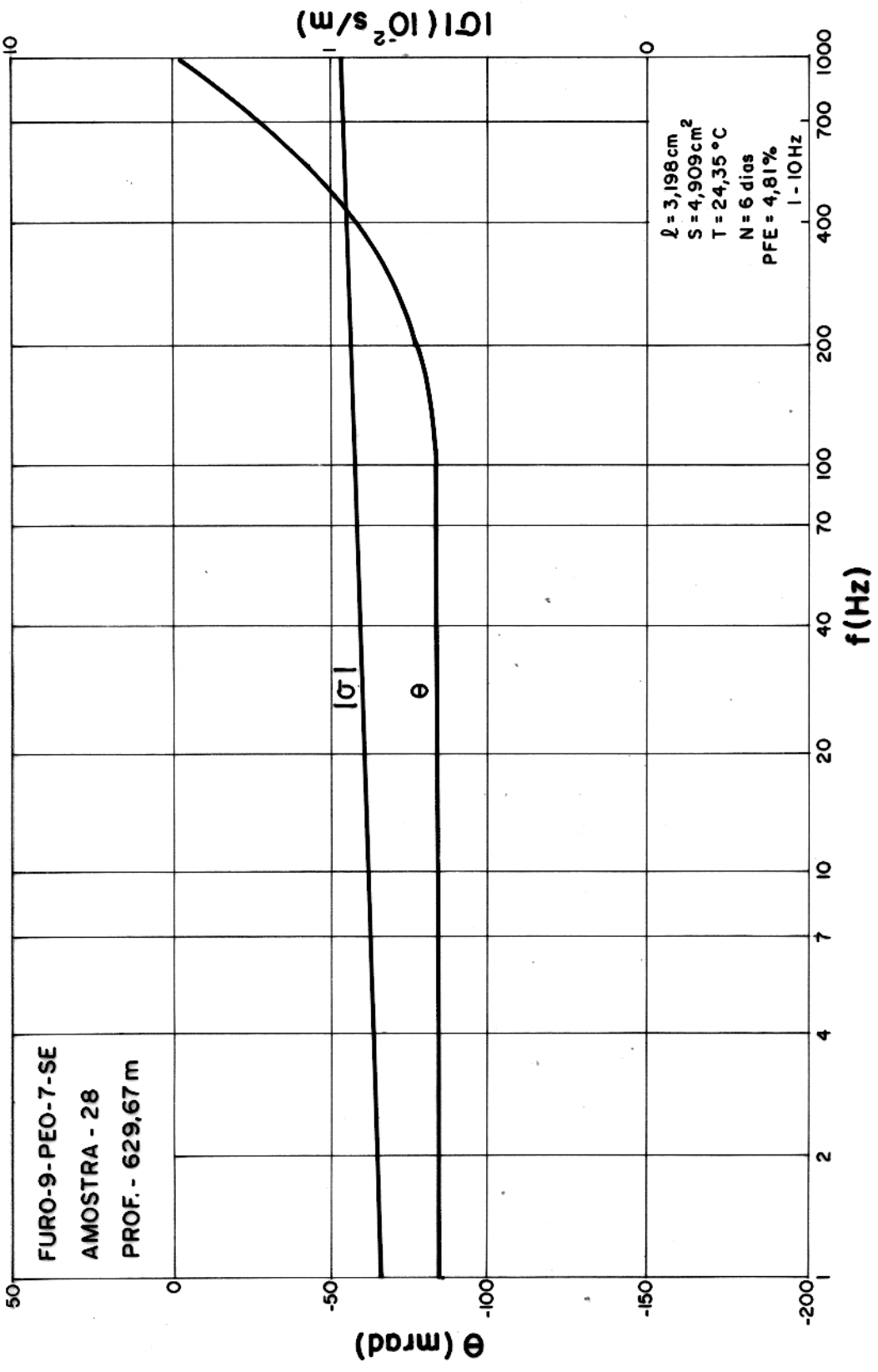
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



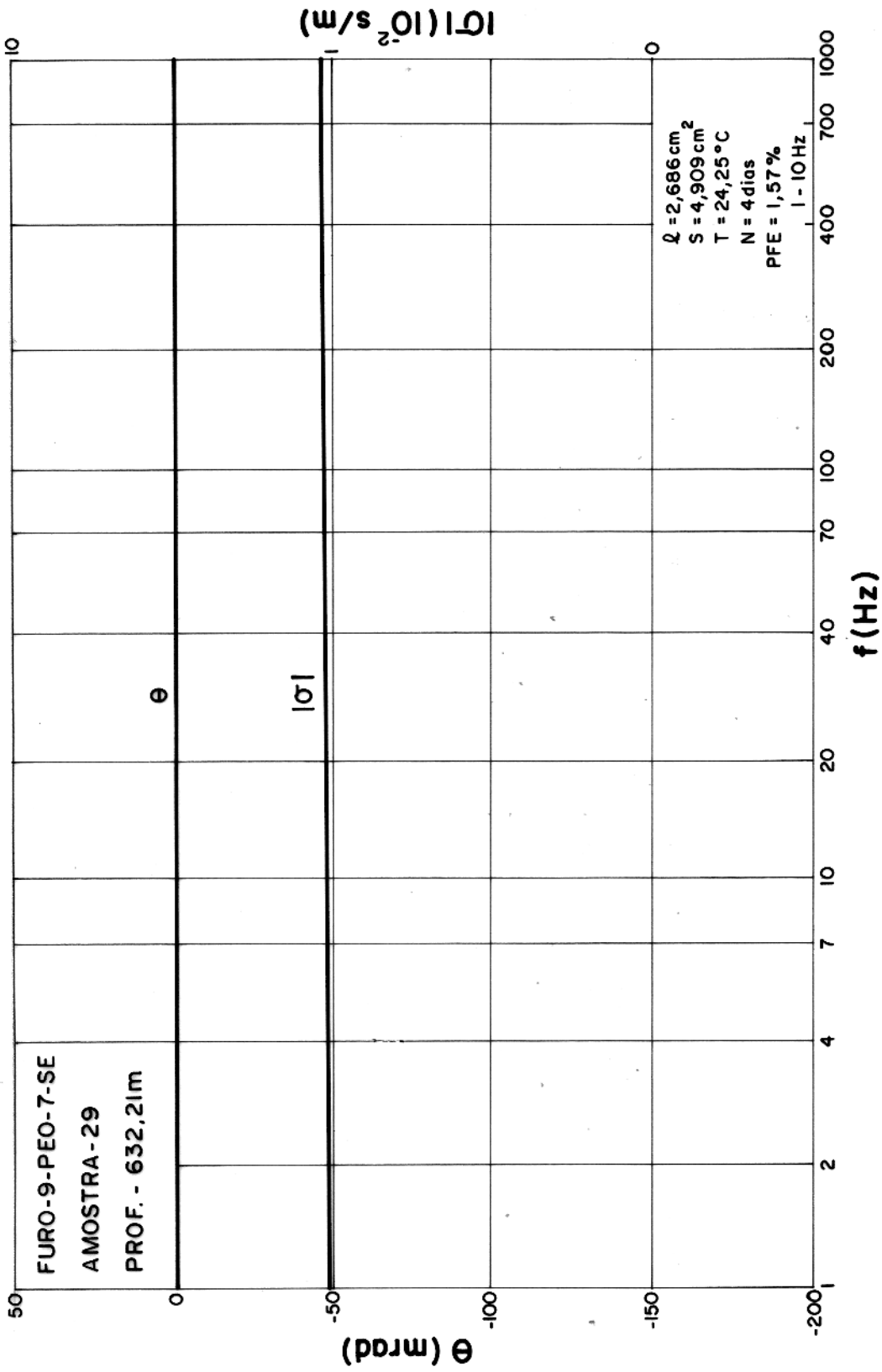
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



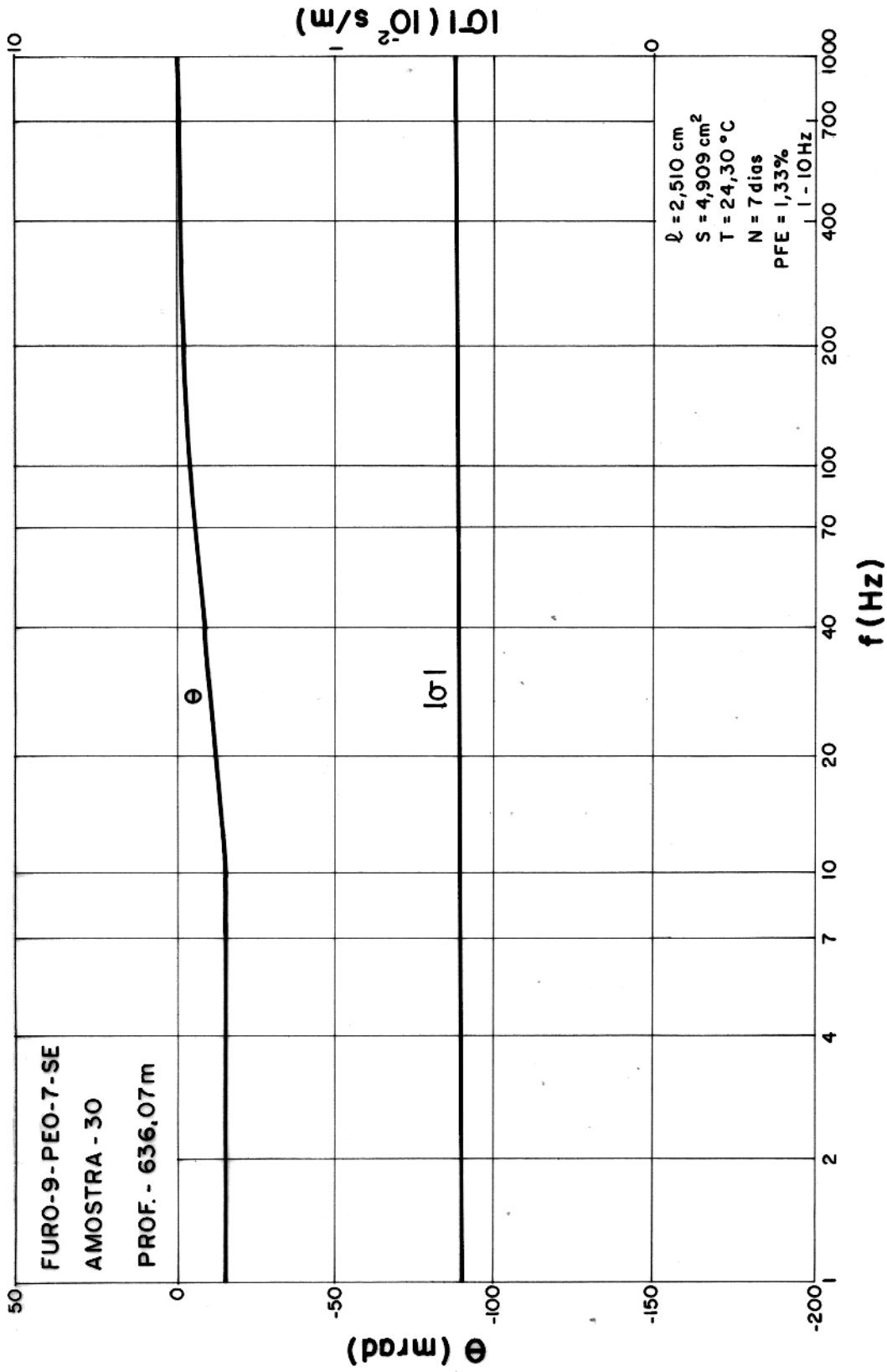
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



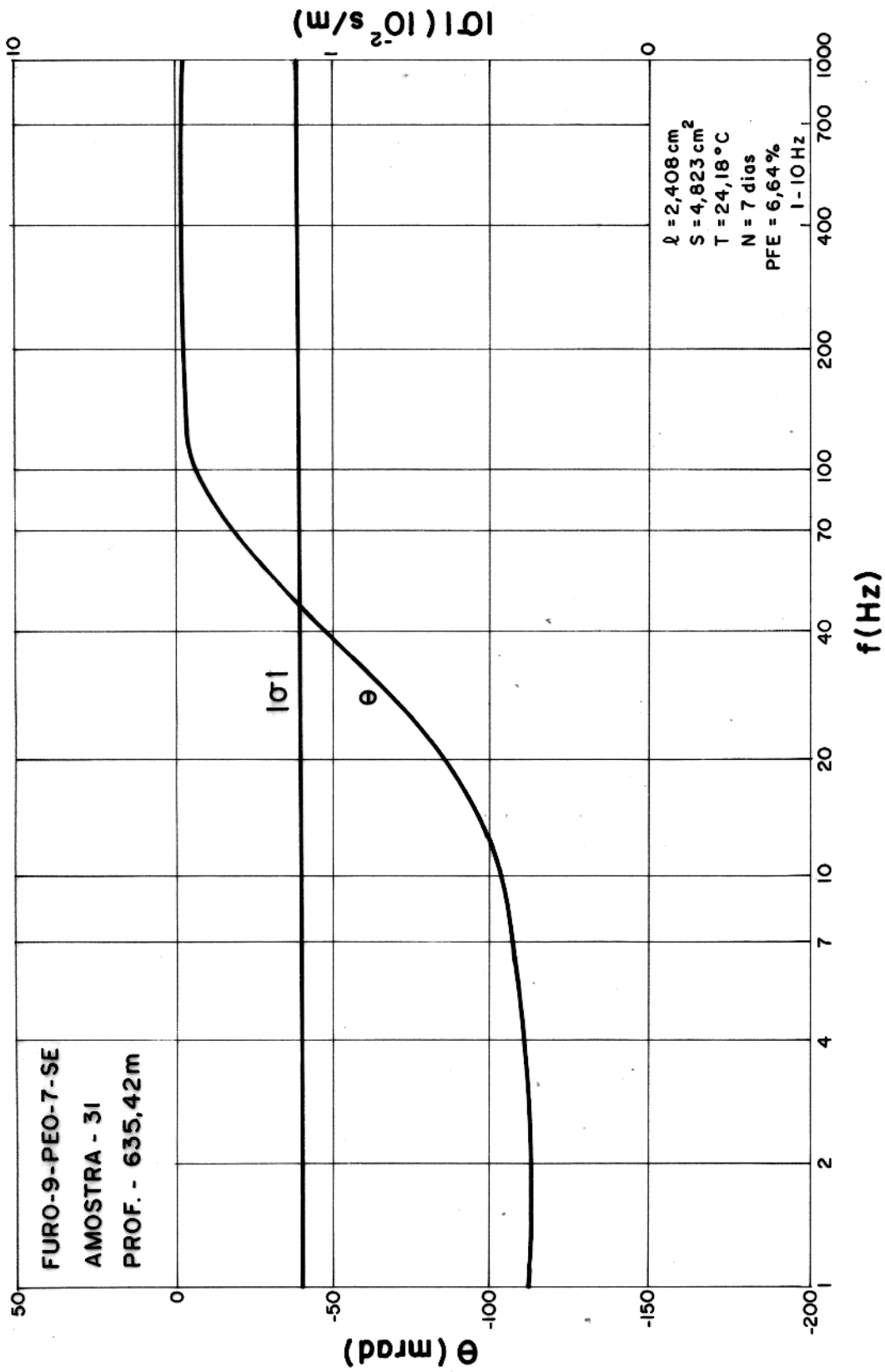
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



