

RT
269



ENXOFRE NA PLATAFORMA CONTINENTAL
NOTAS E COMENTÁRIOS



2004
199



ENXOFRE NA PLATAFORMA CONTINENTAL
NOTAS E COMENTÁRIOS
Junho/77

Carlos Ivan Santana
SUREMI/DEGEO/DIGEOM

1 - Introdução

Segundo dados do livro "New Technology and Marine Resources Development (M.B. Spangler - 1970)", no seu capítulo 6 - "Mining Sulfur from Offshore Sources", tem-se pesquisado enxofre nos Estados Unidos a uma distância da costa de até 130km e sob uma lâmina d'água que chega a alcançar cerca de 70m. Assim, ainda este livro, que as possibilidades para se encontrar na área terrestre dos USA novas e grandes minas de enxofre, são bem mais remotas do que na plataforma continental. Todavia, ressalta que, para tanto, são necessários grandes investimentos de capital, com algum grau de risco, para se localizar estas novas áreas. Como exemplo, cita que em 1965, as licitações que obtiveram êxito e permissão junto ao governo federal, pagaram cerca de US\$ 33 milhões pelo direito de explorar enxofre na plataforma continental.

Todavia, no Brasil, tais gastos não existem, ficando, por conseguinte, os custos restritos apenas aos trabalhos relativos aos levantamentos geofísicos preliminares e de perfuração dos poços sobre os domos. No caso aqui, como os trabalhos de geofísica e a interpretação já foram efetuados, os gastos ficarão restritos apenas aos custos de perfuração.

Os três domos selecionados como mais favoráveis, o Janaína, o Yemanjá e o Mucunã, situam-se respectivamente a cerca de 36, 37 e 51km da costa e estão sob uma lâmina d'água de 46, 63 e 70 metros respectivamente. Os poços sobre os dois primeiros deverão atingir cerca de 446 e 433m (inclusive lâmina d'água) de profundidade e sobre o Mucunã, considerado como opcional no Anteprojeto preparado pela DIGEOM, cerca de 970m.

Tanto o Janaína e o Yemanjá, deverão ter o topo da zona de interesse (rocha-capeadora) situado em torno de menos 130m e o Mucunã a menos 650m.

2 - Histórico

Em 1972 a Coordenação Técnica da CPRM no Projeto REMAC decidiu-se por executar um trabalho de avaliação das estruturas diapíricas salinas que ocorrem na plataforma continental leste e sudeste do Brasil, com vistas ao enxofre que pode estar presente nas suas rochas-capeadoras. Como resultado, foi feito por Jairo Rocha um extenso trabalho intitulado "Domos de Sal e Possibilidades de Enxofre na Plataforma Continental Bahia-Sul/Espírito Santo". Utilizou-se para tanto, as seções sísmicas de alta resolução da Petrobrás, bem como os mapas gravimétricos e os perfis e seções dos poços perfurados na região. Tais informações possibilitaram selecionar, entre os 21 domos estudados, os três mais promissores, conhecidos como Janaína, Yemanjá e Mucunã, todos situados na plataforma fronteira à foz do Rio Doce, no Estado do Espírito Santo.

Posteriormente, em maio de 1975, a Divisão de Geologia Marinha do Departamento de Geologia da Superintendência de Recursos Minerais, utilizando-se do trabalho acima, preparou o Anteprojeto Enxofre na Plataforma Continental (Anexo I), encaminhando-o para apreciação no DNPM.

A princípio, o DNPM rejeitou-o por acreditar que os custos seriam bem mais elevados do que os constantes no Anteprojeto. Entretanto, como tais custos e o próprio orçamento, na sua parte referente à perfuração dos poços, havia sido preparado, por determinação do Sr. Presidente da CPRM, por um geólogo desta Companhia conjuntamente com a Divisão de Perfuração (DIPER) do Dexpro/Petrobrás, os mesmos foram então aceitos e acreditados pelo DNPM.

Ao mesmo tempo, o Sr. Presidente da CPRM mantinha entendimentos com a direção da Petrobrás, com o intuito de conse-

guir a liberação de uma plataforma de perfuração que, na época, perfurava, justamente, um poço no flanco de um dos domos em questão.

Com a demora do DNPM em se decidir pela perfuração de pelo menos um dos domos, a plataforma terminou o poço e se deslocou para a região nordeste, o que, de certa maneira influenciou na não cessão pela Petrobrás, da plataforma pretendida pela CPRM.

Assim, quando o DNPM pelo telex MSG 0091 de 15/01/76 decidiu-se pela realização do projeto, condicionando-o, todavia, a uma nova previsão de custos, não havia mais disponibilidade de equipamento para efetuar uma das perfurações.

O DNPM, enquanto se decidia pela aceitação do anteprojeto, sugeriu à SUREMI que seria necessário, para se obter maior segurança, a execução de sísmica rasa ou refração sobre as estruturas diapíricas selecionadas. Apesar da SUREMI ter efetivamente tentado contratar no Brasil, uma Companhia que executasse tal serviço e não a ter encontrado, os técnicos da Divisão de Geologia Marinha se mostraram contrários a tal idéia, porque, segundo eles, o trabalho teria um custo bastante elevado e simplesmente, pela determinação da velocidade da onda sísmica nas rochas capeadoras dos domos, a máxima conclusão que se poderia chegar era se ela (isto com relativa segurança) existia ou não. Saliente - se que as seções sísmicas de alta resolução da Petrobrás analisadas e que foram usadas no trabalho citado acima, (vide anexos do anexo I), mostravam fortes reflexões no topo, sugerindo a presença do "cap-rock", à semelhança do que ocorre nos domos de elevada produtividade do Golfo do México. Além do mais, a oportunidade de uma plataforma estar perfurando no flanco de um dos domos era rara e devia ser aproveitada, mesmo porque o deslocamento que faria seria mínimo, da ordem de dois a três quilômetros, aproximadamente, o que diminuiria, sensivelmente, os custos.

O transporte de um ou dois navios dos Estados Unidos , para efetuar unicamente o trabalho solicitado pelo DNPM, seria tão oneroso que poderia até mesmo suplantar os custos da perfuração de um dos domos. Alie-se a tal fato, a demora que tal processo acarretaria para obter as licenças e autorizações governamentais necessárias, isto tudo para um trabalho operacional no mar, que não levaria mais de 24 horas.

Assim, com tais argumentos os técnicos da DIGEOM, conseguiram sensibilizar ao DNPM.

Entretanto, como já foi dito acima, dado a demora para se chegar a tal solução, não houve mais possibilidade de se efetuar os trabalhos pretendidos.

Pela mesma época, o DEPEP preparou os Pedidos de Pesquisa para cinco áreas que recobrem os três domos em questão, na plataforma fronteira à foz do Rio Doce no Espírito Santo e, por esta razão, o Projeto, no DEPEP, tomou a designação de Rio Doce (c.c. 2176). O plano único de pesquisa foi feito para anidrita, objetivando enxofre, nas áreas correspondentes aos DNPMs 811.216 a 811.220/75.

3 - Situação Jurídica Atual e Localização das Áreas e dos Domos

No momento, conforme informa o DEPEP pelo memo 543/DEPEP/77 (Anexo II) datado de 08/06/77, a CPRM foi notificada pelo Ofício 1589/77/DFPM de 23/05/77, para efetuar o pagamento das taxas e emolumentos necessários à liberação e publicação dos Alvarás de Pesquisa, ressaltando que, até então, esta notificação, não foi publicada no Diário Oficial da União.

A este memo (Anexo II) foi juntado pelo DEPEP um mapa de situação das áreas requeridas tanto para o atual Projeto Rio Doce (Enxofre), como para o antigo Projeto Plataforma Continental que teve suas áreas desistidas em 18/03/74. Neste mapa, a DIGEOM assinalou as áreas A, B, C, D e E, conforme pode ali se verificar. A área A recobre o domo Janaína; a B o Mucunã e a C o Yemanjá. A área D corresponde ao domo CPRM/Barra Nova-7 onde foi perfurado o furo 9 - CPRM - 1 ESS, que resultou seco e a E aos demais domos de Barra Nova.

4 - Comentários sobre o Domo Perfurado pela CPRM

Apesar de algumas das áreas requeridas pelo Projeto Plataforma, coincidirem com duas das áreas solicitadas para o Projeto Rio Doce (Enxofre), as mesmas foram pedidas aleatoriamente, baseadas em informações de geólogos da Petrobrás, que pouco contato tinham com as particularidades e condicionamentos geológicos necessários para a presença de enxofre nas rochas capeadoras. Assim, onde existiam domos requereram-se as áreas e, em consequência, o primeiro deles perfurado, correspondente, ao poço 9 - CPRM - 1 ESS, resultou absolutamente negativo. Tanto o calcário como a anidrita, que se constituem nos componentes básicos da rocha-capeadora, estiveram praticamente ausentes neste domo. Segundo o trabalho citado, nos domos situados na área de Barra Nova não foi possível identificar, com auxílio das seções sísmicas de alta resolução, rochas-capeadoras em nenhum deles. A figura 12 do Anteprojeto Enxofre na Plataforma Continental (Anexo I), mostra uma seção sísmica onde se pode ver claramente o domo com seu ápice truncado e, conseqüentemente, sem rocha-capeadora. Além do mais, o condicionamento geológico requer uma série de outros fatores que, congregados, permitem a formação dos depósitos de enxofre. Dentre eles, a presença de hidrocarbonetos na região circundante, para atuar como um dos agentes que possibilitarão a liberação do enxofre e a necessidade de as rochas encaixantes dos domos serem permeáveis, para que haja percolação de fluidos que também possibilitam a formação dos depósitos de enxofre, estão praticamente ausentes em Barra Nova, ou são relativamente menos favoráveis do que as condições, identificadas na foz do Rio Doce.

5 - Considerações Finais

Os domos ora pretendidos para teste, pelo menos foram precedidos de um cuidadoso e criterioso estudo efetuado por técnicos diretamente envolvidos no assunto e que contaram, inclusive, para a interpretação das seções sísmicas e de outros dados, com o auxílio dos geólogos e dos geofísicos da Divex-Petrobrás, responsáveis pela interpretação na plataforma continental.

Efctivamente, entretanto, não se pode assegurar, por nenhum método indireto, a presença do enxofre na rocha-capeadora. Apenas a perfuração poderá constatar sua presença. A possibilidade ou a incerteza dele ali estar, fica por conta dos próprios riscos das pesquisas. É conveniente se assinalar que não existe nenhum outro trabalho no país mais completo do que o que foi produzido pela CPRM. E, assim, isto se constitui, ao menos, numa alentadora esperança para se atingir o objetivo pretendido.

Na justificativa destes estudos, os riscos são assumidos, e os próprios geólogos envolvidos enfatizam que apenas 10% dos domos do Golfo do México, que apresentam rochas-capeadoras, são portadores de enxofre em quantidades comerciáveis, mas também não perdem seu otimismo quando enfocam que apenas dois domos de sal da plataforma continental do Estado da Lousiana dos Estados Unidos, produziam, em 1974, cerca de 20% da produção total americana, ou seja, quase 6% da produção mundial de enxofre.

O Brasil importa em torno de 90% do enxofre consumido.

A possibilidade que ora se apresenta, com o término de contrato de uma das Companhias que perfura para a Petrobrás em setembro próximo, poderá trazer novas perspectivas, no sentido de que se realize o anteprojeto em questão.



Anexo I



ANTEPROJETO

ENXOFRE NA PLATAFORMA CONTINENTAL

PREPARADO PELO

DEGEO/DIGEOM

RIO DE JANEIRO

Maio/75

Í N D I C E

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. LOCALIZAÇÃO E ÁREA	2
3. JUSTIFICATIVAS	3
4. CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICAS	4
4.1 - Generalidades	4
4.2 - Os Domos de Sal da Área	5
4.2.1 - Mecanismo de Formação	6
4.2.2 - Considerações Sobre a Evolução	7
4.2.3 - Configuração	8
4.2.4 - Composição dos Domos da Área..	9
4.2.4.1 - O Núcleo de Sal	9
4.2.4.2 - A Rocha Capeadora...	9
4.2.4.3 - Origem do Enxofre...	11
4.2.5 - Critérios Utilizados para Iden- tificação da Rocha Capeadora e Evidências de sua Existência em Domos da Área	13
4.2.6 - Aplicação Potencial Para Explo- ração de Enxofre em Domos de Sal	14
4.2.7 - Potencialidade dos Domos da Área	15
4.2.7.1 - Generalidades	15
4.2.7.2 - Critérios Utilizados para sua Definição..	16
4.2.7.3 - Domos da foz do rio Doce	17
4.2.8 - Domos de Barra Nova	19

4.2.9 - Conclusões	20
5. METODOLOGIA	22
5.1 - Etapas de Trabalho	22
5.2 - Prazos de Execução	22
5.2.1 - Prazo por Etapas	22
5.2.2 - Prazo total	23
5.3 - Programa de Perfuração e Acompanhamento	24
5.4 - Amostragem para Estudos de Laboratório	27
5.5 - Relatórios e Radiogramas de Acompanhamento	29
5.6 - Relação de Furos Programados e Profundidades	29
5.6.1 - Domos Janaina e Yemanjá	29
5.6.2 - Domo Mucunã	29
6. ESTIMATIVA ORÇAMENTÁRIA PRELIMINAR	30
6.1 - Aluguel da Plataforma de Perfuração...	30
6.2 - Testes de Formação	30
6.3 - Perfilagem	32
6.4 - Apoio	34
6.4.1 - Transporte	34
6.4.2 - Outras Despesas	34
6.4.3 - Estimativa do Custo Final de Apoio	35
6.5 - Análises de Laboratório	35
6.5.1 - Análises Petrográficas	35
6.5.2 - Análises Químicas	36
6.5.3 - Análises Paleontológicas	36
6.6 - Pessoal	36
6.6.1 - Fase Operacional	36
6.6.2 - Fase de Interpretação	37



6.7 - Estimativa de Custo Total	37
7. ANEXOS	37

1. INTRODUÇÃO

O enxofre é amplamente distribuído no mundo, ocorrendo tanto sob a forma de sulfetos e sulfatos, quanto no estado elementar - enxofre nativo.

Uma das maneiras de ocorrência do enxofre elementar, é aquela associada às rochas capeadoras dos domos de sal. Depósitos deste tipo, são conhecidos na costa do Golfo do México, notadamente na plataforma fronteira aos Estados da Lousiana e Texas - USA e no México.

Nestes depósitos, a maioria do enxofre que ocorre na rocha capeadora dentro da zona de transição, se associa a anidrita, gipsita, calcita, petróleo e água sulfídrica. O enxofre apresenta-se preenchendo fissuras, espaços intergranulares ou substituindo anidrita e calcita da zona de transição.

Mais de duzentos domos de sal são conhecidos naquela região, sendo o enxofre encontrado na maioria das rochas capeadoras dos domos rasos. Depósitos comerciais, no entanto, só são encontrados em um relativo pequeno número de estruturas.

Até 1960, 29 domos produziram enxofre comercial, pelo processo Frasch, na costa do Golfo. Neste ano, o balanço mostrava que 14 continuavam em regime normal de produção, enquanto 15 apresentavam-se praticamente abandonados, por estarem altamente depletados. Até essa data a produção cumulativa destes domos foi de 170 milhões de toneladas de enxofre. As reservas recuperáveis, atingiram a 50 milhões de toneladas.

Um fato importante a realçar, é que a produ

ção de enxofre no mar proveniente da plataforma da Louisiana, é, atualmente, limitada e duas ocorrências, que no entanto, fornecem 20% da produção dos Estados Unidos, que, por sua vez, é o maior produtor mundial (cerca de 28% da produção mundial). Isto equivale a dizer, que apenas dois domos produzem cerca de 5,6% de todo o enxofre do mundo.

As reservas recuperáveis na plataforma da Louisiana, alcançam 37 milhões de toneladas, podendo ser duplicadas dentro em breve, com as pesquisas que ali vem se desenvolvendo.

No Brasil, ocorrem domos de sal em extensa faixa da nossa plataforma leste/sudeste. Dentre as muitas estruturas conhecidas, estudos demonstraram que as mais favoráveis para uma pesquisa de enxofre, são aquelas situadas defronte a foz do Rio Doce.

2. LOCALIZAÇÃO E ÁREA

A área de interesse situa-se na plataforma continental do Estado do Espírito Santo, fronteira à foz do rio Doce.

Os três domos selecionados para teste são o Janaina, o Yemanjá (prioritários) e o Mucunã (opcional).

A localização dos furos propostos é a seguinte:

Domo Janaina

- o furo sobre este domo deverá se situar sobre o SP 160 da linha sísmica 34 - RL - 518 (Anexo 1).

Domo Yemanjá

- SP 115 da 34 - RL - 515 (Anexo 2)

Domo Mucunã (opcional) - SP 214 da 34 - RL - 511 (Fig.3).

3. JUSTIFICATIVAS

O enxofre é matéria prima altamente estratégica, na indústria química e de fertilizantes. Apesar de largamente distribuído no mundo, até o presente no Brasil, não são conhecidos grandes depósitos comerciais deste metalóide. A quase totalidade do nosso consumo é atendido pela importação, a qual atingiu em 1974, cerca de 600.993 toneladas, no valor de US\$ 36.088,324 conforme pode ser visto no quadro abaixo.

Anos	Produção (t)	Importação (t)
1962	6.000	152.764
63	6.000	176.961
64	6.000	141.053
65	6.000	192.904
66	6.000	167.500
67	6.000	205.003
68	8.000	238.486
69	7.250	218.034
70	8.950	261.459
71		360.868
72		372.686
73		451.232
74		600.993

Esta situação altamente dependente do mercado externo, poderá vir a causar sérios entraves ao desenvolvimento brasileiro, que está a exigir maior estabilidade e segurança no abastecimento desta matéria prima.

A ocorrência de domos de sal na plataforma

do Espírito Santo, apresenta-se como promissora fonte potencial de enxofre, que poderia vir a suprir as necessidades brasileiras. Como se sabe a maior produção de enxofre elementar do mundo, é proveniente da rocha-capcadora dos domos de sal da costa do Golfo, tanto da parte terrestre como da submersa. Assim torna-se viável a execução de perfurações nos domos fronteiros a foz do Rio Doce, já que as condições geológicas desta área são, aparentemente, as mais favoráveis do litoral brasileiro para formação destes depósitos.

4. CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICAS

4.1 - Generalidades

Os domos de sal conhecidos na área foram descobertos pela Petrobrás, a partir dos levantamentos geofísicos realizados visando a prospecção de hidrocarbonetos.

EDYR DE OLIVEIRA (1962), interpretando os dados gravimétricos da área, associou algumas anomalias negativas a domos de sal. Posteriormente, a sísmica de reflexão revelou no local dessas anomalias, estruturas geológicas de forma dômica e com aparência de deformação halocinética.

Finalmente a perfuração do 1-ESS-1 pela Petrobrás em 1968, atravessou o flanco de um domo, comprovando definitivamente a presença de tais estruturas na área.

A partir de então, a CPRM interessou-se na pesquisa de enxofre associado às rochas capcadoras desses domos, bem como para conhecer a natureza do sal. Com essas finalidades perfurou-se o poço 9-CPRM-1-ESS (1971), o

qual atingiu o sal a 123 m (-106 m), perfurando-o até 1016 m (-999m). Apesar de cumpridas as finalidades propostas, não foram constatados quaisquer indícios de enxofre nesse domo (item 4.2.3).

ASMUS, GOMES e PEREIRA (1971), no "Estudo da Interpretação Geológica Regional da Bacia do Espírito Santo", tecem considerações sobre os domos salinos, quanto a forma, classificação, distribuição, idade da camada mãe de sal e tempo de migração.

Em fins de 1972 a Coordenação Técnica da ... CPRM no Projeto REMAC, solicitou ao Geólogo J. ROCHA a elaboração de um trabalho sobre domos de sal e suas possibilidades com vistas a ocorrência de enxofre, recomendando sobretudo o delineamento dos possíveis domos favoráveis, visando, a depender dos resultados, a execução de futuras perfurações nas rochas capeadoras desses domos.

O trabalho foi então efetuado, utilizando-se essencialmente os resultados das seções sísmicas, dados de poços, perfis e análises de laboratórios disponíveis na Petrobrás. Os relatórios técnicos sobre a área e a bibliografia consultada, também foram úteis na elaboração do trabalho.

4.2 - Os Domos de Sal da Área

São conhecidas cerca de 21 estruturas diapíricas, dos tipos perfurantes raso e intermediário, na Plataforma Continental Bahia Sul/Espírito Santo. Estão distribuídas pelas províncias da foz do rio Doce (7), Barra Nova (7), Abrolhos Norte (3) e Ilucuri (4). Outras ocorrências de domos profundos são também conhecidas.

Os domos de sal citados, alinham-se na direção preferencial N-S, possivelmente refletindo o reativamento do sistema de falhas pré-Aptiano. Também é fato conhecido que esses domos só ocorrem nas feições estruturais negativas, mas nenhuma explicação definitiva foi estabelecida para o caso. Esta situação repete-se para os domos da costa do Golfo, onde HAZZARD et al (1954), procura explicar o fato sugerindo que:

- as áreas positivas teriam grandes ondulações de sal que não atingiram o estágio de domo.
- o sal adelgaçou pelo efeito da elevação, e a maioria deste escoou mergulho abaixo.
- a erosão fez com que as áreas altas se tornassem mais leves e as baixas mais pesadas, resultando num aumento relativo da carga estática nas áreas baixas, permitindo a ascensão de sal só nessas áreas.

Além dessas condições que poderiam explicar também a ausência de domos de sal nos blocos elevados da plataforma Bahia Sul/Espirito Santo, pode-se citar ainda, com a mesma finalidade, as seguintes hipóteses (ROCHA, 1973):

- não houve deposição de sal nas áreas positivas.
- no caso contrário, i.é, em caso de ter havido, o mesmo teria desaparecido por erosão subsequente.

4.2.1 - Mecanismo de Formação

As evidências geológicas da área em questão, sugerem que a migração do sal da camada mãe, teve início a partir do Paleoceno (ASMUS et al 1971). Uma espessa sobrecarga sedimentar teria sido a força motora causadora

do fluxo ascendente. Os esforços de compressão horizontal resultantes das atividades magnéticas atuantes na bacia desde o Cretáceo até o Eoceno Médio (CORDANI, 1970), teriam apenas acelerado tal movimentação.

4.2.2 - Considerações sobre a Evolução

As considerações abaixo, resultam da interpretação das seções estratigráficas elaboradas (Anexos 4 e 5). Um estudo integrado de dados de subsuperfície e sísmica, tentando identificar linhas de tempo nas seções sísmicas, poderiam contar detalhadamente a história dos domos (ROCHA, 1973).

Assim, têm-se:

- o início da movimentação do sal para formar domos, deu-se, provavelmente, a partir do Paleoceno e, seguramente, no Eoceno.
- a taxa de crescimento dos domos verificou-se de forma errática, algumas vezes movendo-se rapidamente e, em outras, permanecendo quase quiescentes. Tal fato pode ser observado, por exemplo, com o domo CPRM (Barra Nova - 7, Anexos 5 e 12), o qual apresentou um extenso estágio de movimentação durante o Oligoceno, sofrendo inclusive erosão em um dos seus flancos. Já no Mioceno Inferior, essa taxa de crescimento foi mínima, voltando a aumentar posteriormente.
- a ascensão da massa de sal foi distinta para cada domo. Assim é que, enquanto o domo CPRM, apresentava alta taxa de crescimento no Oligoceno, o domo Yemanjá projetado na seção (Anexo 4), atravessou um estágio de baixo crescimento relativo.

4.2.3 - Configuração

Os domos de sal da área são predominantemente circulares a elípticos quando vistos em mapas (Anexos 1 e 2), mas alguns apresentam feições bastante irregulares (Anexo 3). Em seção mostram-se geralmente cilíndricos, em sinos alongados e em pirâmide truncada. Os flancos são altamente inclinados a praticamente verticais. Algumas formas são bastante complexas, alargando-se ou afinando-se com a profundidade. O topo do núcleo do sal mostra-se plano a ligeiramente irregular e praticamente horizontal. São ainda frequentes as formas convexas para cima. O diâmetro do sal ao nível de 1 segundo varia de aproximadamente 1 a 6 km. O domo CPRM na área de Barra Nova, destaca-se por ser um dos maiores, com diâmetro médio superior a 5 km, ao nível de 0,5 segundos (Anexo 12).

Os domos da plataforma fronteira aos Estados da Bahia Sul/Espirito Santo, são na sua quase totalidade perfurantes rasos (topo do sal acima de 660 m), mas alguns são considerados do tipo intermediário (topo entre 660 a 2000 m), dentro da classificação de TEAS (1972).

Dos domos selecionados para teste, o Janaina e o Yemanjá são do tipo perfurante raso e o Mucunã (opcional) é do tipo intermediário. Todos apresentam paredes quase verticais e o topo do sal é praticamente horizontal nos dois primeiros. As prováveis rochas capadoras sobre estes domos apresentam seus bordos inclinados para baixo, acompanhando a configuração geral do domo. Este fato favoreceria o trapeamento do gás sulfídrico e a consequente formação de depósitos de enxofre.

4.2.4 - Composição dos Domos da Área

4.2.4.1 - O Núcleo de Sal

O núcleo de sal dos domos da área compõe-se, essencialmente, de halita (NaCl) e, em menor quantidade, de anidrita (Ca SO_4) que constitui o principal resíduo insolúvel. Traços de outros minerais como quartzo, dolomita, clorita, caulinita, illita ou glauconita, são ainda reportados. Nenhum indício de enxofre foi encontrado até o presente.

Os dados mais importantes quanto a composição das massas de sal da área, são provenientes dos resultados das análises de testemunhos do poço 9 - CPRM - 1 - ESS, realizadas nos laboratórios da CPRM. Foram feitas análises de lâminas delgadas, químicas, mineralógicas e por difração de raios X para os resíduos insolúveis. De acordo com os resultados obtidos o teor de halita nesse domo, varia de 39,7 a 92,9%. A halita apresenta-se vítrea, granular, em cristais anedrais, de formas irregulares, alongados e com contatos ligeiramente encurvados. O resíduo insolúvel é constituído predominantemente por anidrita, cujo teor médio de 1,56 a 3,7%, é bastante semelhante ao encontrado nos domos da costa do golfo, onde segundo KUPFER .. (1963), esse teor é inferior a 3%.

A análise dos perfis elétricos dos poços que penetraram flancos de domos, mostra que o núcleo do sal é composto, essencialmente, de halita. Uma delgada camada de polihalita, foi interpretada no intervalo 149,5 - 151,5 m., no poço 9-CPRM-1-ESS.