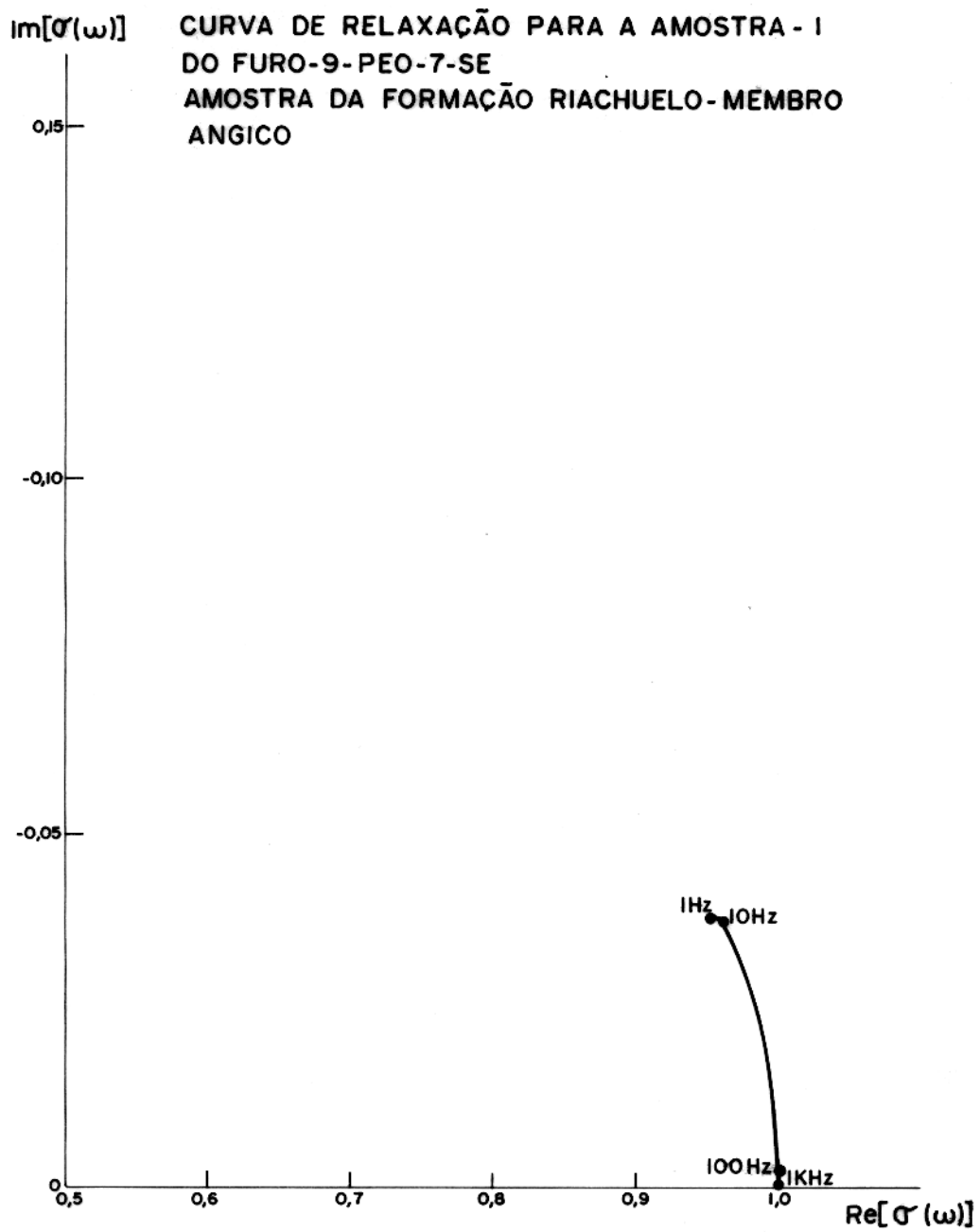
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA

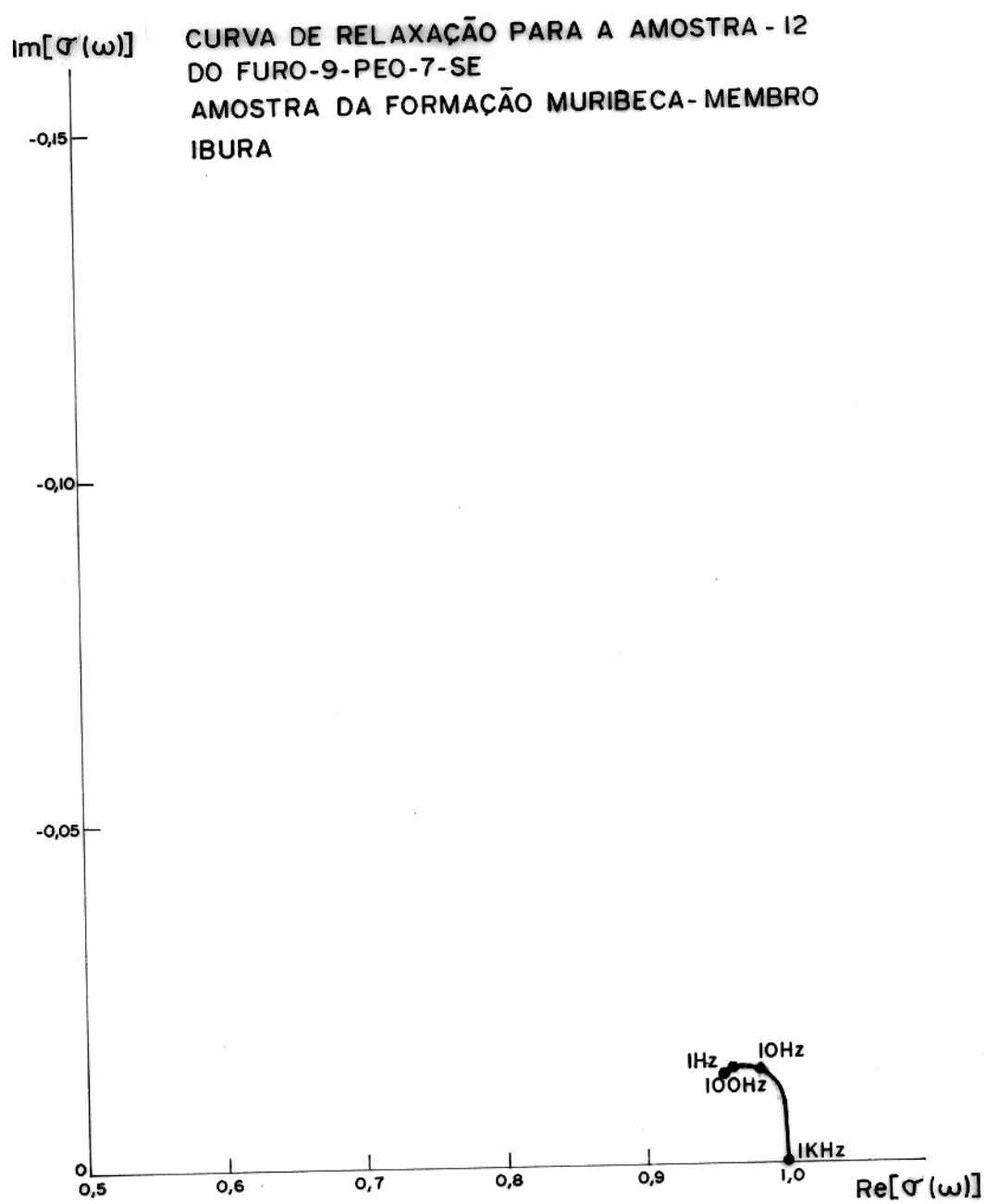


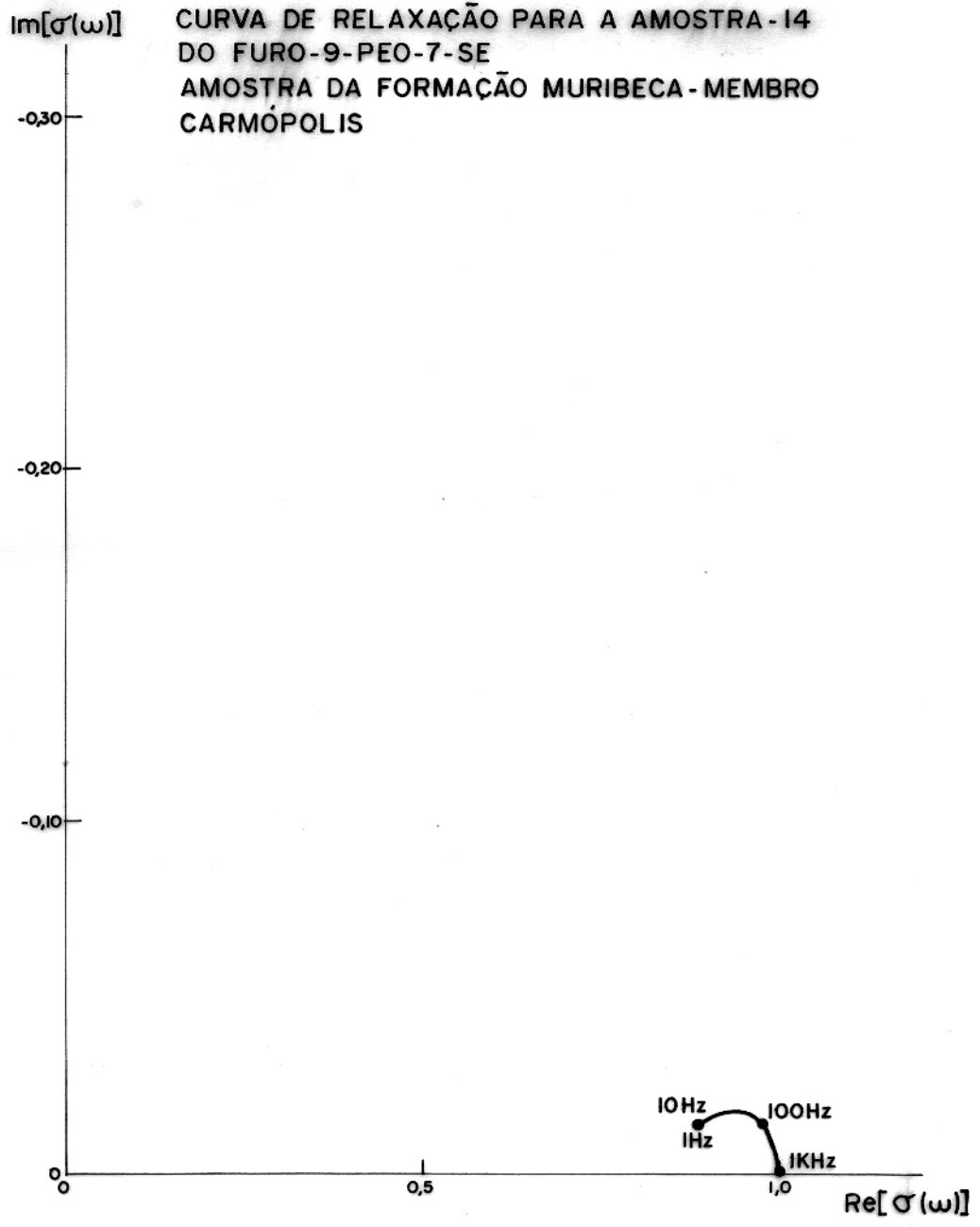
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA

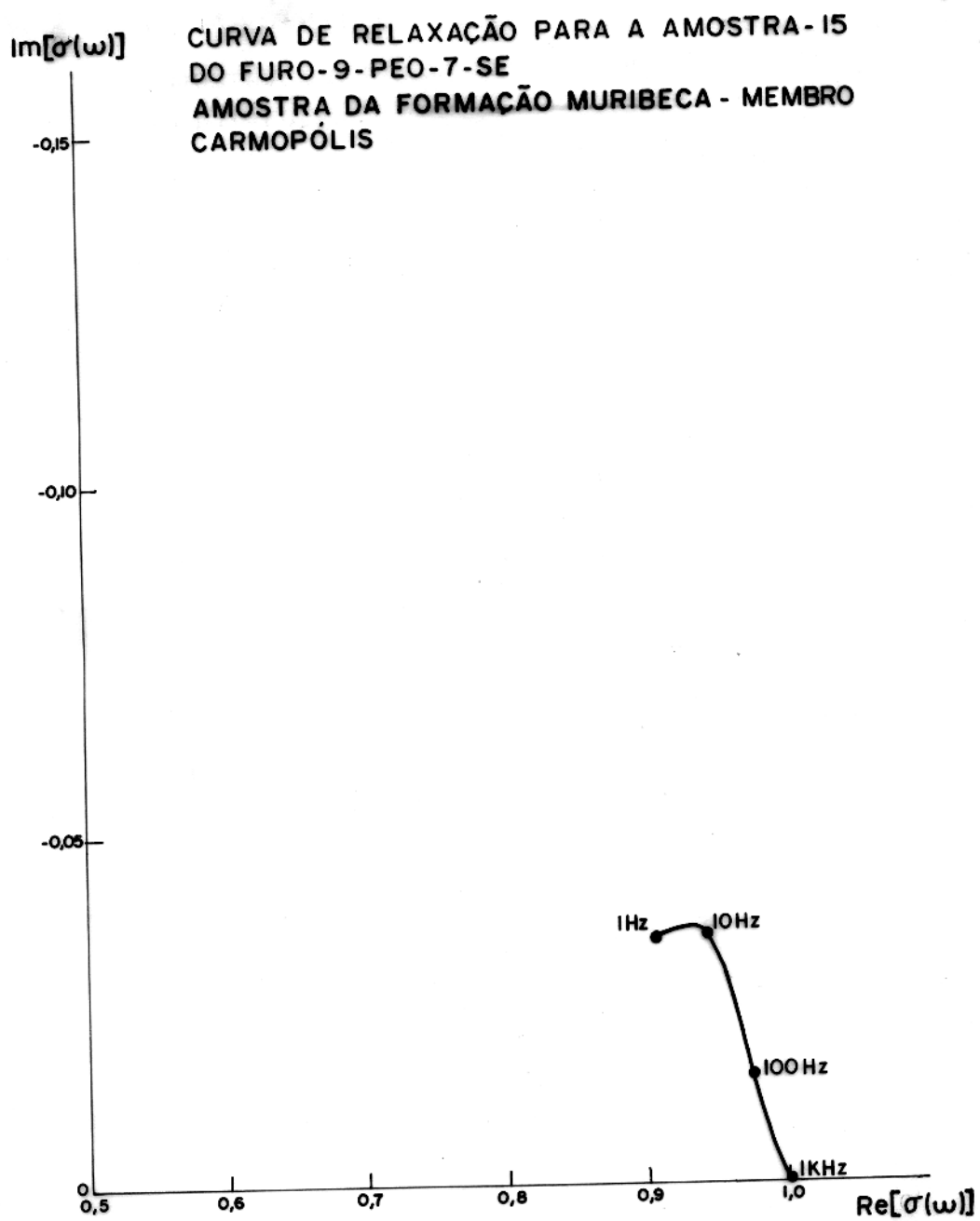
ANEXO 10

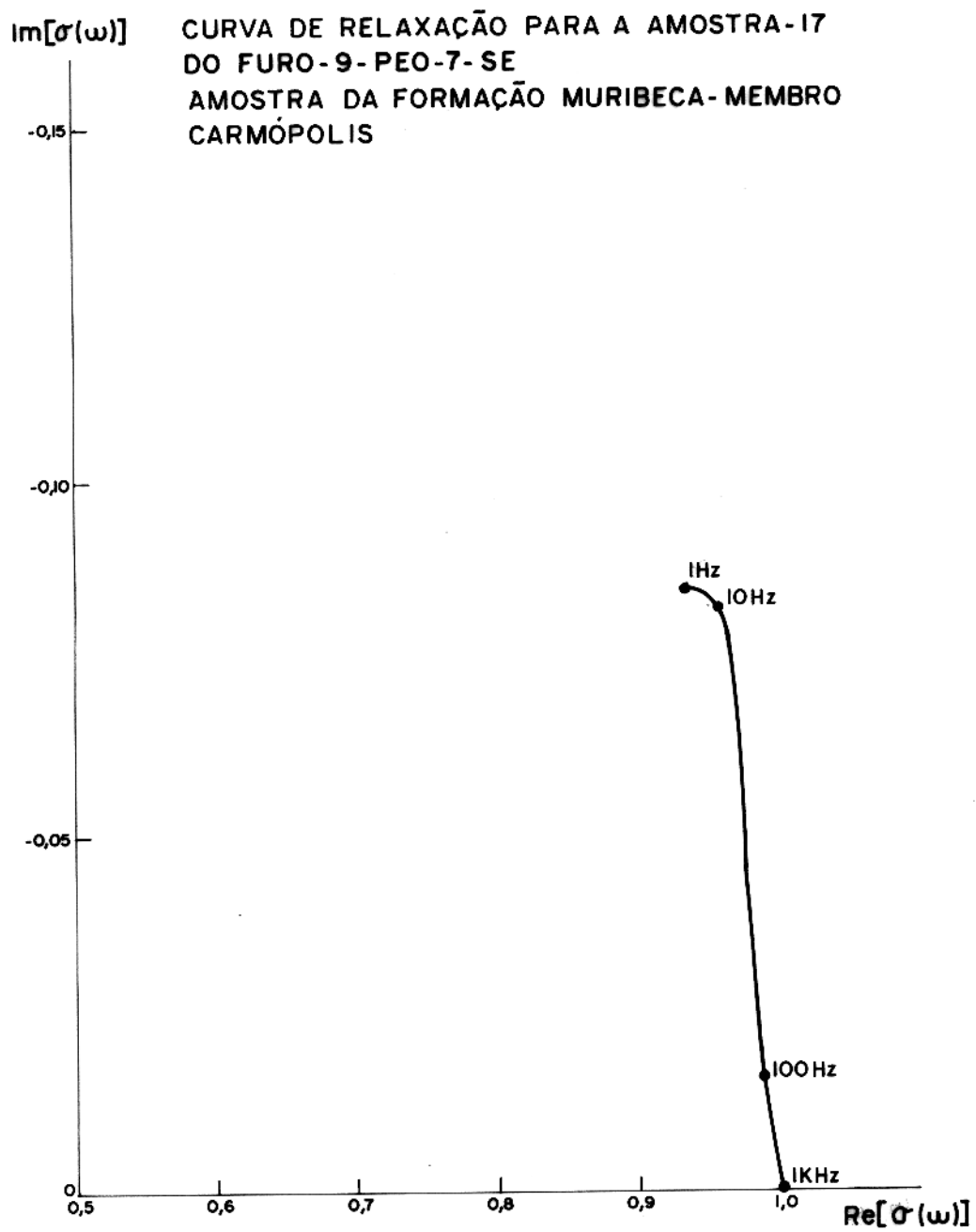
Curvas de relaxação tipo Cole-Cole para
as amostras do Furo- 9-PEO-7.SE.