4.2.4.2 - A Rocha Capcadora

Com relação aos domos da área pouco ou quase

nada se pode dizer sobre a composição da rocha capeadora, uma vez que, até o presente, apenas um domo foi perfurado no seu topo (o 9-CPRM-1-ESS) que, no entanto, não a apresentou desenvolvida. Além disso, devido a problemas mecânicos de perfuração, a mesma não foi testemunhada, como estava previsto.

As descrições das amostras de calha da seção sobreposta ao sal, revelaram a existência de uma mistura complexa de rochas sedimentares (calcário e areia) e ígnea. Essa última, analisada posteriormente, por técnicos da CPRM, foi classificada como sendo Essexito (rocha da família dos gabros). A presença dessas rochas no topo dos domos é bastante viável, uma vez que, segundo interpretação sísmica de JOÃO VICTOR (1972), observa-se claramente que essas feições perfuram os derrames basálticos. "Xenólitos" dessas rochas poderiam portanto flutuar na massa de sal ou serem por ela carregados para níveis mais superiores (ROCHA, 1973).

A análise dos perfis elétricos indicou a existência de uma possível camada de anidrita de 2m de espessura, no topo do sal, o que atestaria a existência de uma rocha-capeadora bastante incipiente.

Segundo HALBOUY et al (1957) a ocorrência da rocha capeadora decresce com o aumento da profundidade, mas a mesma tem sido encontrada em muitos domos da costa do golfo, a profundidades abaixo de 3.000 m.

Uma rocha capeadora bem desenvolvida, compõe-se de uma camada inferior de anidrita granular; uma zona de transição (anidrita, gipsita e calcário) e uma zona superior de carbonato. É na zona de transição que se locali-

zam os depósitos comerciais de enxofre. Nem sempre, contudo, essas três zonas mostram-se distintas e facilmente identificáveis. Além disso uma ou mais zonas podem estar ausentes, dependendo do estágio de formação em que a mesma se encontra, ou do grau de intensidade erosiva, que porventura a mesma tenha sofrido.

A espessura média da rocha capeadora nos domos rasos é de 90 a 120 m, mas tem sido encontrada com mais de 300 m. Geralmente é mais espessa sobre o centro do domo, adelgaçando para a periferia.

Associada a muitos domos ocorre uma zona dura, formada pela recimentação dos sedimentos supradomais e comumente denominada "falsa rocha capeadora".

4.2.4.3 - Origem do Enxofre

Serão discutidas a seguir, de uma maneira resumida, as idéias mais aceitas sobre a origem do enxofre em domos de sal e os processos relacionando, a fim de se ter uma melhor compreensão desses depósitos.

A maioria dos geólogos acredita que o enxofre associado a domos de sal é resultante da redução da anidrita para gás sulfídrico e da subsequente oxidação do gás sulfídrico para enxofre.

FEELEY e KULP (1957), baseados na aplicação de técnicas isotópicas, reações de laboratório e estudos bacteriológicos, confirmaram esse mecanismo e definiram mais detalhadamente, a origem dos depósitos de enxofre dos domos da costa do golfo.

Os resultados das experiências dos citados

autores esclareceram vários detalhes, tais como:

- o petróleo não é capaz de reduzir diretamente o sulfato da anidrita, numa razão suficientemente rápida, nas condições de temperatura reinantes nos domos de sal. Nessas condições, o petróleo levaria cerca de 150 milhões de anos para reduzir o sulfato de anidrita e produzir depósitos de enxofre semelhantes aos encontrados na costa do golfo. Como os domos dessa região penetraram camadas pleistocênicas e tendo em vista que o enxofre formou-se "in loco" deduz-se que aqueles depósitos foram formados no último milhão de anos. Consequentemente, a reação química direta, não pode ser o mecanismo de produção do gás sulfídrico a partir do sulfato.
- por outro lado, a redução do sulfato de anidrita por bactéria na presença do petróleo, nas condições de temperatura encontrados nos domos, procede em razão extremamente rápida (100 mg/litro/dia). Com esta razão, mesmo as rochas-capa mais espessas (cerca de 300 m) seriam reduzidas em 100 anos, dado um adequado suprimento de petróleo e ótimas condições sobre a rocha-capa. Embora os autores considerem que esta razão seja superior a real, ficou demonstrado a extraordinária produção potencial desses organismos.
- concluiu ainda que a bactéria redutora do sulfato atuando como catalisador da reação, é o agente primário na produção do enxofre na rocha-capa.
- a reação subsequente, isto é, de oxidação do gás sulfídrico para enxofre, resulta da ação de ions de sulfato adicionais na rocha-capa.

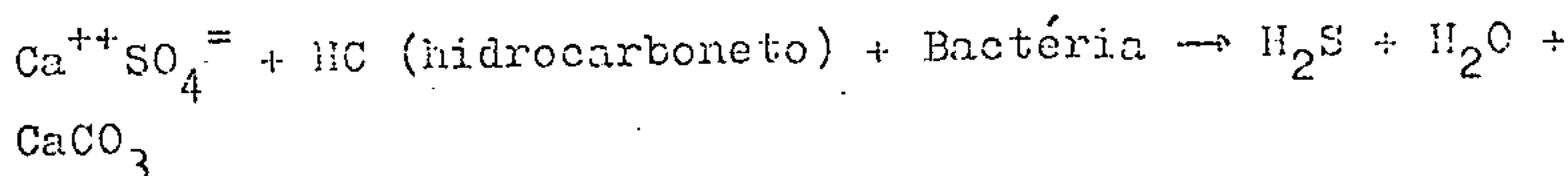
De acordo com HINDS e CUNNINGHAM (1970), o

processo metabólico de bactéria para origem do enxofre po-
de ser sumarizado na forma abaixo:

- a bactéria redutora de sulfato, utilizando hidrocarbone-
to como fonte de energia, reduz o sulfato de cálcio para
carbonato de cálcio e gás sulfídrico. O gás sulfídrico
assim formado, reage posteriormente com ions adicionais
de sulfato para produzir enxofre, o qual poderá ser depo-
sitado nos espaços vazios do carbonato formado na reação
inicial.

Um esquema simplificado do processamento da
reação seria:

- reação de redução do sulfato:



- reação de oxidação do H_2S



4.2.5 - Critérios Utilizados para Identificação da Rocha Capeadora e Evidências de sua Existência em Domos da Área

A presença da rocha capeadora em domos da
área, não está definitivamente estabelecida, em vista do
limitado poder de resolução dos dados existentes.

O critério utilizado na tentativa de identi-
ficá-la, foi baseado em evidências indiretas, fornecidas pe-
la interpretação das seções sísmicas. A ocorrência de
fortes reflexões no topo do domo foram atribuídas, à possí-
vel existência de calcário ou anidrita da rocha capeadora.

Esse método tem sido empregado por alguns autores (PETER LEHNER, 1969), em trabalhos da costa do golfo, com relativo sucesso, porém é ainda discutido.

A interpretação das seções sísmicas, com base no critério acima descrito, mostrou que:

- somente alguns domos, particularmente os situados na foz do rio Doce, mostram evidências da existência da rocha-capeadora.
- em outros, o problema permanece indefinido por não apresentarem boas evidências, ou pelo fato das seções estarem processadas abaixo do topo do sal (raros casos).
- finalmente, a maioria dos domos não mostra quaisquer evidências da existência de rocha-capeadora, nas seções sísmicas analisadas.

4.2.6 - Aplicação Potencial Para Exploração de Enxofre em Domos de Sal

FEELEY e KULP (1957), baseados na origem dos depósitos de enxofre na rocha capeadora dos domos e nos processos relacionados, estabeleceram critérios que permitem avaliar a probabilidade de um domo ainda não explorado, conter enxofre em quantidades comerciais na sua rocha-capeadora. Esses critérios, alguns dos quais de fundamental importância, são mostrados a seguir:

- tendo em vista que a rocha capeadora se forma quando o sal é lixiviado, só aqueles domos que penetram camadas permeáveis são, potencialmente, portadores de enxofre.
- somente domos com espessa rocha-capeadora de anidrita e calcita devem ser pesquisados.

- desde que grandes quantidades de petróleo devem ser usadas durante a formação do gás sulfídrico e calcário da rocha capeadora, os domos que mostram espessas camadas geradoras de petróleo em seus flancos, merecem mais esforço exploratório de sua rocha-capeadora.
- tendo em vista que o enxofre só se formará no domo, quando o gás sulfídrico produzido na rocha capeadora não pode escapar, há necessidade portanto, de um bom trapeamento para o aprisionamento do mesmo. Por isto, domos mostrando extensivo fraturamento sobre a sua cobertura estariam sujeitos a perda do H_2S .
- por razões similares, domos cujas rochas capeadoras alcançaram a profundidade de 30 m (aproximadamente), não despertam interesse para enxofre.
- domação pronunciada dos sedimentos é necessária para permitir uma migração rápida de água através da rocha capeadora.
- um domo cuja rocha capeadora alcançou a superfície num determinado tempo geológico passado, sofrendo erosão e destruição dos possíveis depósitos de enxofre, pode ser ainda pesquisado. Novos depósitos poderiam se formar após seu soterramento pela sedimentação posterior.

4.2.7 - Potencialidade dos Domos da Área

4.2.7.1 - Generalidades

Segundo ROCHA (1973), os dados disponíveis sobre a área não permitem traçar com segurança um quadro da potencialidade dos domos em estudo, visando a pesquisa de enxofre. Isso em virtude de se dispor apenas de seções sísmicas de reflexão e de um relativo pequeno número de poços,

na quase totalidade perfurados objetivando jazidas de petróleo e não de enxofre. Entretanto, a utilização racional desses dados possibilitam descartar os domos desinteressantes e selecionar os mais promissores, com vistas a uma pesquisa orientada para enxofre.

Também em vista da relativa falta de dados, não se pode seguir exatamente os pré-requisitados estabelecidos por FEELY e KULP (item 4.2.6), para se fazer uma triagem per feita dos domos da área.

4.2.7.2 - Critérios Utilizados para sua Definição

O critério adotado por ROCHA (1973), na tentativa de definir a potencialidade de enxofre desses domos, baseou-se, fundamentalmente, nos seguintes aspectos:

- na presença ou ausência de rocha-capeadora nos domos:

A tentativa de identificá-la como visto no item 4.2.5, baseou-se nas evidências das seções sísmicas. Fortes reflexões no topo do sal foram atribuídas à presença de anidrita ou calcário da rocha capeadora. Os domos com essas evidências bem distintas, foram considerados como os mais promissores para a pesquisa de enxofre.

- na litoestratigrafia penetrada pelos domos ou em suas proximidades:

As características litoestratigráficas da área foram baseadas em dados de poços, perfis (Anexo 6) e trabalhos existentes. Os domos que estão penetrando rochas permoporosas, são os de maior potencialidade para enxofre.

- nas possibilidades de geração de petróleo na área:

Esse aspecto, embora considerado não foi tomado como pri

ritário, em virtude de não estar ainda definitivamente esclarecido. Segundo BACCOCOLI (1972) as condições geradoras na área estão comprovadas apenas para as rochas pré-Aptianas. Merece destaque a produção de gás e condensado em teste de formação no poço 1-ESS-2, em rochas do Eoceno Médio e Inferior.

- foram ainda levadas em conta as condições de trapeamento, formação dos sedimentos sobrejacentes ao domo e a profundidade do mesmo.

Como resultado da aplicação desse critério seletivo, os domos foram englobados em categorias, variando de I a IV, na ordem decrescente de sua potencialidade para enxofre, como segue:

Categoria I - Domos com boas evidências de rocha capeadora nas seções sísmicas, além de estarem situados em áreas de boas condições permo-porosas.

Categoria II - Domos com razoáveis evidências de rocha capeadora e ainda penetrando rochas permo-porosas.

Categoria III - Domos nos quais a possível rocha capeadora mostra-se indefinida.

Categoria IV - Domos sem qualquer evidência de rocha capeadora.

4.2.7.3 - Domos da foz do rio Doce

Os dados disponíveis sugerem que os domos situados nesta área, são os de maior potencialidade para pesquisa de enxofre. A maioria desses domos mostra nas seções

sísmicas (Anexos 7 a 11), fortes reflexões no topo do sal, atribuídas, possivelmente, à presença de rocha capeadora. Além disso o fato de penetrarem rochas permo-porosas condição indispensável para formação de anidrita da rocha capeadora, corrobora as evidências das seções sísmicas.

São conhecidos nessa área 7 domos de sal, dos quais 5 perfurantes rasos e 2 do tipo intermediário. Desses domos, 5 foram mapeados pela Petrobrás ao nível 2,0 a 2,5 segundos (M. SAITO, LA.N. REIS) e receberam os nomes de Ynaê, Janaina, Yemanjá, Ogundum e Mucunã. Os outros dois foram denominados, informalmente, Norte e Sul do Rio Doce.

Os domos Yemanjá e Janaina, considerados os mais promissores (Anexos 7 a 10), foram definidos na Categoria I.

Domo Yemanjá (características)

Apresenta-se de forma elíptica vista em mapa (Anexo 2), e em sino alongado em seção (Anexos 7 e 8). Os flancos mostram-se altamente inclinados, alargando-se ligeiramente com a profundidade. O topo do sal encontra-se a aproximadamente 270 m.

A possível rocha capeadora, interpretada a partir das fortes reflexões no topo do sal, estende-se ligeiramente pelos flancos do domo. Os sedimentos flanqueantes mostram-se altamente inclinados. É um dos menores domos da área, com diâmetro variando de 1,2 a 1,5 km, no topo da estrutura. Todavia é um dos que apresenta maior potencialidade quanto a presença de enxofre na rocha capeadora.

Domo Janaina (características)

Apresenta forma irregularmente circular a



ligeiramente cordiforme, quando visto em planta (Anexo 1); em seção aparece em forma de pirâmide truncada (Anexos 9 e 10). Os flancos mostram-se também bastante inclinados, alargando-se com a profundidade. O topo do sal encontra-se a aproximadamente 300 m. A rocha capeadora está aparentemente bem identificável nas seções sísmicas. O diâmetro do domo varia de 2,1 a 2,4 km no topo do sal.

Domo Macunã (características)

Este domo será perfurado a depender das disponibilidades econômicas do Projeto.

Também situado na área da foz do Rio Doce, reúne por isto, praticamente todas as condições favoráveis dos outros dois selecionados. Todavia apresenta o núcleo de sal relativamente mais profundo (\pm 800 m) e, conseqüentemente, também a sua rocha capeadora (\pm 650 m). Este aspecto torna-o interessante, pois assim, se testaria também um domo do tipo intermediário com rocha capeadora mais profunda.

Além do mais apresenta o topo da estrutura com forma irregular, e por isto, sua rocha capeadora está aparentemente inclinada, o que poderia resultar em condições de trapeamento também diferente da dos outros dois. Seus flancos como os demais, são bastante inclinados (Anexos 3 e 11).

4.2.8 - Domos de Barra Nova

Esta área apresenta sete domos sendo que um deles já foi testado pela CPRM com o furo 9 - CPRM - 1 - ESS. Não foi selecionado nenhum domo em Barra Nova, apenas se fará um breve relato sobre a estrutura perfurada pela CPRM.

Domo CPRM ou Barra Nova - 7

Este domo foi perfurado pela CPRM em 1971 e apresentou rocha capeadora incipiente a inexistente. As razões disto são bastante evidentes ao se observar a seção sísmica constante do Anexo 12, onde claramente se verifica a ausência da rocha capeadora.

4.2.9 - Conclusões

A sobrecarga sedimentar foi a força motora que causou o início da movimentação salina para formar os domos de sal da área. Os esforços de compressão horizontal resultantes das atividades magmáticas atuantes na bacia durante o Cretáceo Superior ao Eoceno Médio, teriam apenas acelerado o processo ascensional da massa salífera.

A taxa de crescimento dos domos da área verificou-se de forma errática, algumas vezes movendo-se rapidamente e em outras permanecendo quase quiescentes. Tal fato pode ser observado no domo CPRM (Barra Nova - 7), que apresentou um extenso estágio de movimentação durante o Oligoceno, sofrendo inclusive erosão. Já no Mioceno Inferior, entretanto, essa taxa foi mínima, para voltar a crescer posteriormente.

A ascensão da massa de sal foi distinta para cada domo. Assim é que, enquanto o domo referido anteriormente, apresentava alta taxa de crescimento no Oligoceno, o domo Yemanjá atravessava, no mesmo período, um estágio de baixa taxa de movimentação.

O teor de anidrita disseminada no núcleo de sal dos domos da área pesquisada, calculado entre 1,56 e 3,5% (resultado do poço 9 - CPRM - 1 - ESS) é bastante semelhante ao encontrado nos domos da costa do golfo, onde esse

teor é inferior a 3%. Tendo em vista a origem da anidrita e desde que a mesma não tenha sofrido erosão, não há porque duvidar da sua existência, nos domos que estão penetrando rochas permo-porosas.

Os dados disponíveis não permitem definir com segurança o potencial de enxofre dos domos da área, mas possibilitam descartar as estruturas desinteressantes, selecionando as mais promissoras. Dentro do critério adotado, os domos situadas na foz do rio Doce, particularmente, os domos Yemanjá, Janaína e Mucunã (este opcional) são aparentemente, os mais promissores para a pesquisa de enxofre em toda a área estudada. Isso, por apresentarem nas seções sísmicas boas evidências de existência de rocha-capas e por estarem penetrando rochas permo-porosas da Formação Rio Doce, que lhes proporcionam ótimas condições para formação da mesma. Além disso, o fato de já ter havido recuperação de hidrocarbonetos em poços da área, valoriza grandemente, a prospectividade dos mesmos.

Um aspecto muito importante a considerar, é que os estudos e os dados disponíveis, como não podia deixar de ser, não asseguram a existência de enxofre nas rochas capeadoras selecionadas. Todavia permitem descartar os domos desinteressantes e, calcado no maior número de informações que foi possível se dispor, selecionar aqueles mais favoráveis.

Poder-se-ia pensar em estudos mais detalhados para se obter um grau de segurança ainda maior, mas para tanto, teria que se recorrer a execução de levantamentos sísmicos de refração, que no fim, praticamente alcançariam os custos do teste direto com broca, além de ainda não assegu-

rarem a presença de enxofre, mas apenas a da rocha capendo ra.

Assim, a única coisa objetiva que se pode fazer é executar as perfurações.

5. METODOLOGIA

5.1 - Etapas de Trabalho

Seriam 3 as etapas de trabalho, a saber:

- a primeira compreenderia a fase operacional, abrangendo a localização, mudança e execução dos poços.
- a segunda seria a das análises e interpretação dos dados, obtidos nas perfurações.
- a terceira e última compreenderia a execução do relatório final, contendo a definição das reais potencialidades da área e recomendando o prosseguimento ou não dos trabalhos.

5.2 - Prazos de Execução

5.2.1 - Prazo por etapas

1ª Etapa - para a perfuração e DTM dos dois furos nos domos Janaina e Yemanjá seriam necessários no máximo 10 dias para cada um, perfazendo um total de 20 dias.

No caso de se perfurar também o domo Macunã, seriam necessários mais 10 dias, perfazendo assim um total de 30 dias. Apesar deste domo ser mais profundo, o tempo de perfuração seria praticamente o mesmo, uma vez que a zona a testemunhar tem aproximadamente a mesma espessura dos demais.

Para o cálculo da execução da 1ª Etapa, alguns

fatores têm que ser levados em consideração, tais como: tempo de DTM (estimado em aproximadamente 4 dias); tempo de pega (no caso de haver revestimento de superfície ou cimentação do T.C.); tempos de testes de formação; testemunhagem contínua de aproximadamente 150 m em cada furo; tempo de perfilagem; possíveis perda de circulação na rocha capeadora; possíveis ocorrências de HC, que, de acordo com a avaliação, deverão ser também testadas, etc.

Apesar de ser um furo raso, cuja perfuração até 400 m ou 500 m não deve levar mais do que 15 a 20 horas de broca ao fundo, os fatores acima, inclusive o DTM e a testemunhagem da rocha capeadora, fizeram com que o tempo mínimo para cada furo, fosse calculado em 10 dias.

2ª Etapa - os trabalhos de análise, interpretação e integração dos dados se desenvolveriam concomitantemente com a execução da fase operacional e por mais 30 dias após o término do último furo.

3ª Etapa - para a execução do relatório final seriam necessários 60 dias após o término da 2ª etapa.

5.2.2 - Prazo total

Considerando que sejam perfurados dois furos, sendo um no domo Janaina e outro no Yemanjá, o prazo total para execução do Projeto seria de 3 meses e 20 dias.

No caso de se perfurar também o domo Mucunã, este prazo seria aumentado para 4 meses, no máximo.

5.3 - Programa de Perfuração e Acompanhamento

- Para os domos Janaina e Yemanjá, perfurar com broca até aproximadamente 150 m, a depender do material que estará sendo penetrado. A partir desta profundidade realizar testemunhagem contínua da rocha capeadora, com recuperação mínima de 90%, até se atingir o topo do sal. Para o Mucunã (opcional) perfurar com broca até 620 m e a partir daí, iniciar a testemunhagem contínua, com recuperação de 90%, até o topo do sal.

- O furo será dado por concluído após penetrar cerca de 80 metros dentro do núcleo de sal. A previsão para a profundidade final dos furos sobre os domos Yemanjá e Janaina é de 370 e 400 metros, respectivamente e para o Mucunã (opcional) 900 m.

- As profundidades e diâmetros do tubo condutor e/ou revestimento de superfície serão posteriormente definidas.

- Deverá ser utilizada lama à base de sal.

- Após se atingir a profundidade final, o furo deverá ser devidamente condicionado para a execução da perfilagem final. Serão corridos os seguintes perfis:

- Laterolog - do fundo até a sapata do revestimento de superfície, ou do tubo condutor.

- Sônico (BHC) - idem

- Caliper - idem

- Densidade (FDC) - idem

- Neutrão (CNL) - idem

- Gama - idem



CPRM

As escalas de registro utilizadas serão 1:1.000 e 1:200.

A execução dos serviços de perfilagem poderá ser feita pela Schlumberger.

- Durante a perfuração do intervalo correspondente à rocha capeadora, deverão ser realizados testes de formação, de preferência convencional para se assegurar melhor êxito. Tais testes deverão ser feitos em zonas de melhor transmissibilidade dentro da rocha capeadora, o que será definido pelos geólogos encarregados do acompanhamento do furo.

Os testes deverão ser devidamente amostrados, coletando-se no mínimo 1 litro do topo, 1 litro do meio e 1 litro da base do recuperado. No caso de recuperar gás, coletar amostra em recipientes apropriados, que poderão ser fornecidos pela Petrobrás.

Tais amostras deverão ser bem acondicionadas vedando-se as tampas dos litros e etiquetando-as com a designação do poço, número e intervalo do teste, quantidade do recuperado em metros na coluna de perfuração e posição da mesma, se no topo, meio ou base do recuperado.

Quando do início do furo será fornecido ao geólogo um programa especial para acompanhamento e execução dos testes de formação, definindo os tempos de fluxo, pressões hidrostáticas, estáticas, etc.

As amostras de recuperado juntamente com as cartas de registro do teste, informações de temperatura, etc, deverão ser enviados imediatamente à SUREMI no Rio.

- Indícios de Hidrocarbonetos: caso ocorram, tais indícios deverão ser devidamente avaliados pelos geólogos encarregados do acompanhamento dos poços. Se julgados conve-

nientes, deverão ser efetuados testes de formação, sendo o procedimento semelhante ao exposto no item anterior.

Ainda para avaliação de tais indícios, poderia, caso se consulte a Petrobrás e esta se interesse, se instalar um detetor de gás em cada furo.

Para detecção da presença de hidrocarbonetos, todas as amostras (calha ou testemunho) deverão ser vistas no fluoroscópio e testadas com CCL₄, se for o caso, para avaliação do corte de HC.

- Amostras de calha deverão ser coletadas a cada 3 metros e descritas sob lupa binocular, concomitantemente com a perfuração. Tais amostras serão acondicionadas em saquinhos de pano, que serão fornecidos quando do início do furo.

Cada saquinho será etiquetado com o intervalo e com o número do furo.

Conforme já dito no item anterior, todas as amostras deverão ser vistas no fluoroscópio.

- Testemunhos - a descrição deverá ser também concomitantemente com a perfuração. Cada caixa deverá ser devidamente etiquetada com a designação do poço, nº do testemunho, intervalo e topo e base na caixa.

- Zonas de interesse: as zonas de interesse dos intervalos testemunhados deverão ser acondicionadas em caixas individuais. Tais testemunhos deverão ser parafinados após serem envoltos em papel alumínio do tipo Rochedo e enviados imediatamente ao LAMIN - RIO, anotando na etiqueta os tipos de análises que deverão ser realizadas, bem como o furo, nº de testemunho, intervalo e topo e base na caixa.

- Para o acompanhamento de cada furo serão necessários dois geólogos e um engenheiro de perfuração fiscal, em tempo integral na sonda.

- Deverá ser coletada amostra de água na superfície e no fundo (com auxílio da garrafa de Nansen), na área da locação. Tais amostras deverão ser bem acondicionadas em latas, misturadas com um líquido antifúngico e fechada hermeticamente, conforme o procedimento já adotado no Projeto REMAC.

- Sempre que um furo for perfilado, os perfis com as cópias correspondentes, contendo informações essenciais tais como, propriedades da lama de perfuração, coordenadas UTM e geográficas, etc., deverão ser encaminhadas à SUREMI no Rio.

- O término de cada furo deverá ser comunicado imediatamente à SUREMI e os seus resultados sumarizados em breves relatos através de radiograma.

5.4 - Amostragem para Estudos de Laboratório

- Os testemunhos, bem como as amostras de cascalhas solicitadas, devidamente acondicionados, deverão ser enviados diretamente ao LAMIN para estudos petrográficos, químicos e paleontológicos.

- Também as amostras de água coletadas e os fluídos recuperados nos testes de formação, deverão ser encaminhados diretamente ao LAMIN para análises químicas e geoquímicas.

- Outras análises que forem necessárias, poderão ser solicitadas.

- Os resultados de todas análises deverão ser encaminhadas ao DEGEO/DIGEOM.

- Serão realizadas as seguintes análises:

Análises Petrográficas - de testemunhos, com identificação de todos os componentes e definição de suas relações para genéticas. Ao todo deverão ser efetuadas 30 análises por poço, dentro da rocha capeadora, a intervalos médios em torno de 5 metros. Deste modo, estima-se um total de 60 análises para os poços nos domos Janaina e Yemanjá e 90, se for perfurado o Lucunã.

Análises Químicas - de água superficial e de fundo, com de
terminação de $\text{Ca}^{++}\text{So}_4 =$
 $\text{Na}^{++}\text{CO}_3 =$
 $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$
 H_2S e S
Silica
Sólidos totais

Estima-se que se efetuarão 2 análises por poço.

Análises Químicas - do fluido recuperado em testes de formação, com as mesmas determinações anteriores para o caso de água, ou com determinação de hidrocarbonetos, no caso de sua recuperação.