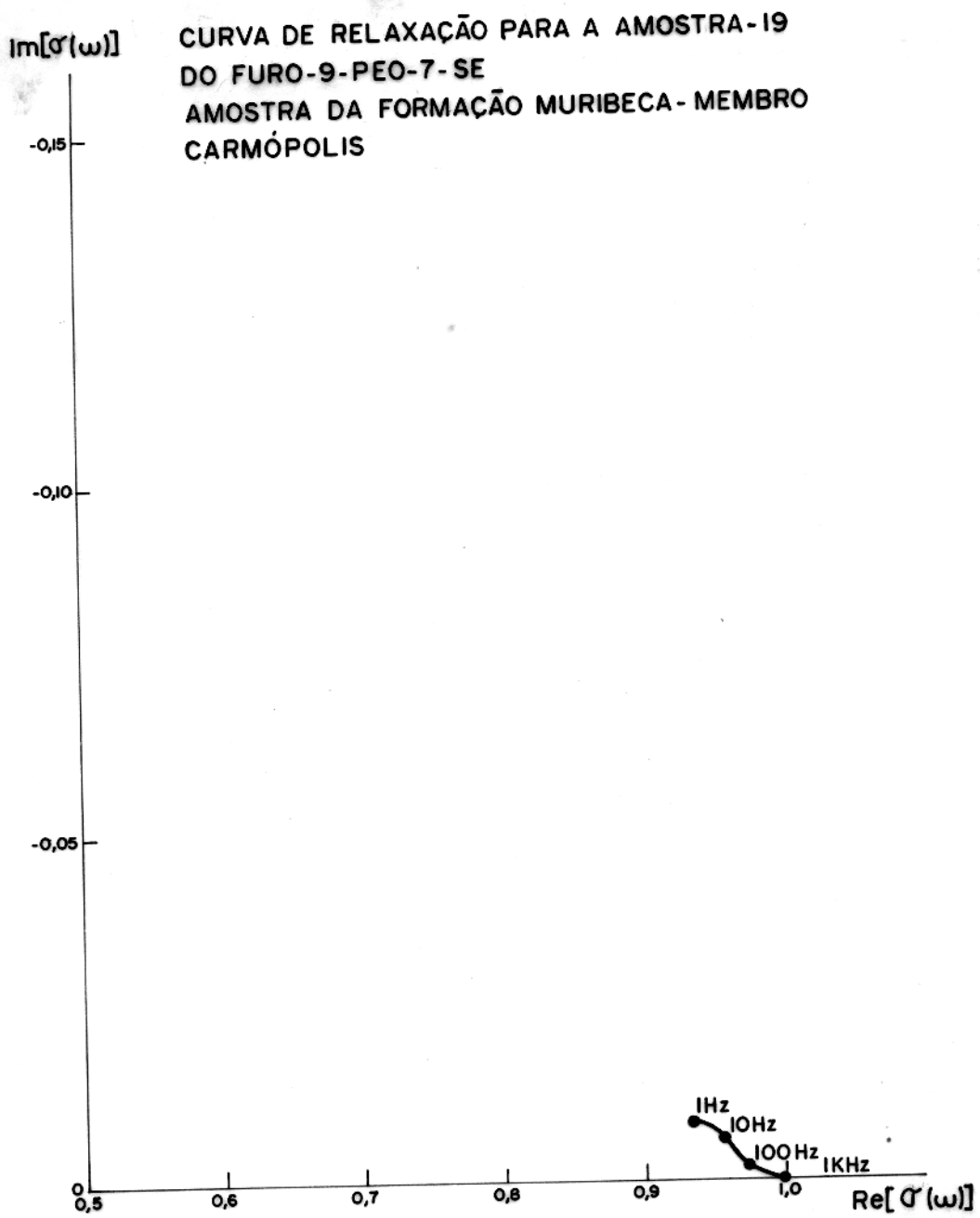


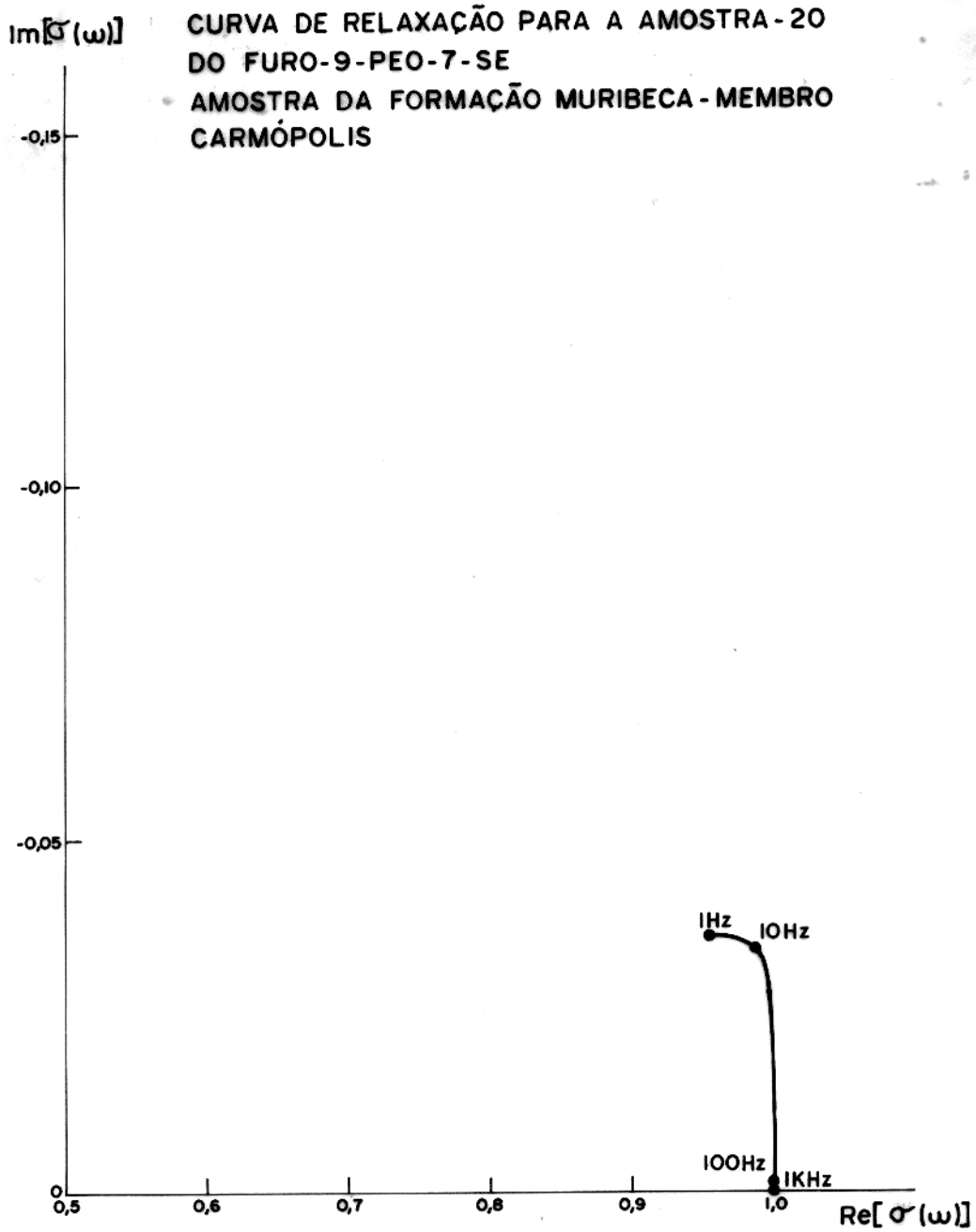


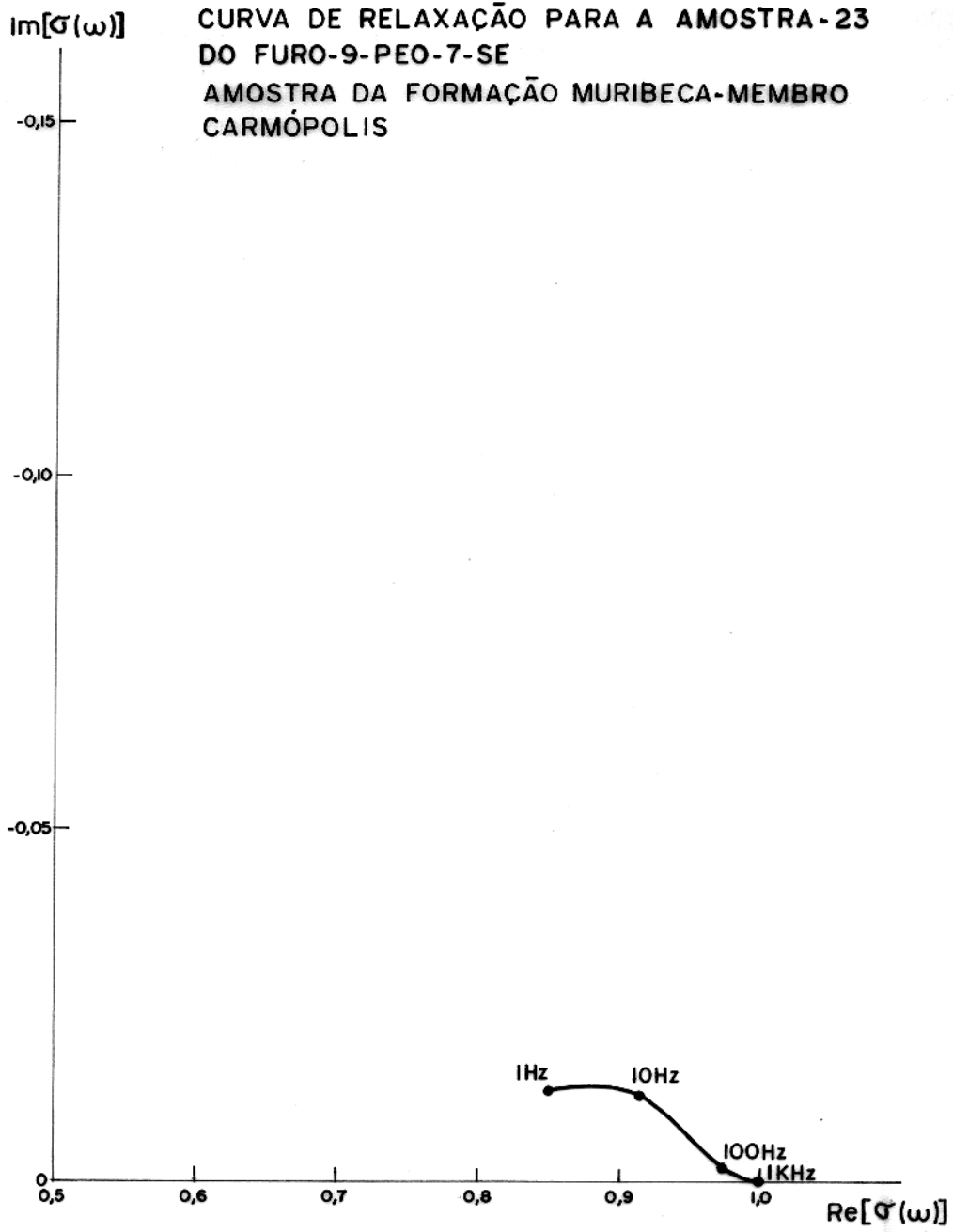


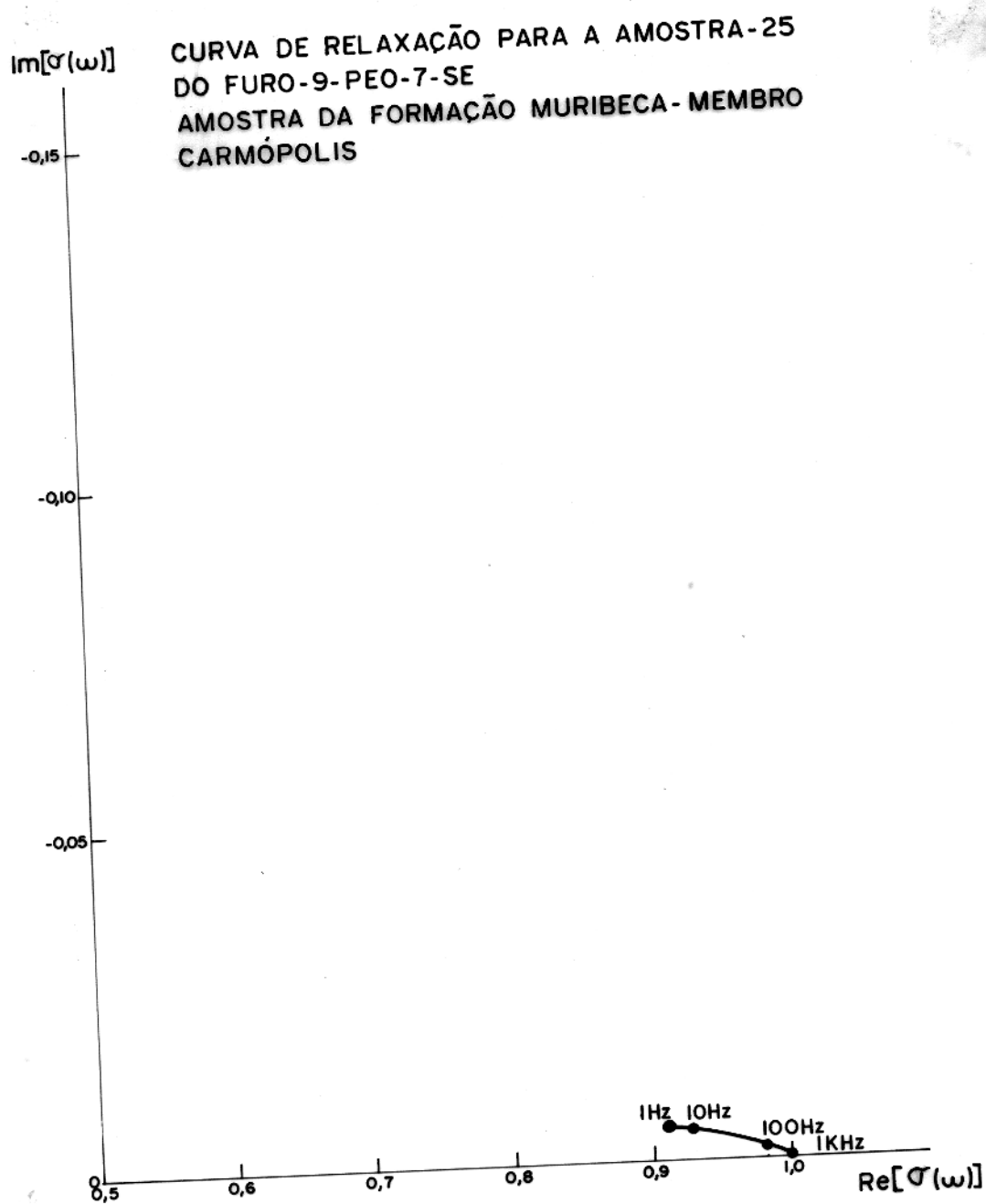


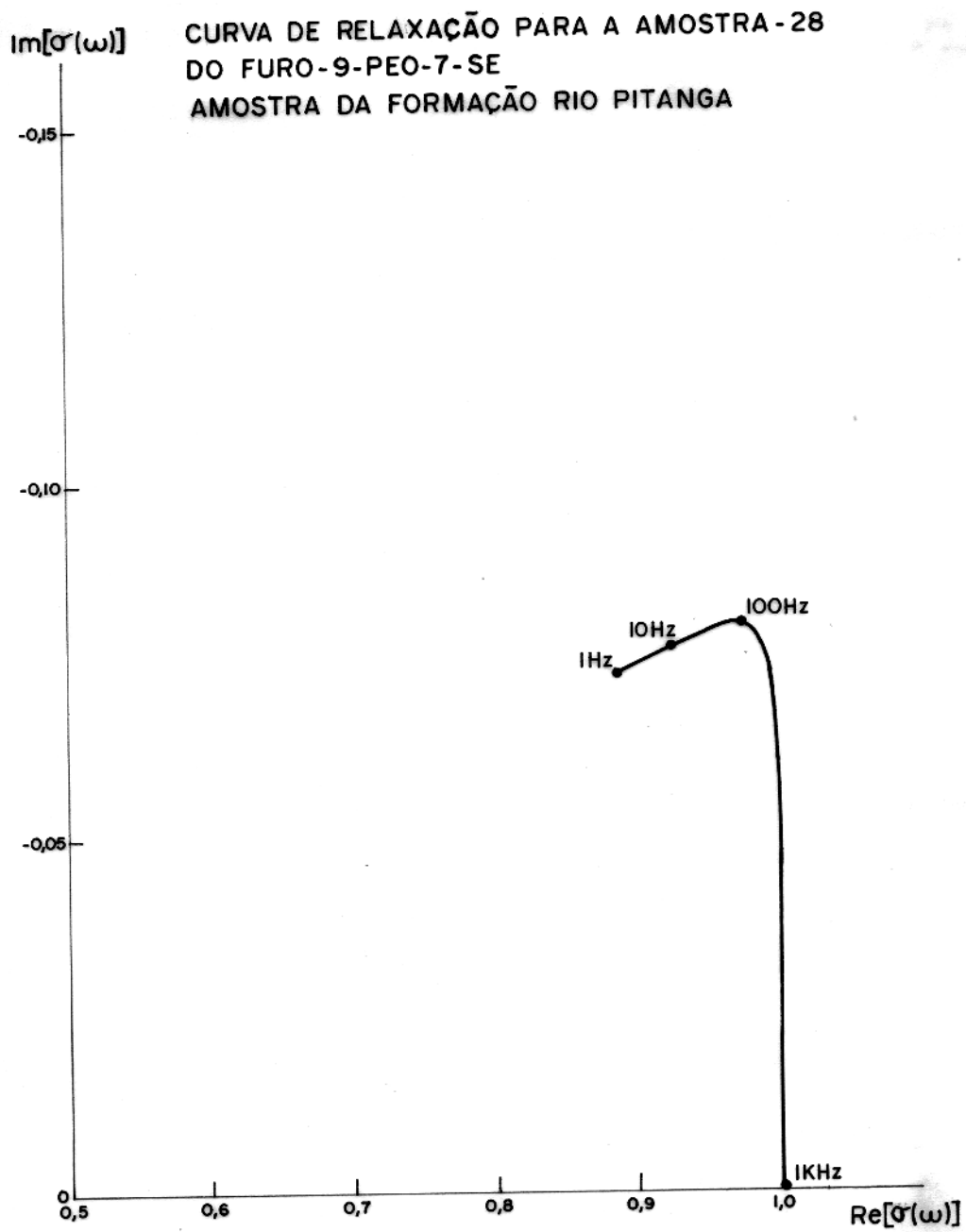












$Im[\sigma(\omega)]$

CURVA DE RELAXAÇÃO PARA A AMOSTRA-30
DO FURO-9-PEO-7-SE
AMOSTRA DA FORMAÇÃO RIO PITANGA