Estima-se que serão realizadas 2 análises deste tipo para cada poço.

Análises Paleontológicas - da superfície até o topo de sal, a cada 50 m. Prevê-se a análise de 6 amostras para o Janaina, 5 para o Yemanjá e 13 para o Lucunã, se este for perfurado.

5.5 - Relatórios e Radiogramas de Acompanhamentos

- Tanto as amostras de calha como os testemunhos deverão ser descritos concomitantemente com a perfuração e datilografados na folha de descrição de amostras, conforme o modelo já usado no Projeto Carvão do Alto Solimões.

- Deverão ser enviados ao Departamento encarregado do acompanhamento do Projeto, radiogramas diários de nominados de Boletins Diários de Geologia e Sondagem (BDGS) contendo as informações de interesse, conforme já se vem procedendo no Projeto Carvão do Alto Solimões.

- Ao término de cada furo, será feito um Relatório de Término de Furo, de acordo com o modelo também utilizado naquele Projeto.

5.6 - Relação dos Furos Programados e Profundidades

5.6.1 - Domos Janaina e Yemanjá

Domo Janaina - Previsões

Espessura da lâmina D'água	- 46 m
Topo da Zona de Interesse	- 150 m
Topo do Sal	- 300 m
Profundidade Final	- 400 m

Domo Yemanjá - Previsões

Espessura da Lâmina D'água	- 63 m
Topo da Zona de Interesse	- 120 m
Topo do Sal	- 270 m
Profundidade Final	- 370 m

5.6.2 - Domo Tucunã (opcional) - Previsões

Espessura da Lâmina D'água	- 70 m (aprox.)
Topo da Zona de Interesse	- 650 m (")
Topo do Sal	- 800 m (")

5.6.3 - Metragem Total

A metragem a ser perfurada nos domos Janaina - (400 m) e Yemanjá (370 m) é de 770 m.

No caso de se perfurar também o Mucunã esta metragem passa a 1 670 m.

6. ESTIMATIVA ORÇAMENTÁRIA PRELIMINAR

6.1 - Aluguel da Plataforma de Perfuração

Somente o aluguel do equipamento, i.é, da plataforma de perfuração para operar em lâmina d'água de até 70 m, atinge a cifra de US\$ 12,000.00/dia.

Com a inclusão dos custos de pessoal, barco de apoio (este, em média, US\$ 5,000.000), etc, estima-se que o custo médio de uma plataforma de perfuração fica em torno de US\$ 30,000.00/dia. Para 20 dias se teria então o custo, de US\$ 600,000.00 e para 30 dias, no caso de se perfurar o Mucunã, de US\$ 900,000.00.

6.2 - Testes de Formação

Como está previsto a perfuração de apenas dois domos, cujas profundidades finais dos furos serão inferiores a 500 m, os cálculos para custos dos testes de formação foram feitos até esta profundidade.

Custos adicionais, deverão ser previstos no caso de se perfurar também o domo Mucunã, pois sua profundidade final atinge a 900 m.

Assim, até 500 m, têm-se:

- Para um intervalo de teste de até 11 m, usando-se um registrador e um obturador, o preço fica em



US\$ 878.75 por teste. O obturador adicional, que é em geral usado para garantir melhor êxito, custa mais US\$ 158.68 por teste.

No caso de se usar também mais um registrador o preço seria acrescido de mais US\$ 115.28 por teste.

Estes preços são, por sua vez, condicionados a um tempo máximo de teste de 8 horas, que seria suficiente para o caso. Entretanto, se o tempo de teste ultrapassar as 8 horas, paga-se mais US\$ 10.58 por cada hora adicional.

Além destes custos, tem-se ainda o aluguel do equipamento de teste, que alcança cerca de US\$ 1,804.18/mês e o preço do operador da companhia executora, cuja cifra atinge cerca de mais US\$ 5,425.00/mês.

Deste modo o custo de um Teste de Formação seria:

Taxa básica	-	US\$	878.75
Obturador Adicional	-		158.68
Registrador Adicional	-		115.28
Taxa de "stand-by"			
mensal do equipamento	-		1,904.18
Taxa de "stand-by"			
mensal do operador	-		5,425.00
			<hr/>
	TOTAL	US\$	8,481.89

Como as duas últimas taxas são mensais, seriam divididas pelo número total de testes realizados no mês. Assim, estimando-se a realização de 4 testes por mês, sendo dois no Yemanjá e dois no Janaina, o custo para cada teste seria de US\$ 3,010.00 e o custo total para os domos citados, alcançaria a cifra de US\$ 12,040.00.

No caso de se perfurar também o domo Mucunã, onde se estima que seriam realizados mais dois testes, por fazendo assim um total de seis testes de formação, o custo por cada um seria de US\$ 2,374.24, alcançando o valor total US\$ 14,245.44.

Esta cifra poderia ser ligeiramente modificada já que o domo Mucunã é mais profundo que os demais.

6.3 - Perfilagem

	US\$
Furo Janaina	
Taxa Básica	624.00
LL Taxa Prof. (min.)	325.00
Taxa Pesq. 350 x 0,47	164.50
GR-BHC Taxa Prof. (min.)	648.00
Taxa Pesq. GR 400 x 0,47	188.00
Taxa Pesq. BHC 350 x 0,80	280.00
FDC Taxa Prof. (min.)	576.00
Taxa Pesq. 350 x 0,80	280.00
Neutrão CNL Taxa Prof. (min.)	624.00
Taxa Pesq. 350 x 0,89	311.50
Trabalhos Marinhos 20%	804.20
SOB-TOTAL	US\$ 4825.20

	US\$
Furo Yemanjá	
Taxa Básica	624.00
LL Taxa Prof. (min.)	235.00
Taxa Pesq. 320 x 0,47	150.40
BHC/GR Taxa Prof. (min.)	648.00
Taxa Pesq. GR 370 x 0,47	173.90
Taxa Pesq. BHC 320 x 0,80	256.00



CNL Taxa Prof. (min.)	624.00	
Taxa Pesq. 320 x 0,89	284.30	3917.10
Trabalhos Marinhos 20%	783.62	
SUB-TOTAL	US\$	4701.72

Furo Mucunã

Taxa Básica	624.00	
LL Taxa Prof. 900 x 0,65	585.00	
Taxa Pesq. 850 x 0,47	399.50	
GR-BHC Taxa Prof. 900 x 1,03	972.00	
GR Taxa Pesq. 900 x 0,47	423.00	
BHC Taxa Pesq. 850 x 0,80	680.00	
FDC Taxa Prof. 900 x 0,96	864.00	
Taxa Pesq. 850 x 0,80	680.00	
CNL Taxa Prof. 900 x 1,04	936.00	
Taxa Pesq. 850 x 0,89	756.50	
	US\$	6920.00
Trabalhos Marinhos 20%	1,384.00	
SUB-TOTAL	US\$	8304,00

1ª Opção: Apenas furos Janaina e Yemanjá

Janaina	US\$ 4,825.20	
Yemanjá	4,701.72	
20%	1,905.38	
Aluguel do skid mounted	5,790.00	
Ded. de 20% da Oper.	1,905.38	
		3,884.62
Standing by do Eng.	5,350.00	
Dedução de 20% da Oper.	1,905.38	
		3,444.62

Total da Opção 1 = US\$ 16,356.16

2ª Opção: Todos os 3 furos em 1 mês

Janaina US\$ 4,825.20

Yemanjá 4,701.72

Mucunã 8,304.00

20,3 3,566,18

Aluguel do Skid Mounted US\$ 5,790.00

Dedução de 20% da Oper. 3,566.18

2,223.82

Standing by do Eng. 5,350.00

Dedução de 20% de Oper. 3,566.18

US\$ 1,783.82

Total da 2ª Opção = US\$ 21,838.56

6.4 - Apoio

6.4.1 - Transporte

Para o apoio e transporte de pessoal, será necessário um helicóptero alugado sob regime de arrendamento, que ficará baseado em Vitória - ES.

O modelo biturbina, com capacidade para 4 pessoas ou 500 kg, além do piloto, fica por um preço de Cr\$ 174.000,00 por mês, mais Cr\$ 1.500,00 por hora de vôo.

Assim, admitindo que o helicóptero voe pelo menos 20 horas por mês têm-se:

Arrendamento Cr\$ 174.000,00

20 horas de vôo 30.000,00

Cr\$ 204.000,00

6.4.2 - Outras Despesas

Pode-se prever despesas adicionais como transporte de pessoal de e para Vitória, transportes de equipa-mentos, posicionamento dos furos, etc., que aumentarão con-sideravelmente as despesas de apoio em torno de 40,3 em rela

ção ao valor acima. Deste modo pode-se admitir um valor de Cr\$ 30.000,00 para estas despesas.

6.4.3 - Estimativa do Custo Final de Apoio

Considerando os custos dos itens 6.4.1 e 6.4.2 têm-se para as despesas de apoio um valor estimado em torno de Cr\$ 284.000,00.

6.5 - Análises de Laboratório

6.5.1 - Análises Petrográficas

O custo de uma análise completa foi calculado em Cr\$ 50,00 cada uma.

Domo Janaina

30 análises petrográficas completas	Cr\$	13.500,00
6 fotomicrografias		<u>450,00</u>
	SUB-TOTAL	Cr\$ 13.950,00

Domo Yemanjá

30 análises petrográficas completas	Cr\$	13.500,00
6 fotomicrografias		<u>450,00</u>
	SUB-TOTAL	Cr\$ 13.950,00

Domo Mucunã (opcional)

30 análises petrográficas completas	Cr\$	13.500,00
6 fotomicrografias		<u>450,00</u>
		Cr\$ 13.950,00

Assim, se forem perfurados apenas os domos Yemanjá e Janaina o custo destas análises alcançará a cifra de Cr\$ 27.900,00. Se for também perfurado o Mucunã esta cifra alcançará o valor de Cr\$ 41.850,00.

6.5.2 - Análises Químicas

O preço unitário de cada conjunto de análises foi estimado em cerca de Cr\$ 375,00/conjunto.

Prevendo-se a realização de 4 conjuntos de análises químicas por furo, tem-se:

Domos Janaina e Yemanjá

8 análises Cr\$ 3.000,00

Domo Mucunã (opcional) 1.500,00

Se forem perfurados os 3 domos o custo total de análises químicas ficará em Cr\$ 4.500,00.

6.5.3 - Análises Paleontológicas

O preço de cada análise foi calculado em cerca de Cr\$ 1.100,00, incluindo a determinação do Conteúdo Fossilífero (Palinologia, Macro e Microfósseis), Ambiente e Geocronologia.

Domo Janaina:

6 amostras Cr\$ 6.600,00

Domo Yemanjá:

5 amostras Cr\$ 5.500,00

Domo Mucunã (opcional)

13 amostras Cr\$ 14.300,00

Se forem perfurados apenas os domos Yemanjá e Janaina, os custos de análises paleontológicas alcançarão a cifra de Cr\$ 12.100,00 passando para Cr\$ 26.400,00 se for também perfurado o Mucunã.

6.6 - Pessoal

6.6.1 - Fase Operacional

1ª Opção - Domo Janaina e Yemanjá .

Fases Operacional - 20 dias

Dois Geólogos -	Nível 80	Cr\$ 79.697,76
Um Engº Fiscal -	Nível 77	<u>34.428,80.</u>
	TOTAL	Cr\$114.126,56

2ª Opção - Domo Janaina, Yemanjá e Mucunã

Fases Operacional - 30 dias

Dois Geólogos	Nível 80	Cr\$119.546,64
Um Engº Fiscal	Nível 77	Cr\$ <u>51.643,20</u>
	TOTAL	171.189,84

6.6.2 - Fase de Interpretação - 60 dias

Dois Geólogos	Nível 80	Cr\$ 95.639,04
---------------	----------	----------------

6.7 - Estimativa de Custo Total

Estima-se que para se perfurar apenas os domos Janaina e Yemanjá, o custo total do Projeto alcance um valor de Cr\$ 5.552.212,00 ou US\$ 696,202.00, aproximadamente.

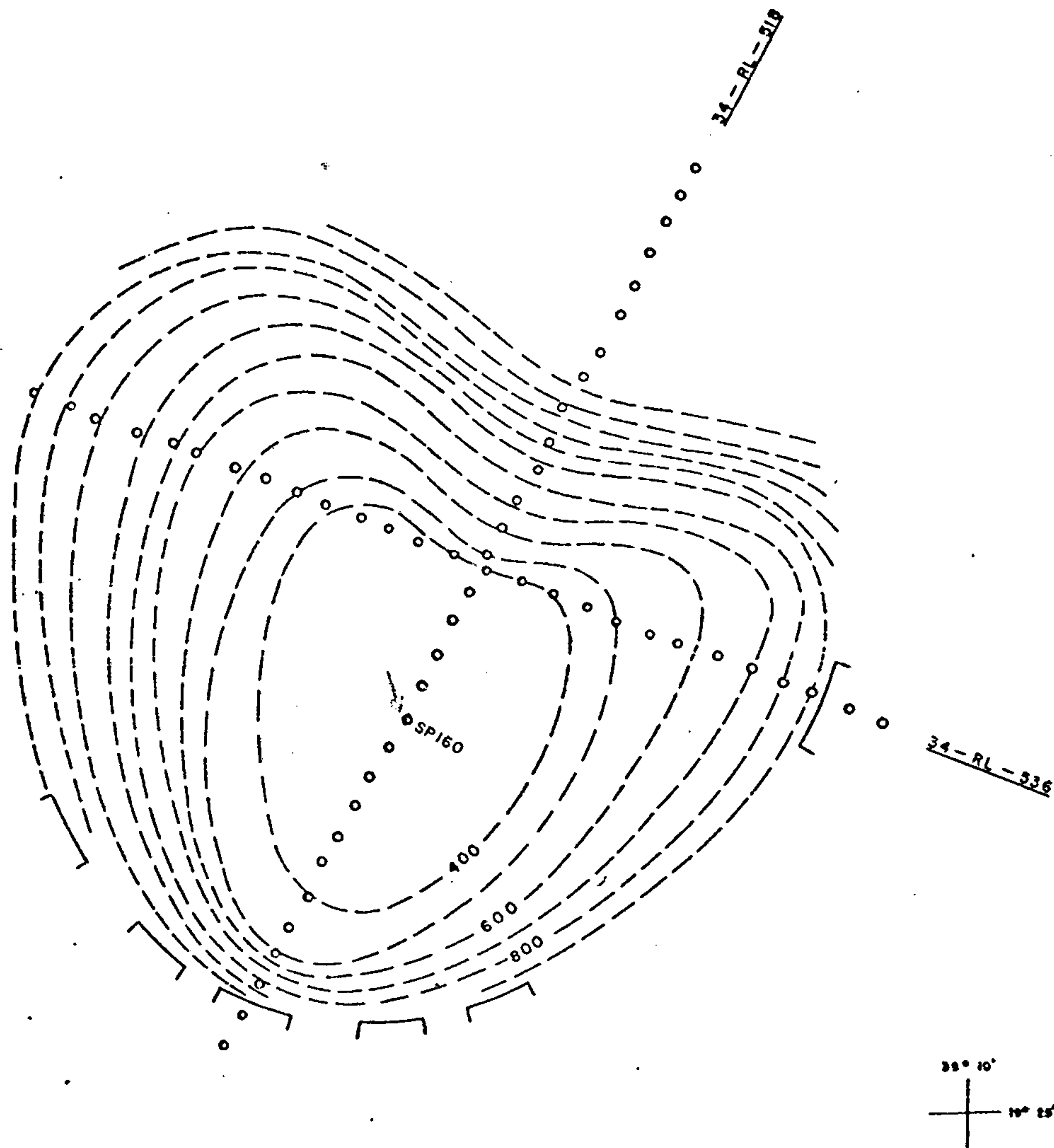
No caso de se perfurar também, além dos dois domos acima, o Mucunã, esta cifra passa para um valor aproximado em torno de Cr\$ 8.088.844,00 ou US\$ 1,014,275.00.



A taxa dolar utilizada para cálculo foi de Cr\$ 7,975.

7. ANEXOS

- 1 - Domo Janaina - Mapa Estrutural do Topo do Sal
- 2 - Domo Yemanjá - Mapa Estrutural do Topo do Sal
- 3 - Domo Mucunã - Mapa Estrutural do Topo do Sal

- 4 - Seção Estratigráfica - Área da foz do rio Doce
- 5 - Seção Estratigráfica - Área de Barra Nova
- 6 - Perfil Litológico - Área da foz do rio Doce
- 7 - Domo Yemanjá - Seção Sísmica 34-RL-515
- 8 - Domo Yemanjá - Seção Sísmica 34-RL-542
- 9 - Domo Janaina - Seção Sísmica 34-RL-518
- 10 - Domo Janaina - Seção Sísmica 34-RL-536
- 11 - Domo Mucunã - Seção Sísmica 34-RL-511
- 12 - Domo Barra Nova - 7/CPRM - Seção Sísmica



 FLANCO DO DOMO ALTAMENTE INCLINADO
 CONTORNO EM MILISEGUNDOS (ido e volta)

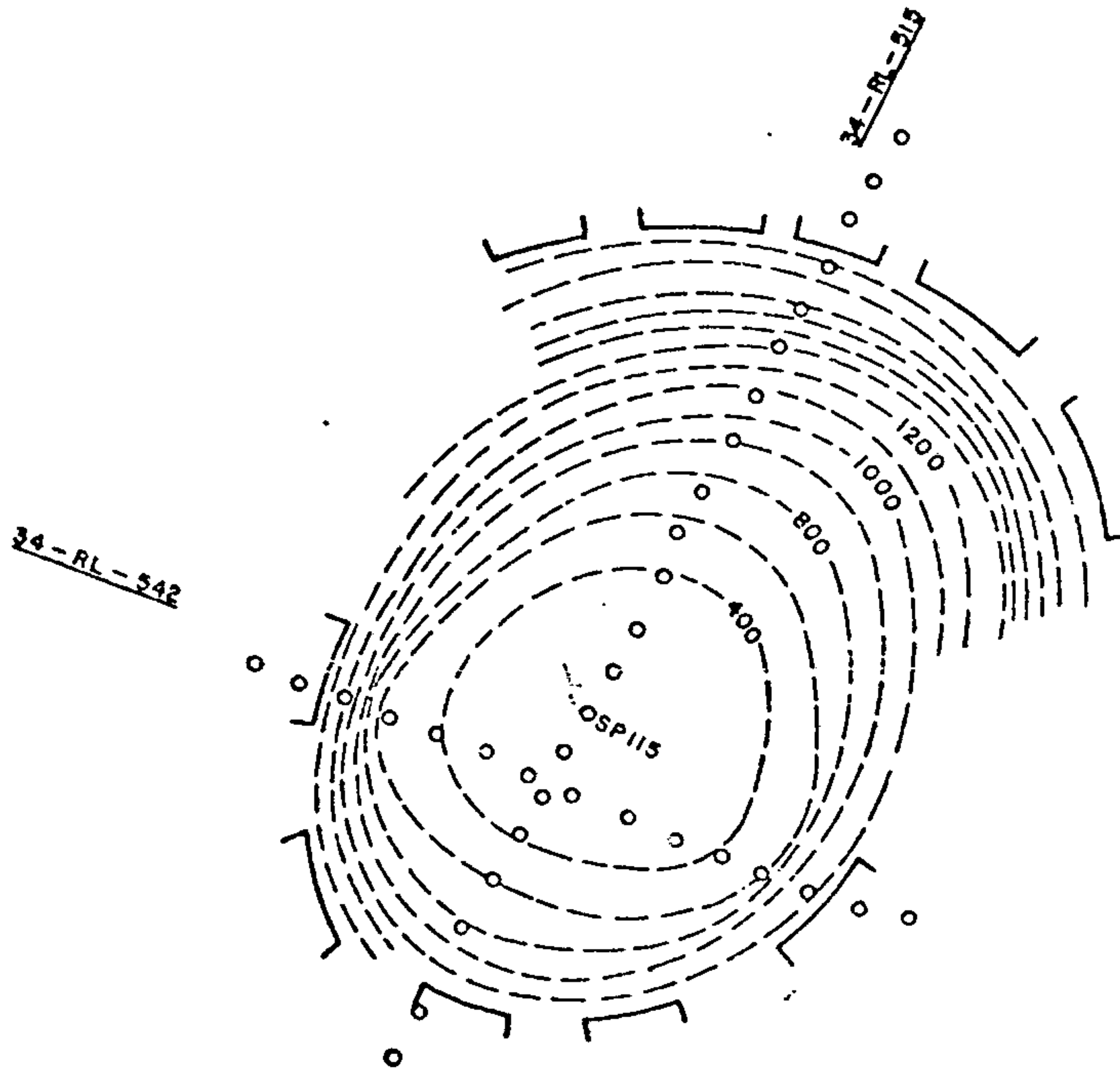


Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

ÁREA - FOZ DO RIO DOCE
 DOMO - JANAÍNA
 MAPA ESTRUTURAL — TOPO DO SAL
 CONTORNO EM MILISEGUNDOS
 IC=100 mseg.

AUTOR	DATA	REL Nº	ANEXO	FOLHA - DIA
JAIRO M.R.	AGO - 73		1	Gen. res

39°15'
+ 19°30'



FLANCO DO DOMO ALTAMENTE INCLINADO



CONTORNO EM MILLISEGUNDOS (ido e volta)

19°35'
39°15'



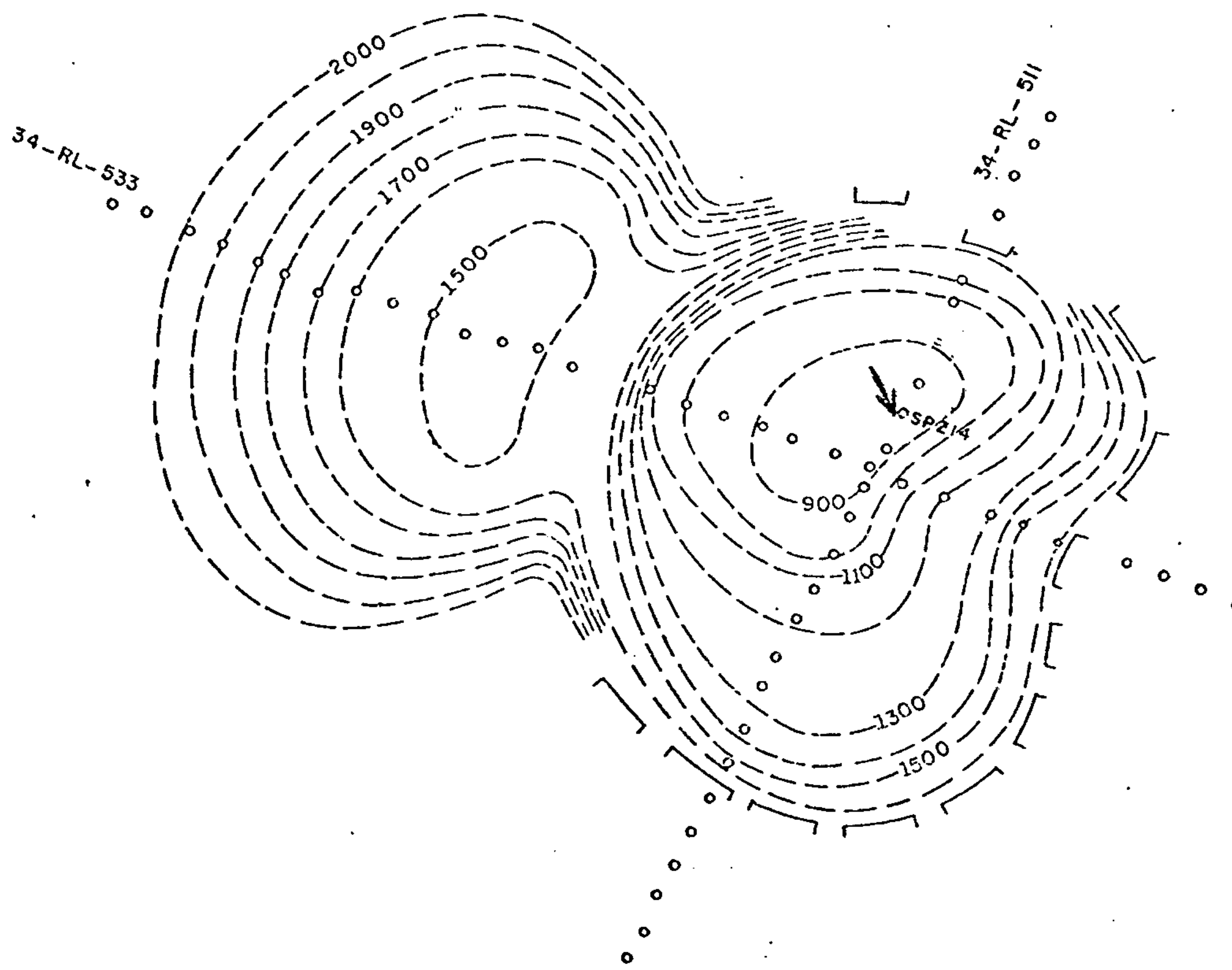
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

ÁREA - FOZ DO RIO DOCE
 DOMO - YEMANJÁ
 MAPA ESTRUTURAL - TOPO DO SAL
 CONTORNO EM MILLISEGUNDOS
 IC=100mseg.