-0,15

-0,10

-0,05

0

0,5

0,6

0,7

0,8

0,9

1,0

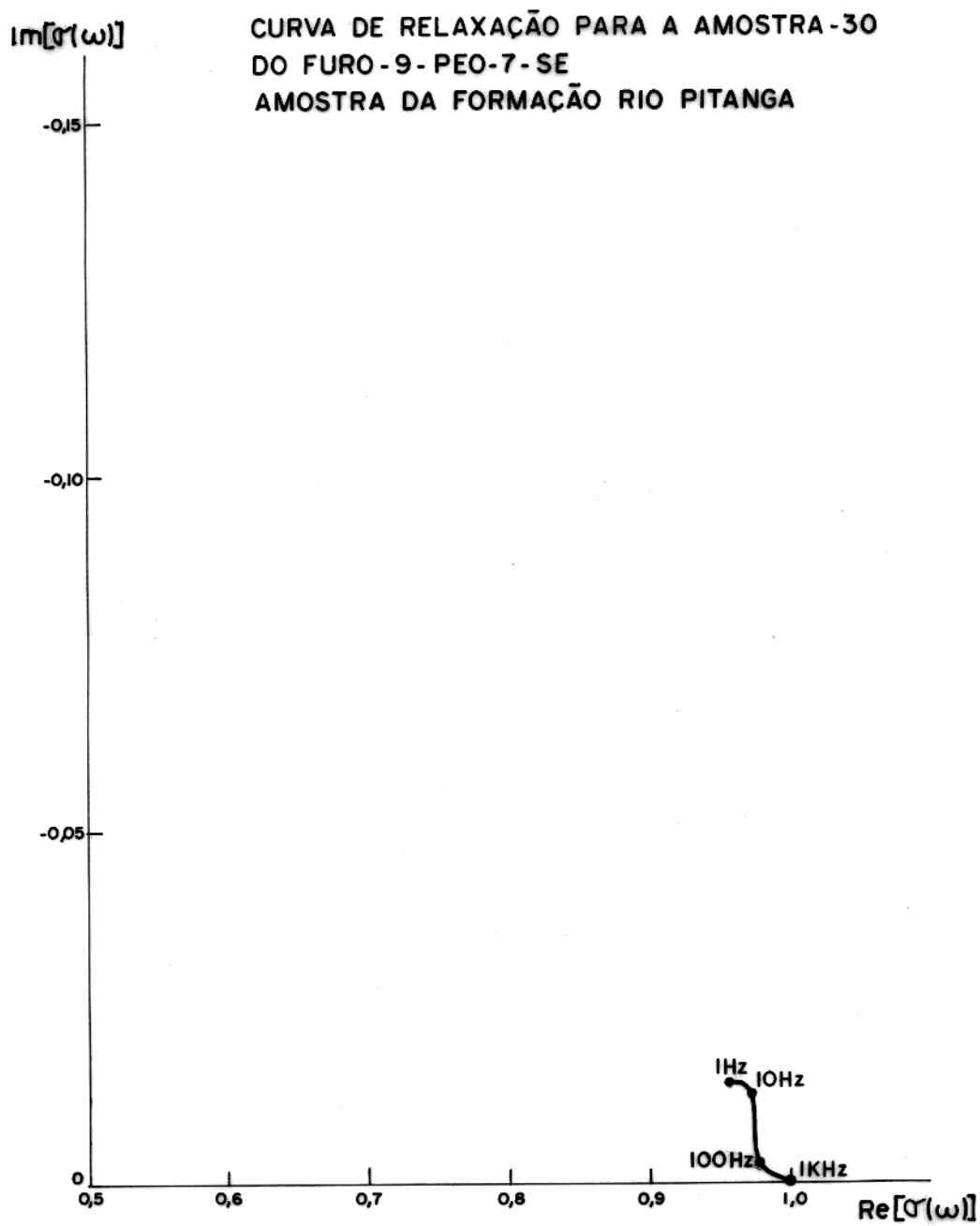
 $Re[\sigma(\omega)]$

1Hz

10Hz

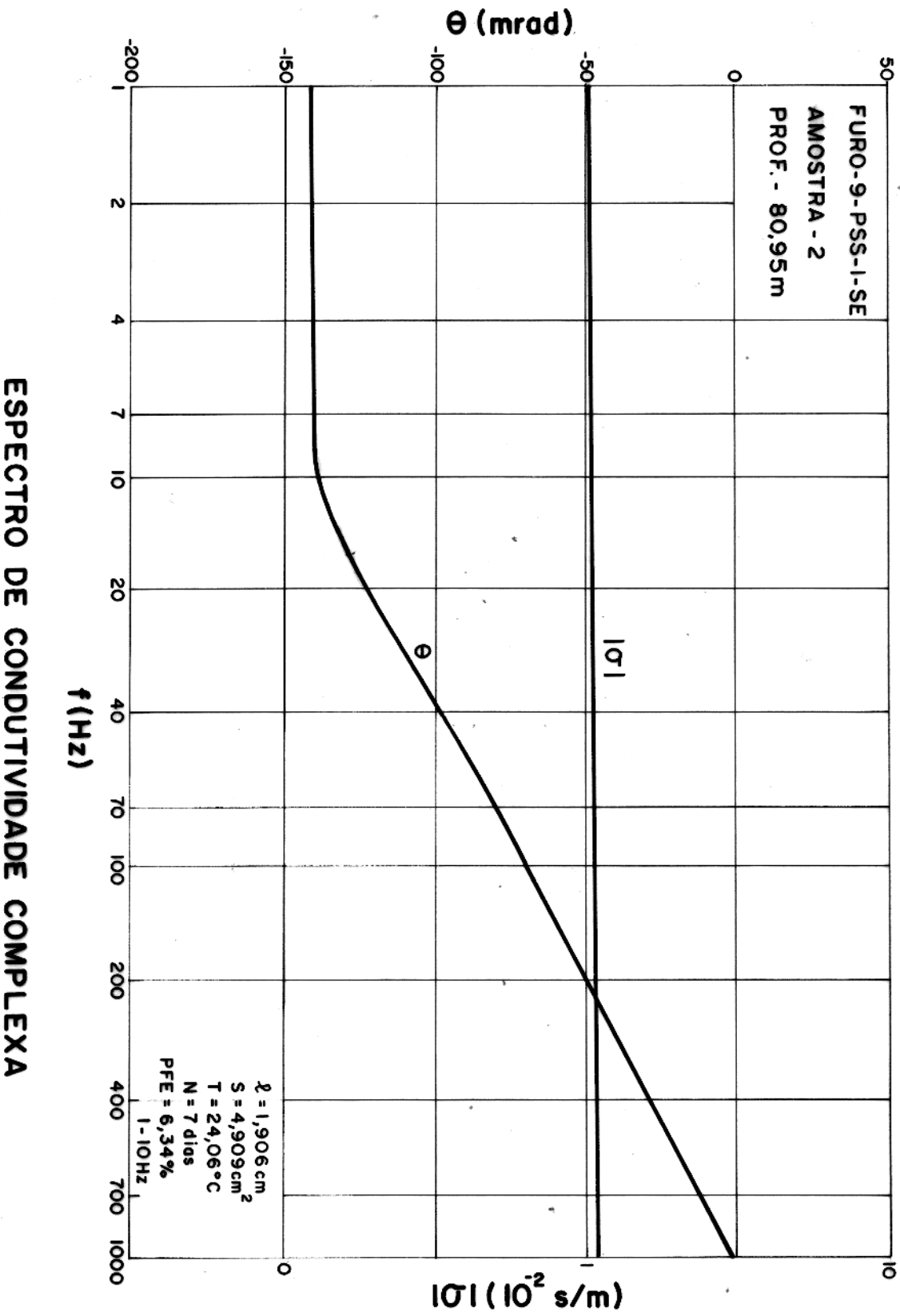
100Hz

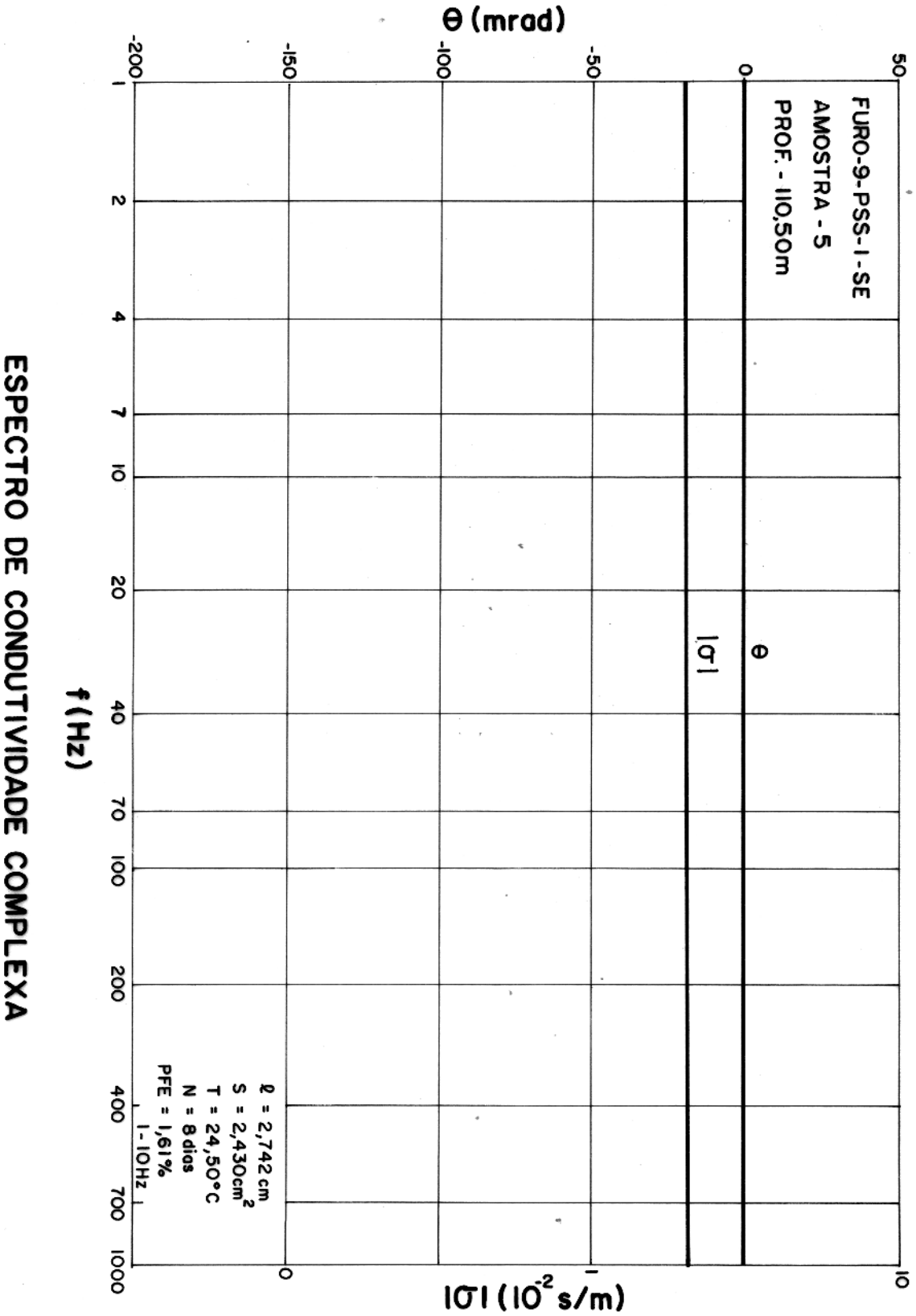
1KHz

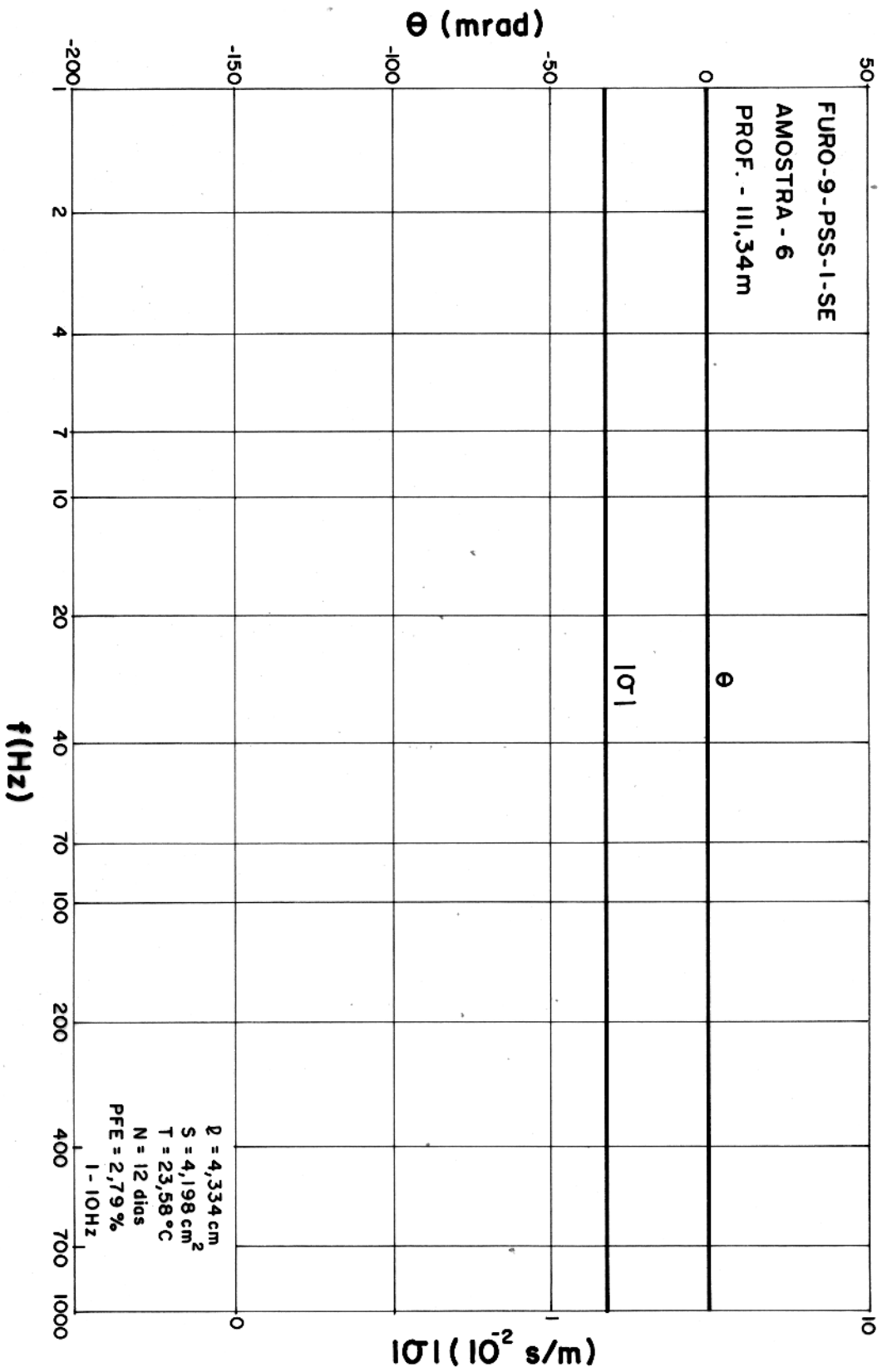


ANEXO 11

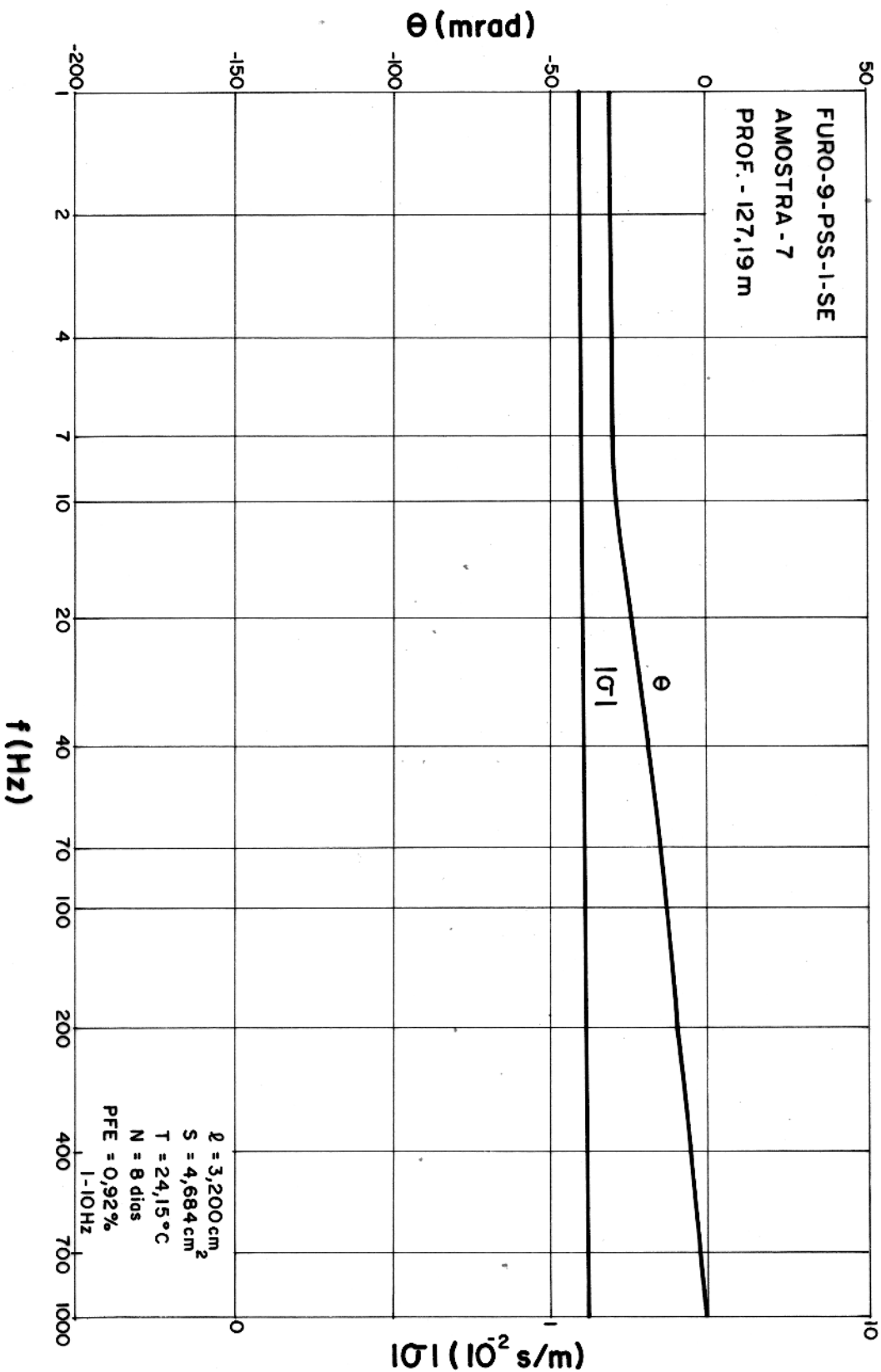