0 500 1000 2000 m

AUTOR	DATA	REL. Nº	ANEXO	DESENHISTA
JAIRO M.R.	AGO - 73		2	Paulos

29° 01'
19° 21' 30"



39° 05'
19° 32' 30"



FLANCO DO DOMO ALTAMENTE INCLINADO

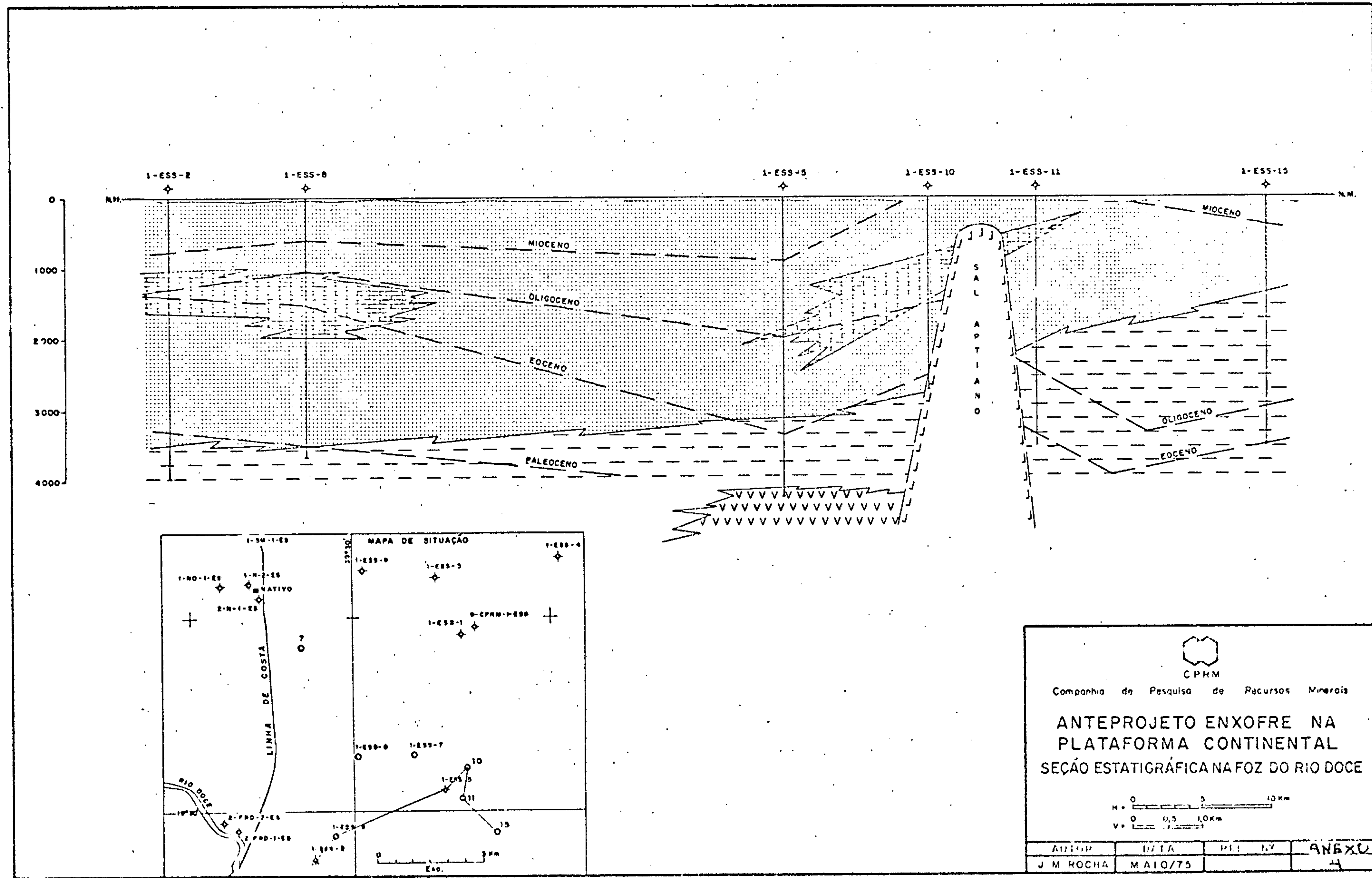
CONTORNO EM MILISEGUNDOS (ido e volta)




Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

ÁREA - FOZ DO RIO DOCE
 DOMO - MUCUNÃ
 MAPA ESTRUTURAL -- TOPO DO SAL
 CONTORNO EM MILISEGUNDOS
 IC = 100 msec.

AUTOR	DATA	FL. Nº	ANEXO
JANIO PER	AGO - 75		3



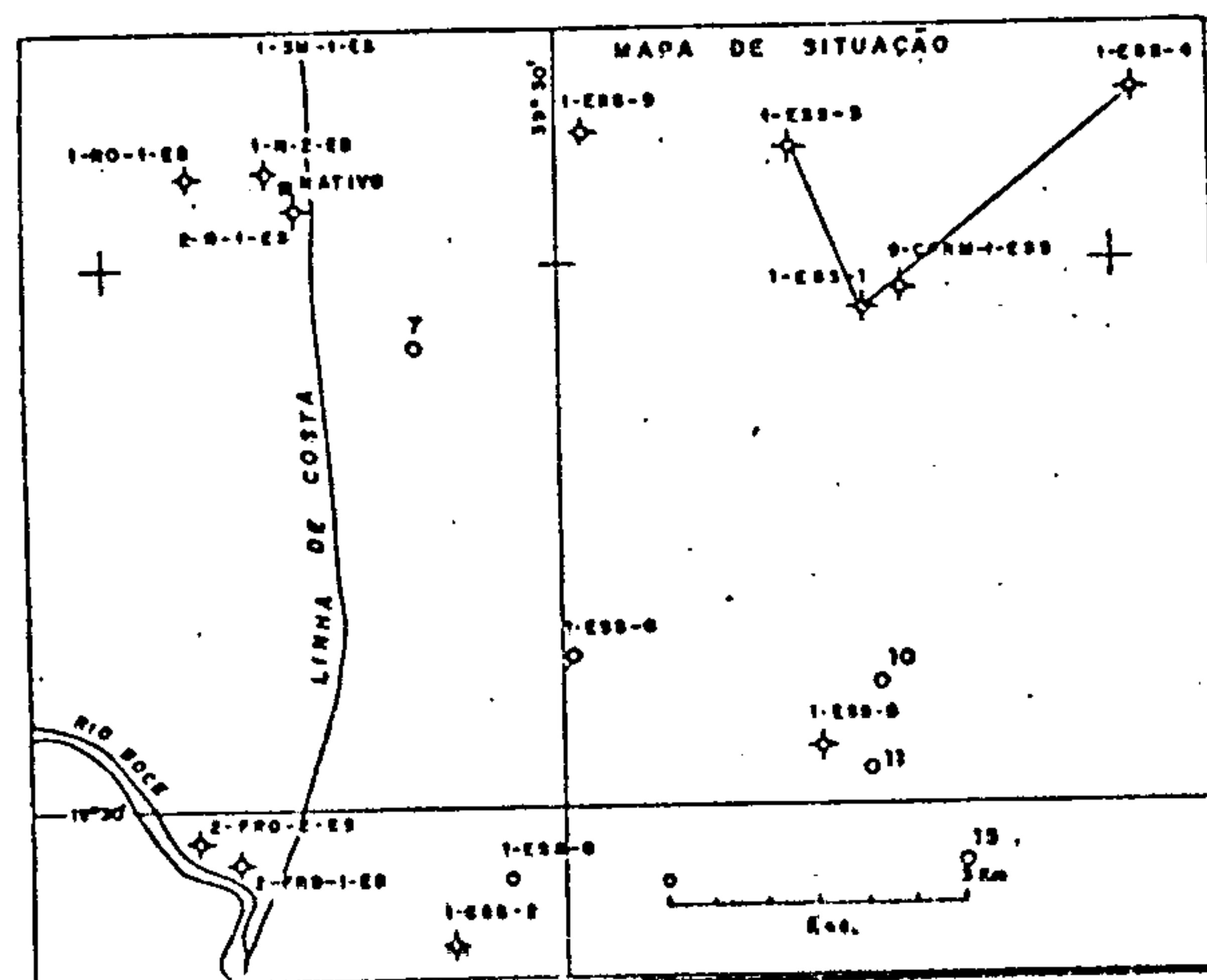
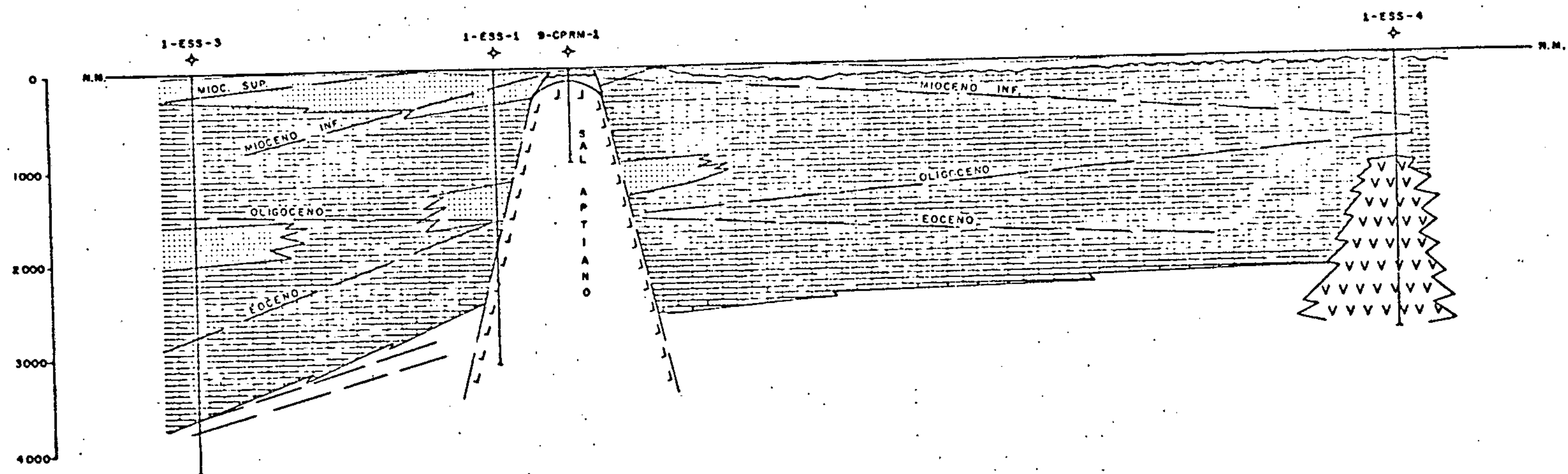

 Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais


**ANTEPROJETO ENXOFRE NA
 PLATAFORMA CONTINENTAL
 SEÇÃO ESTATIGRÁFICA NA FOZ DO RIO DOCE**

M. 0 5 10 Km
 V. 0 0,5 1,0 Km

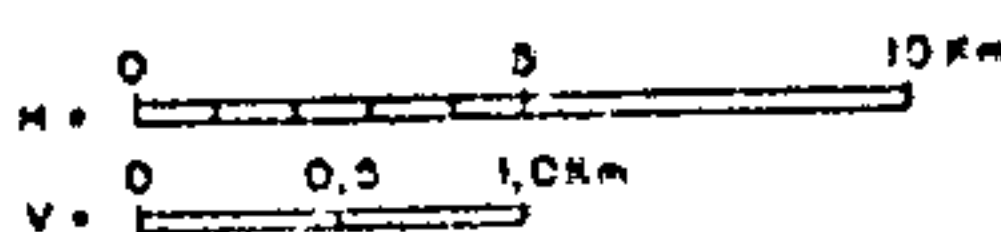
AUTOR	DATA	FOL. Nº	ANEXO
J. M. ROCHA	MAIO/75		4