Espectros de amplitude e fase da condutivi
dade complexa para as amostras do Furo- 9-
PSS-1-SE



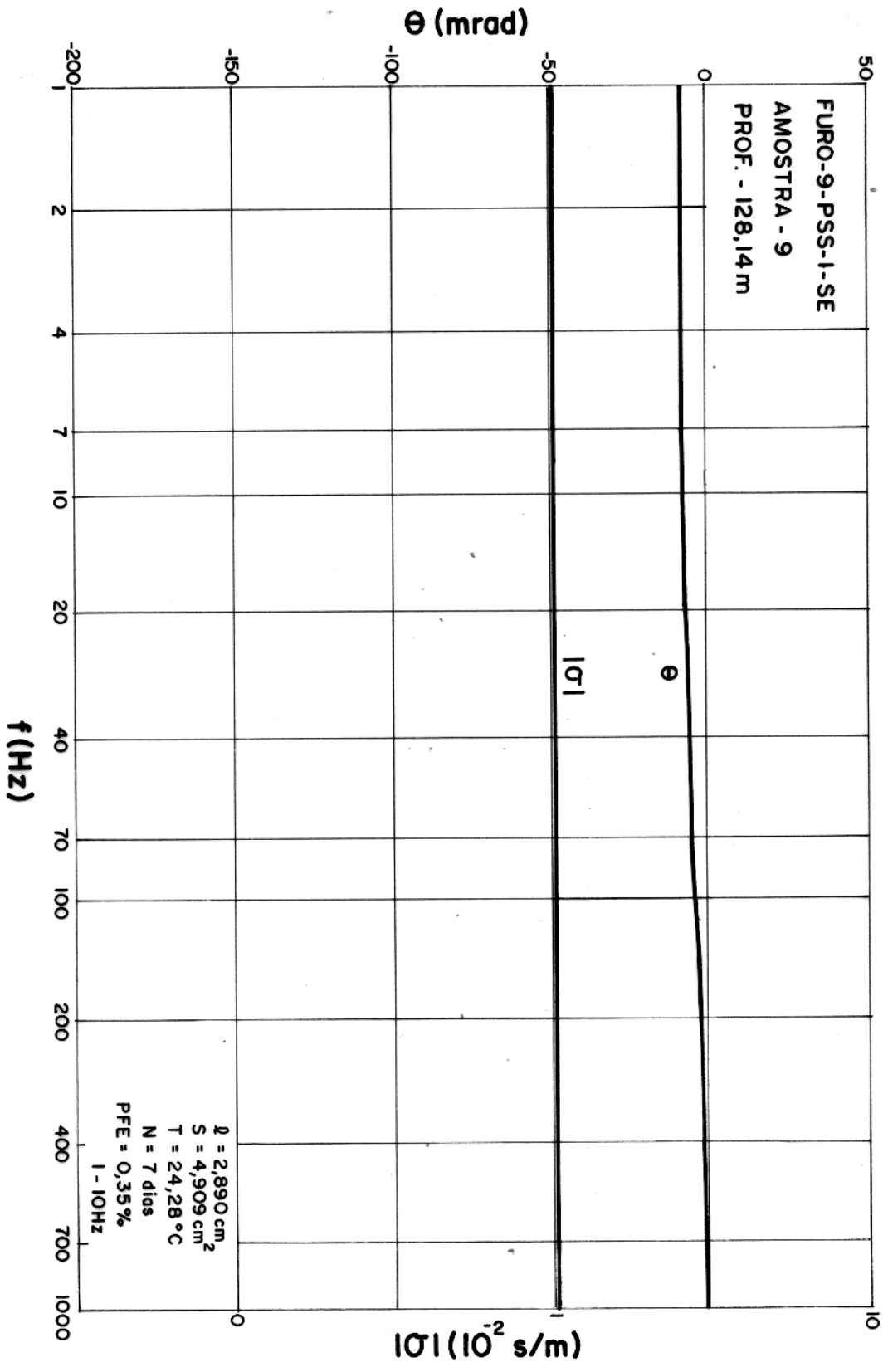




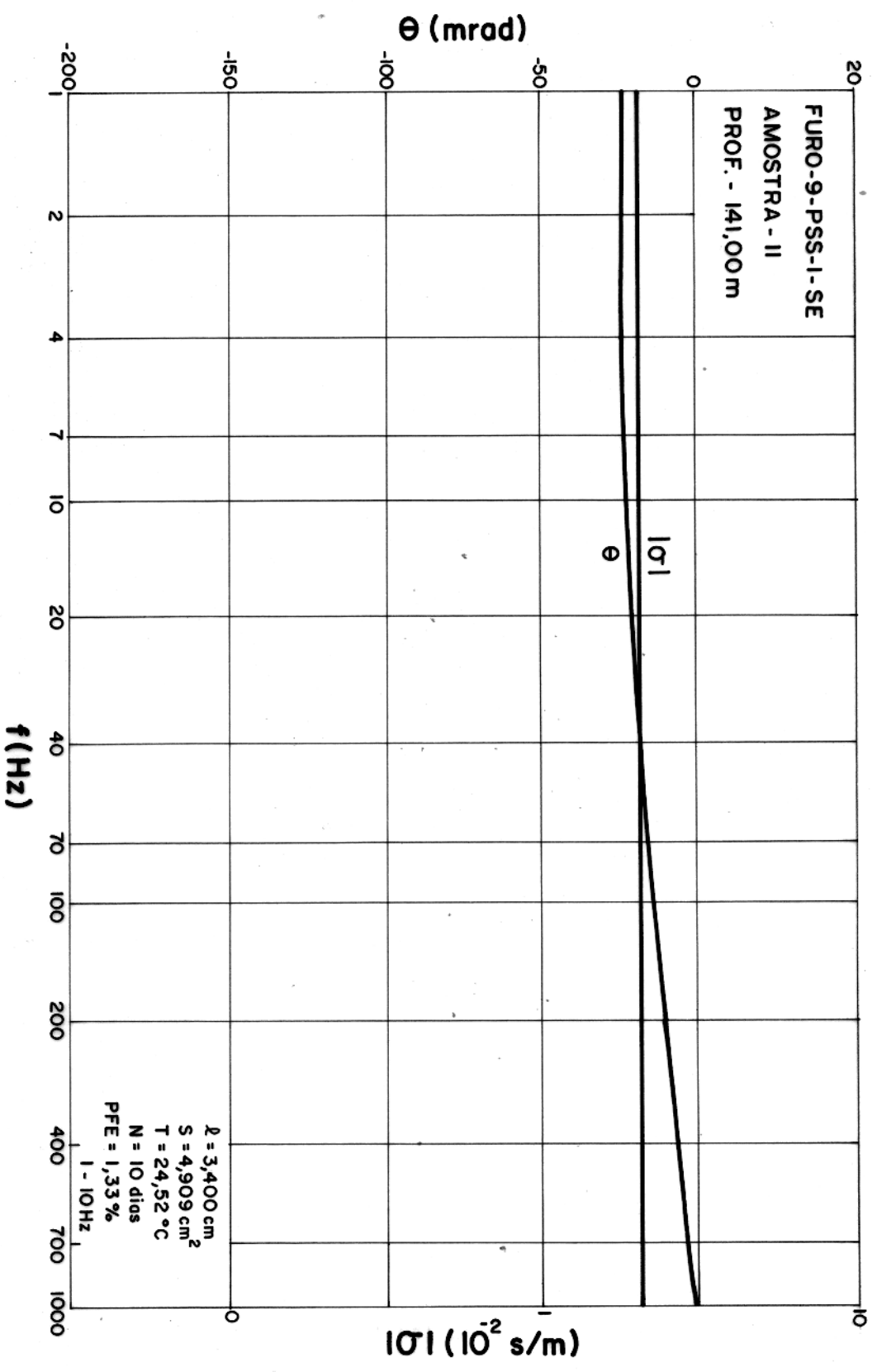
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



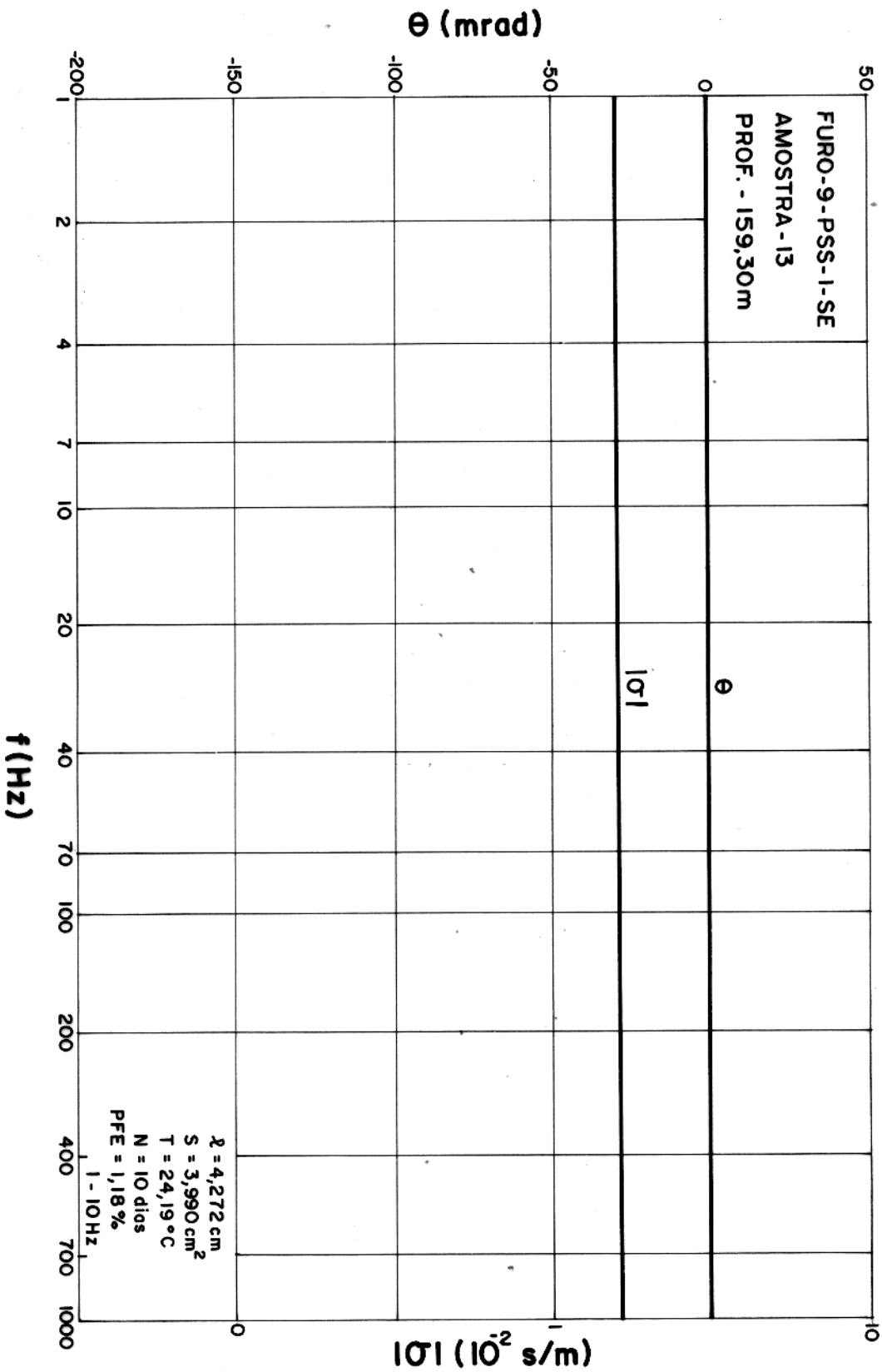
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



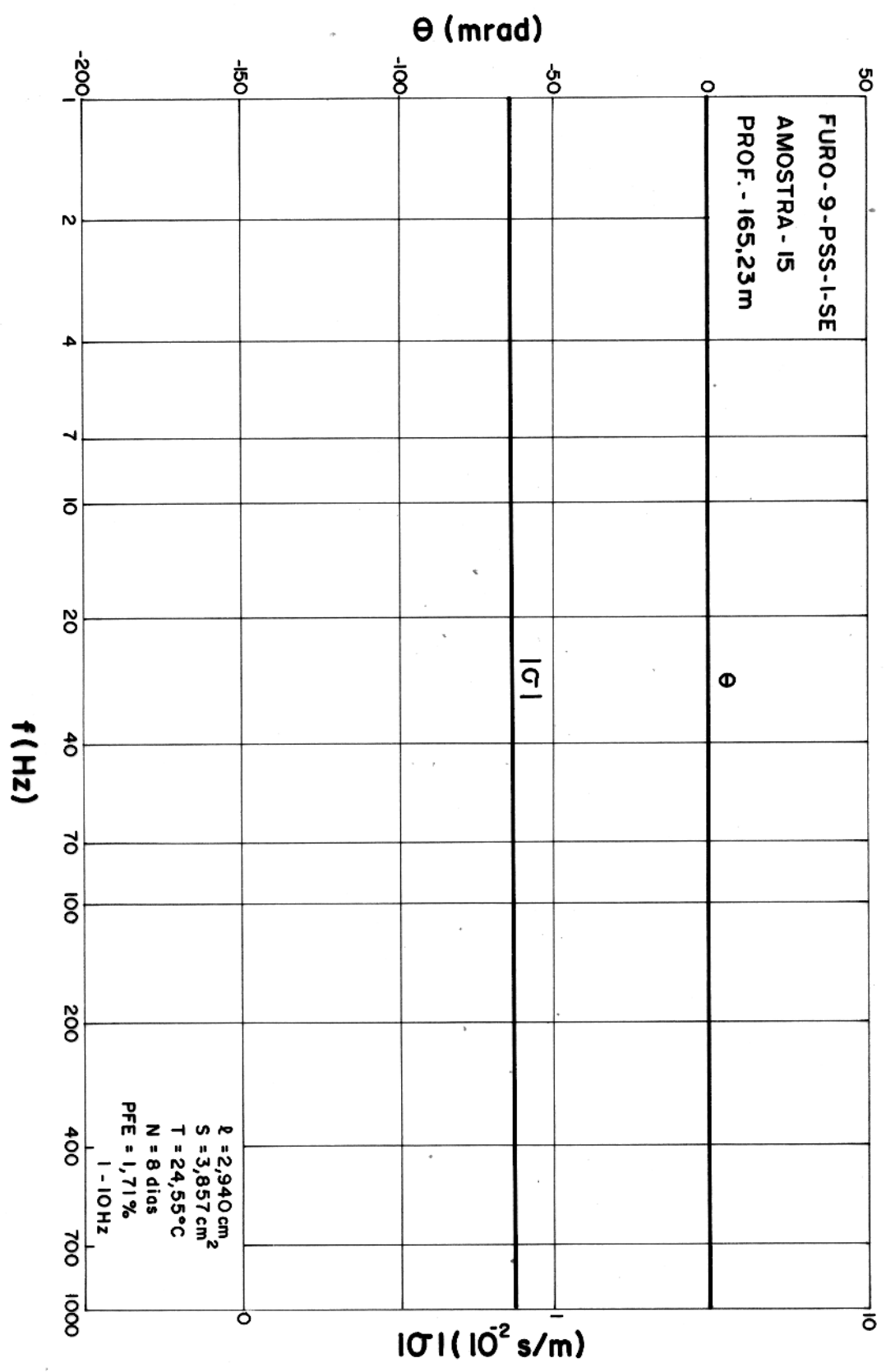
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



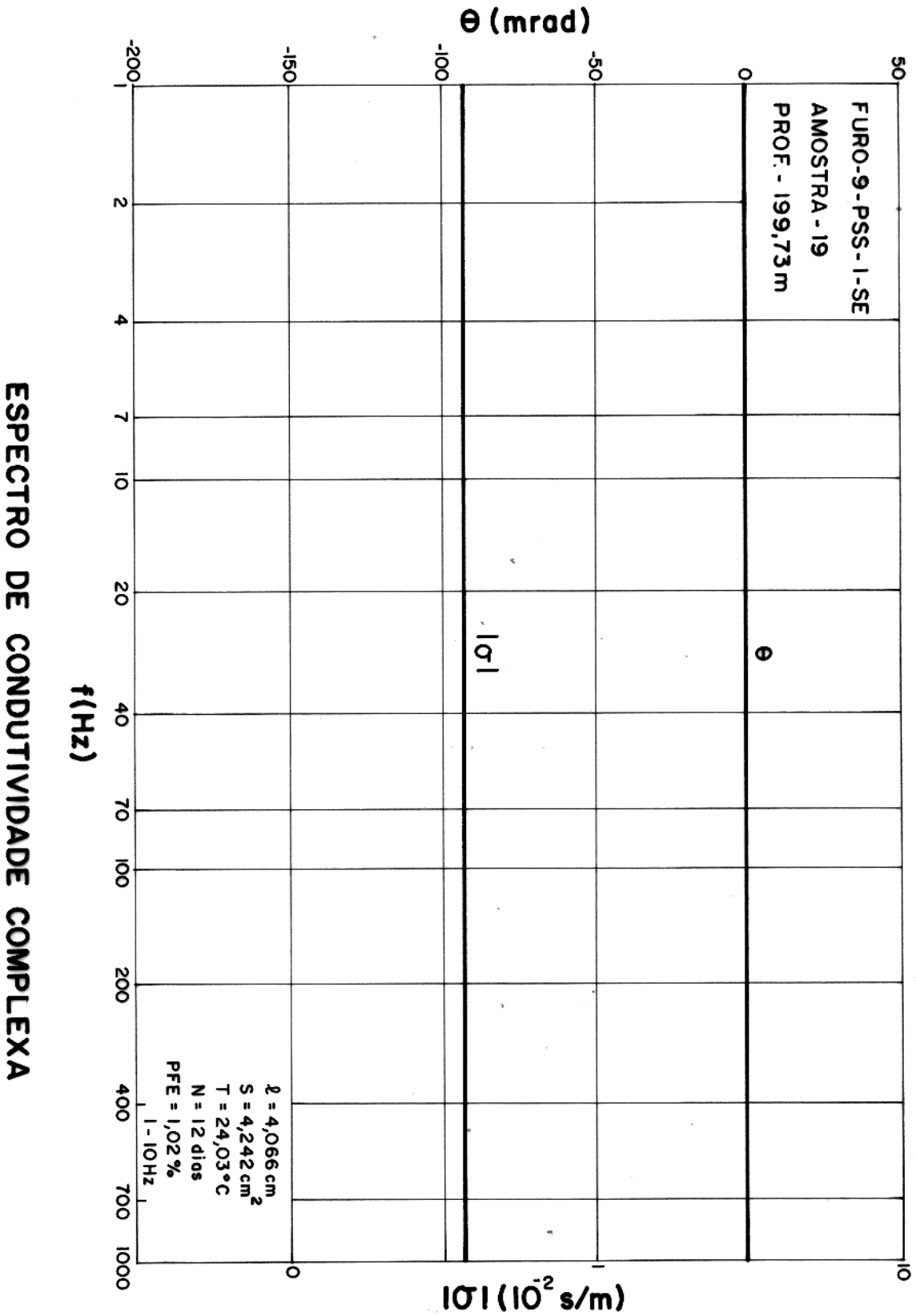
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA

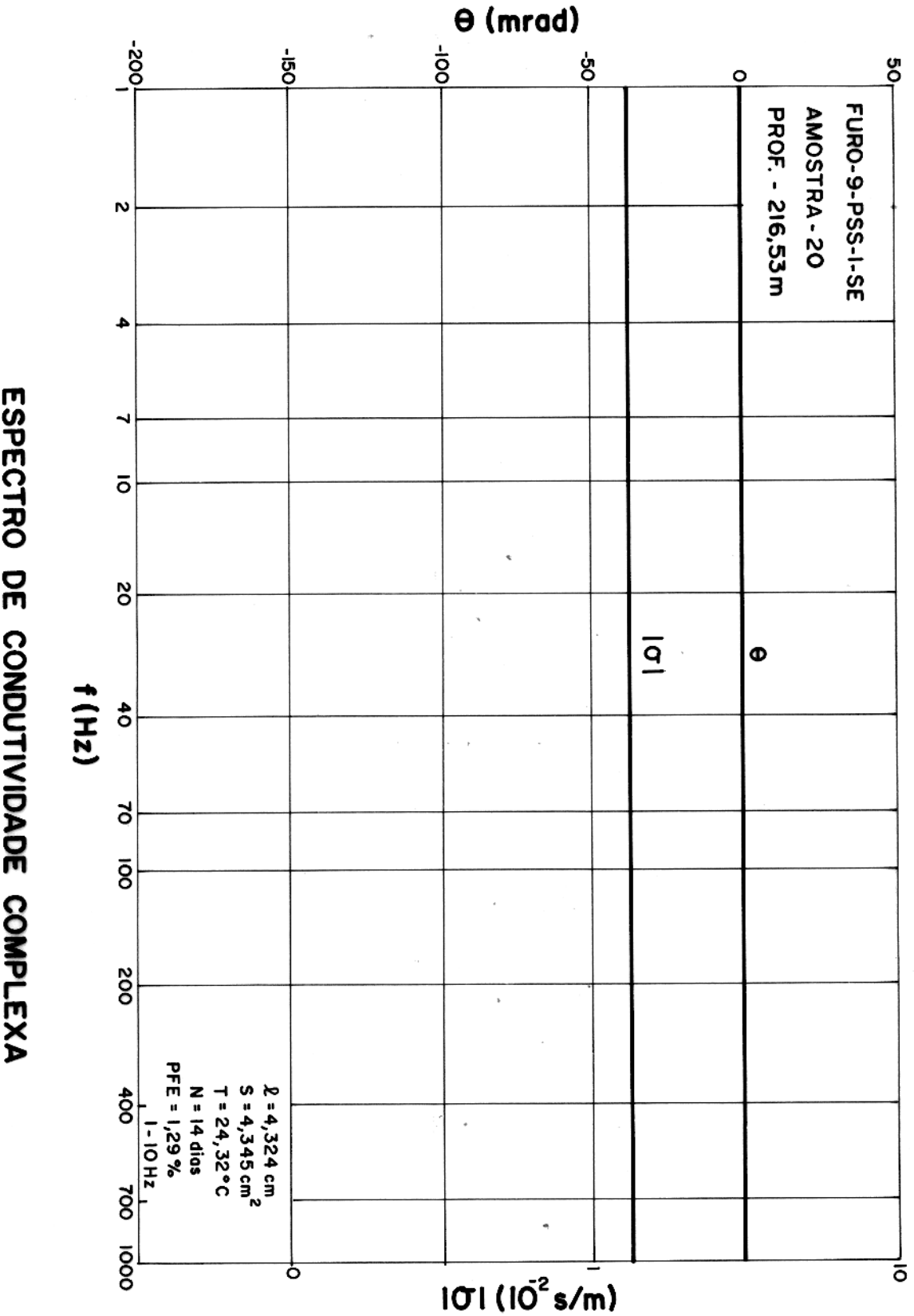


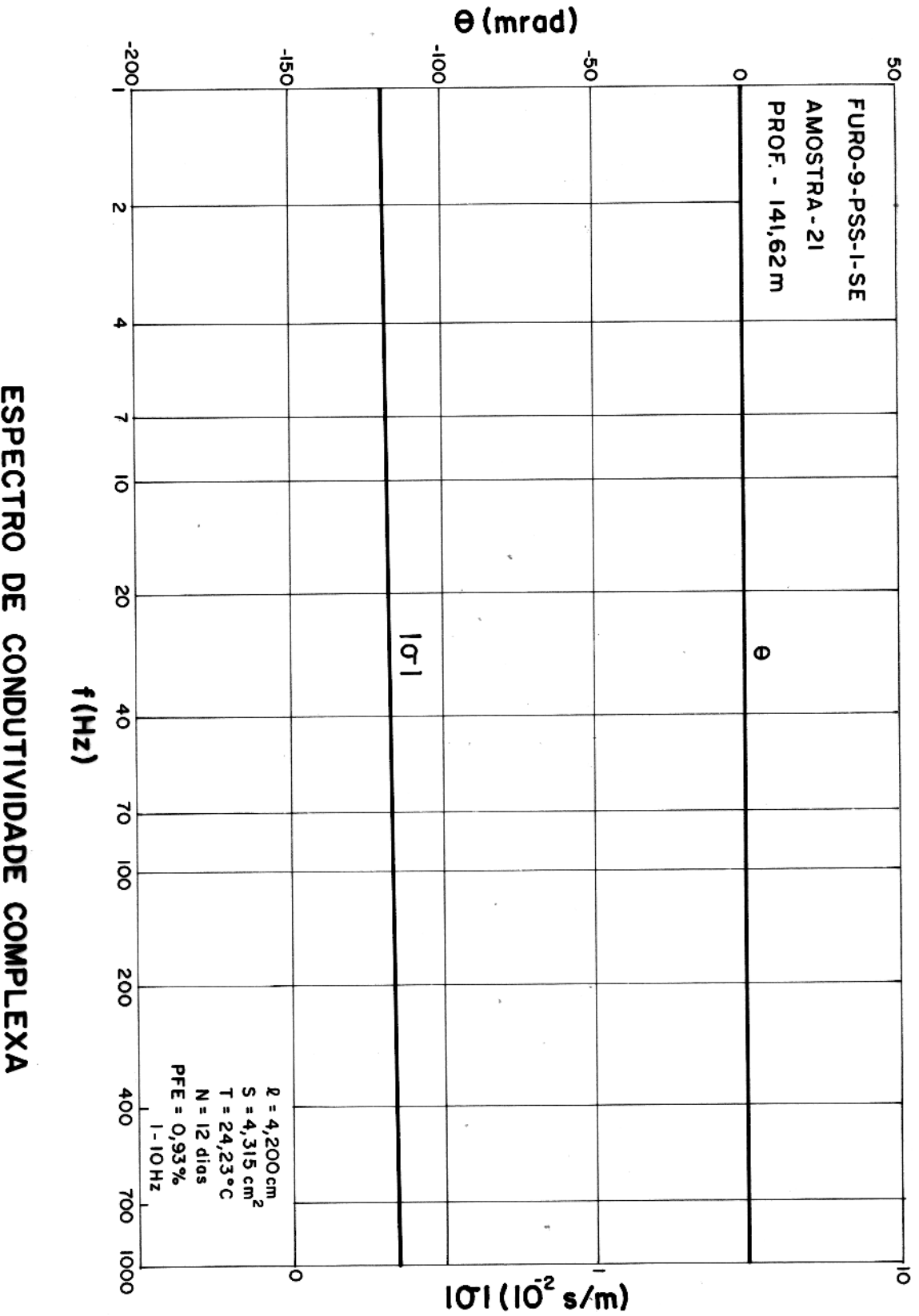
ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA

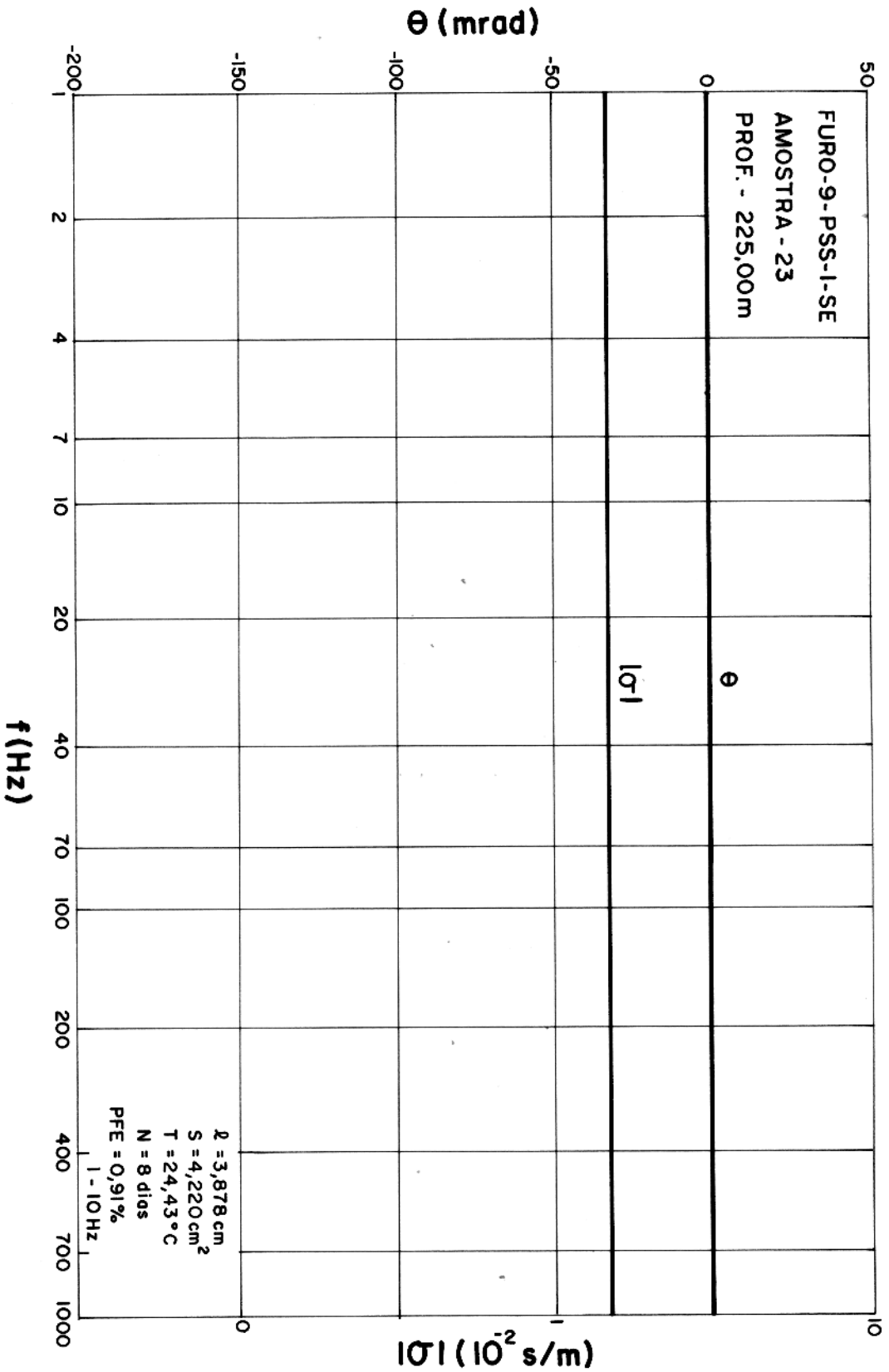


ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA

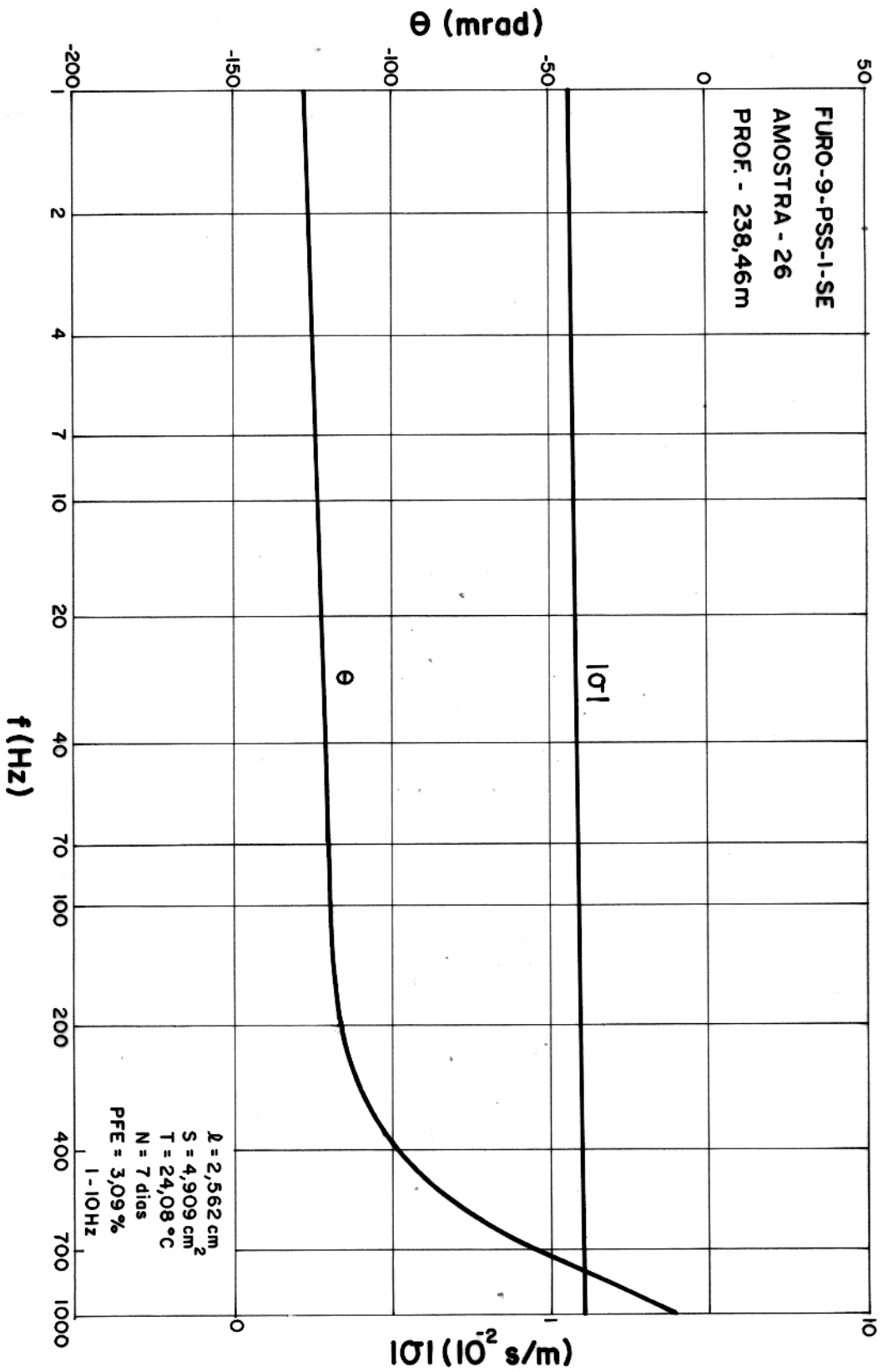




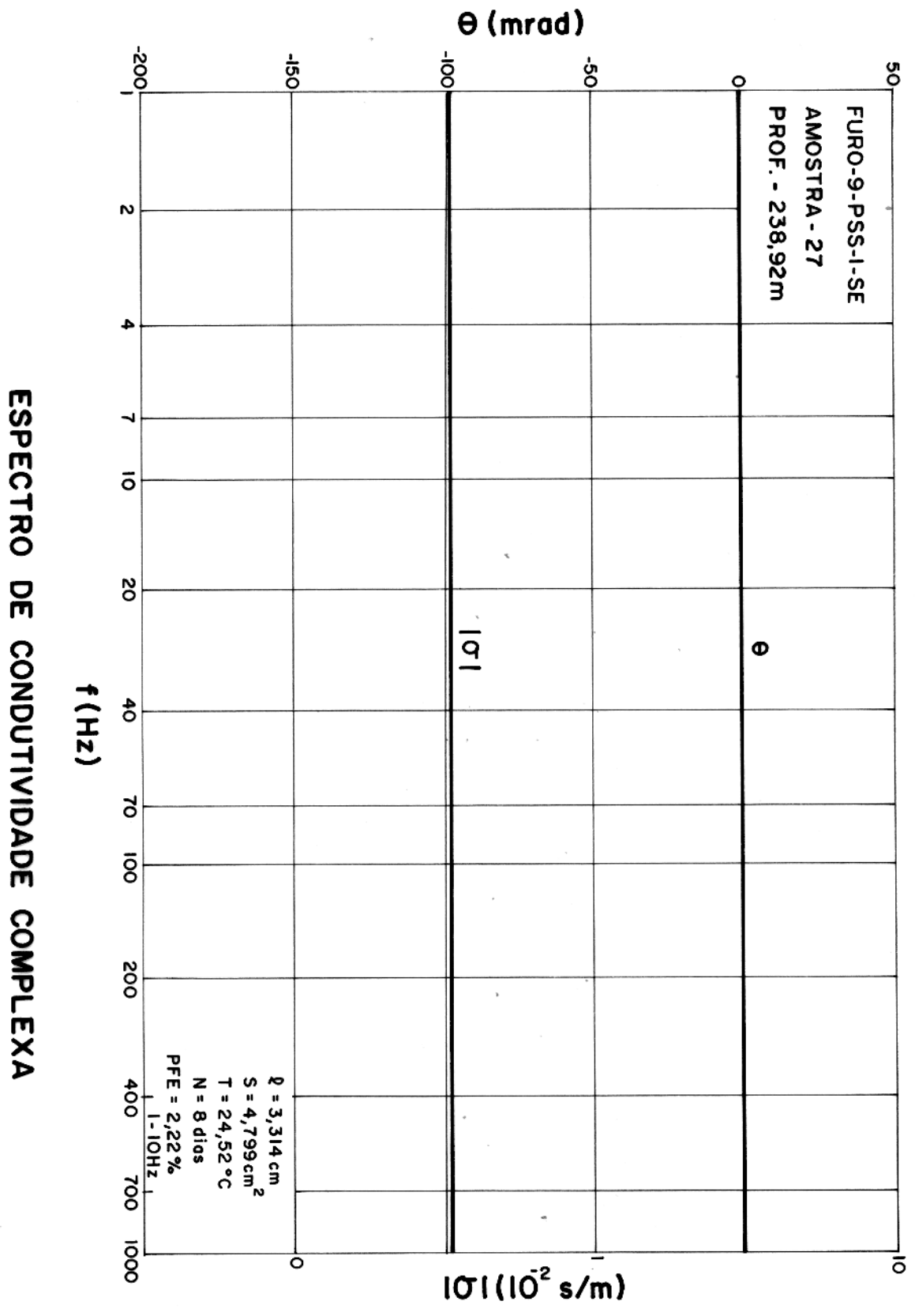




ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



ESPECTRO DE CONDUTIVIDADE COMPLEXA



ANEXO 12

Curvas de relaxação do tipo Cole-Cole para
amostras do Furo-9-PSS.1-SE