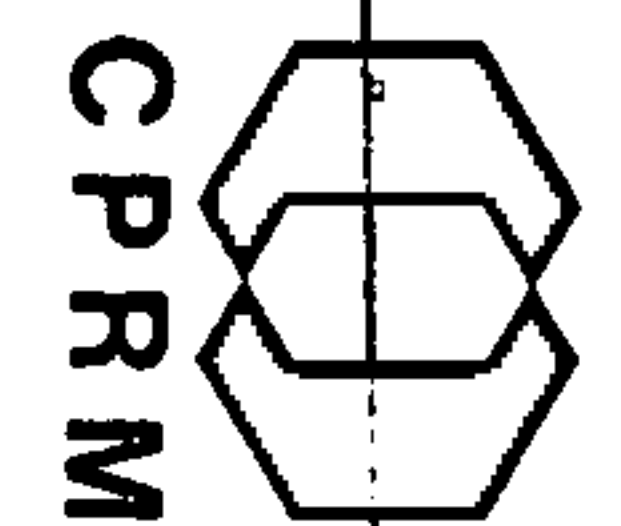


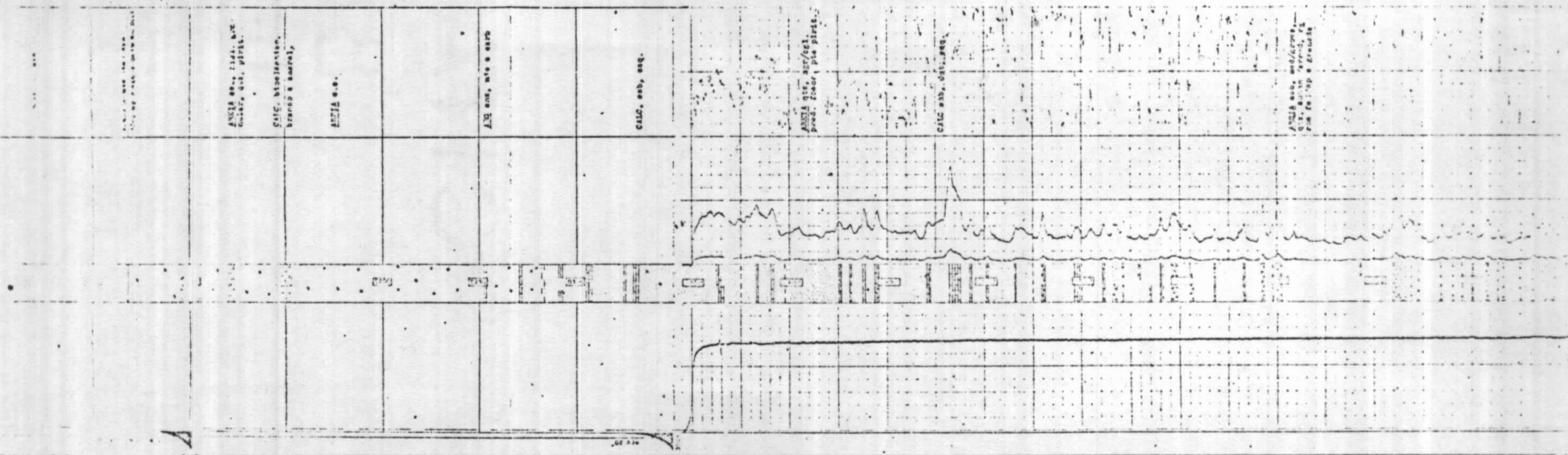

CPRM
 Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

ANTEPROJETO ENXOFRE NA PLATAFORMA CONTINENTAL
SEÇÃO ESTATIGRÁFICA NA ÁREA DE BARRA NOVA



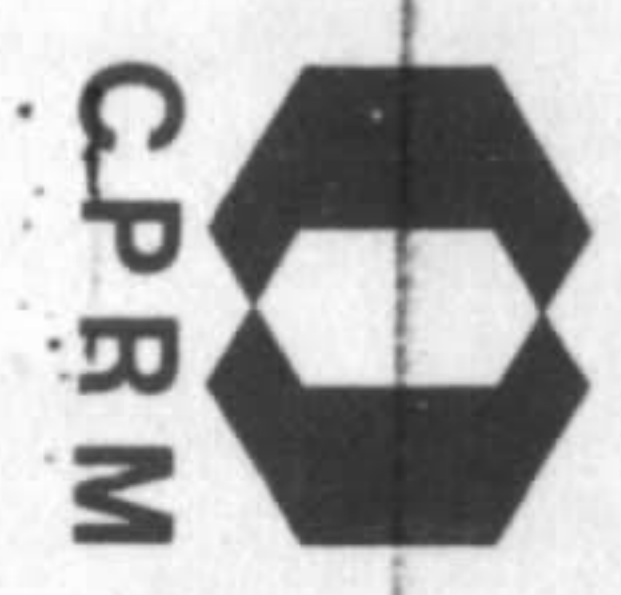
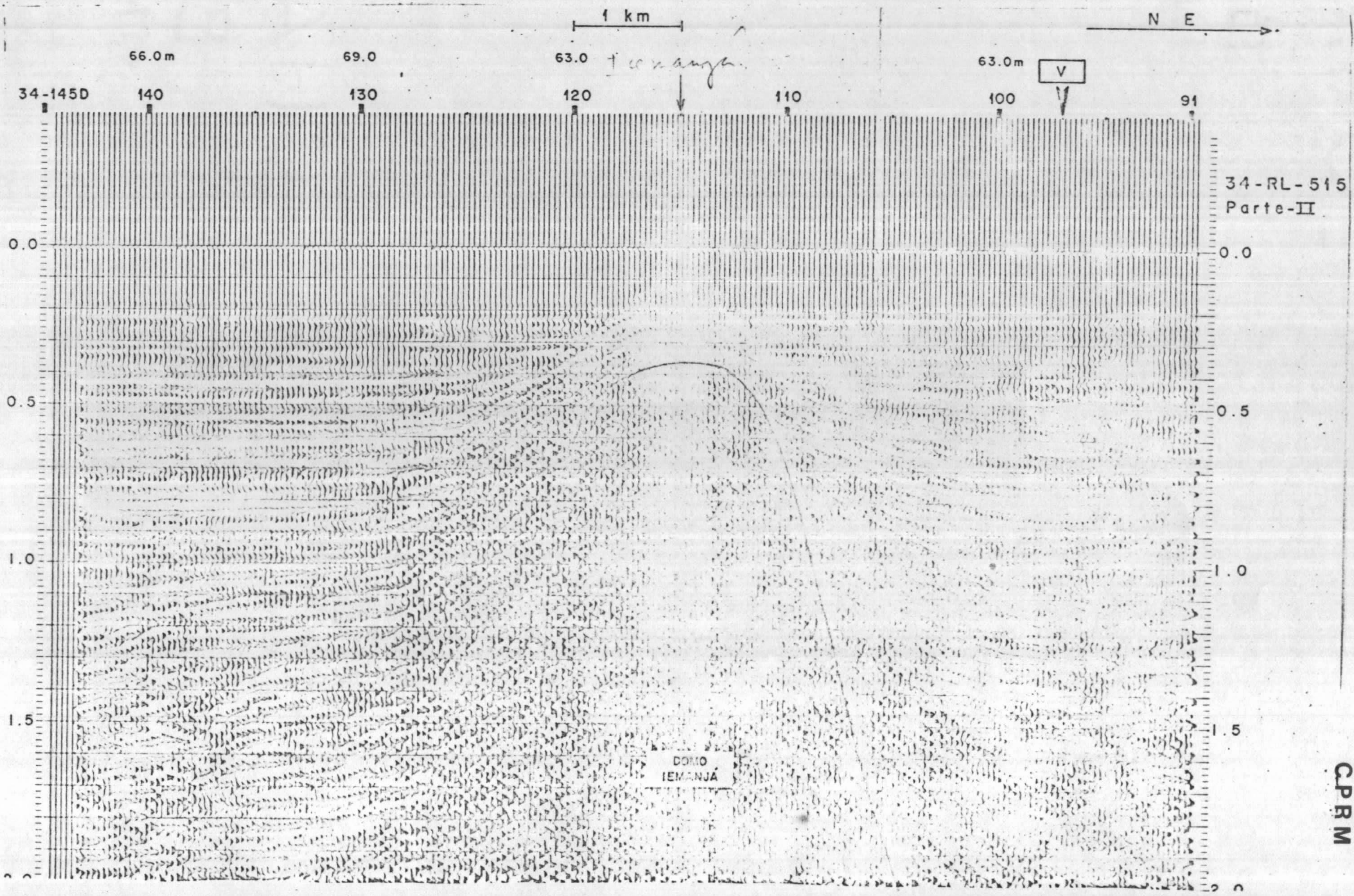
AUTOR	DATA	PEL. Nº	ANEXO
J. M. ROCHA	MA 10/75		5





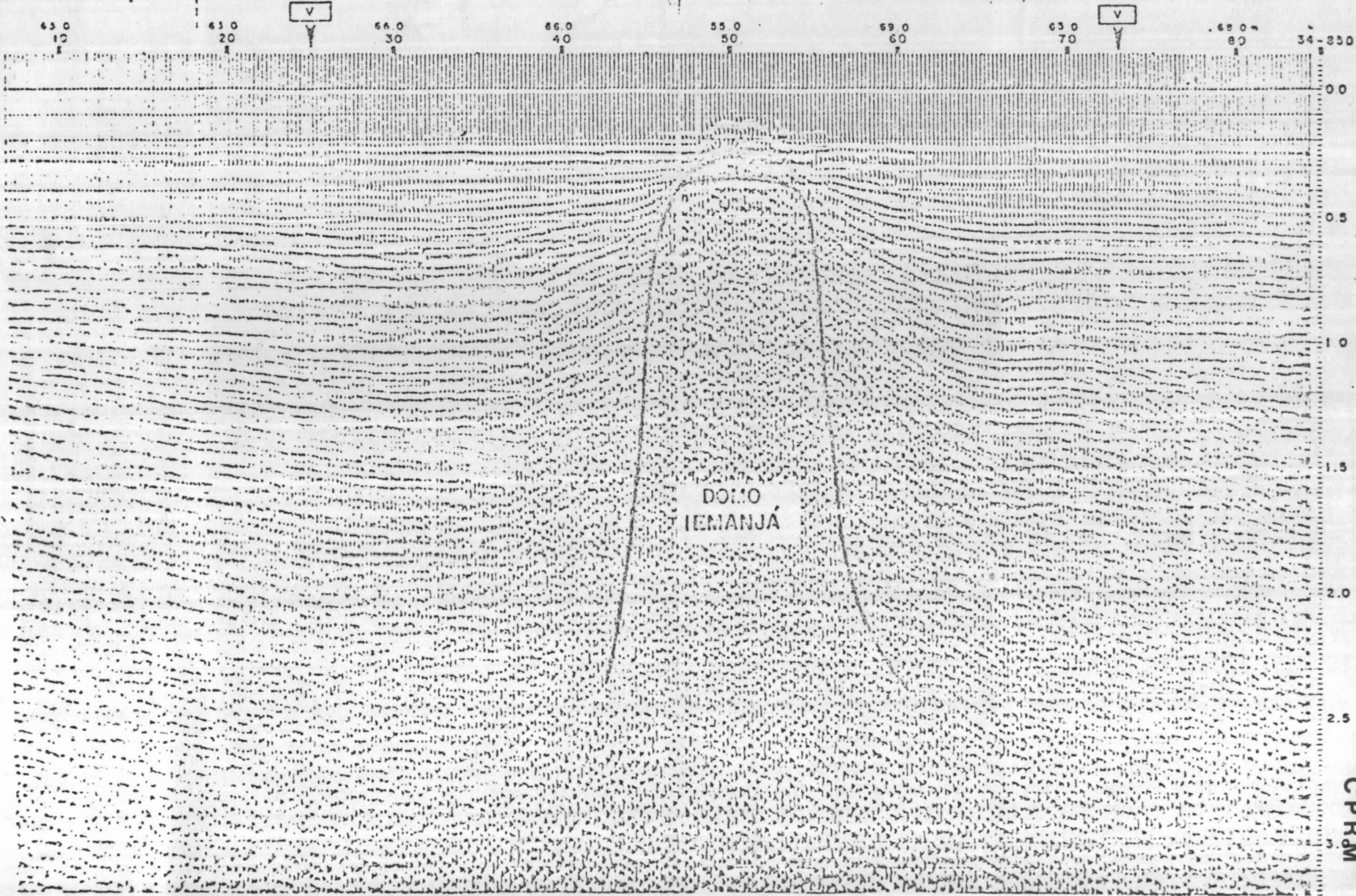
ÁREA- FOZ DO RIO DOCE
 LITOLOGIA PREDOMINANTE: AREIA
 COMPILADO DO PERFIL COMPOSTO DO POÇO
 1-ESS-5
 ANEXO C

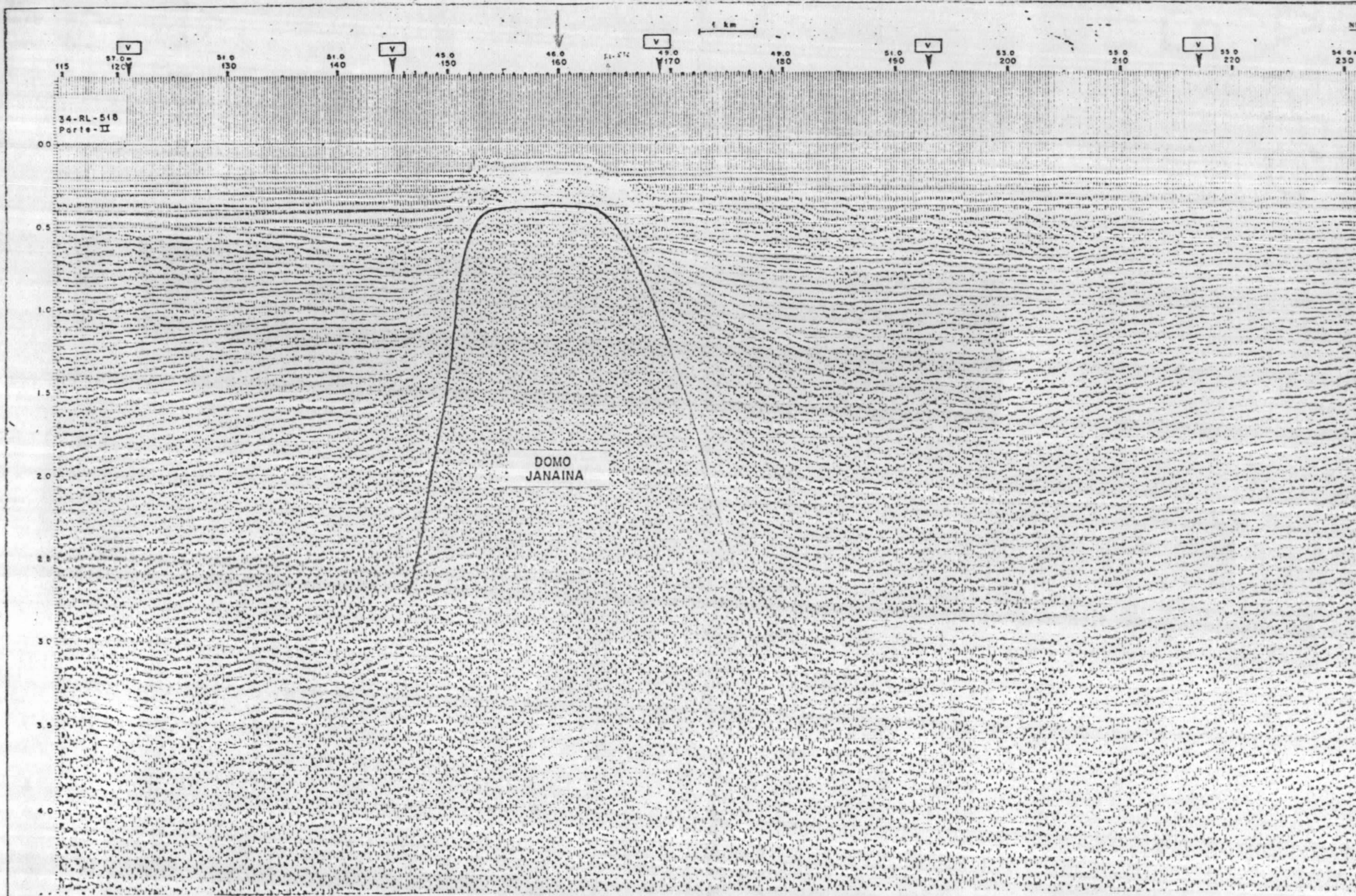


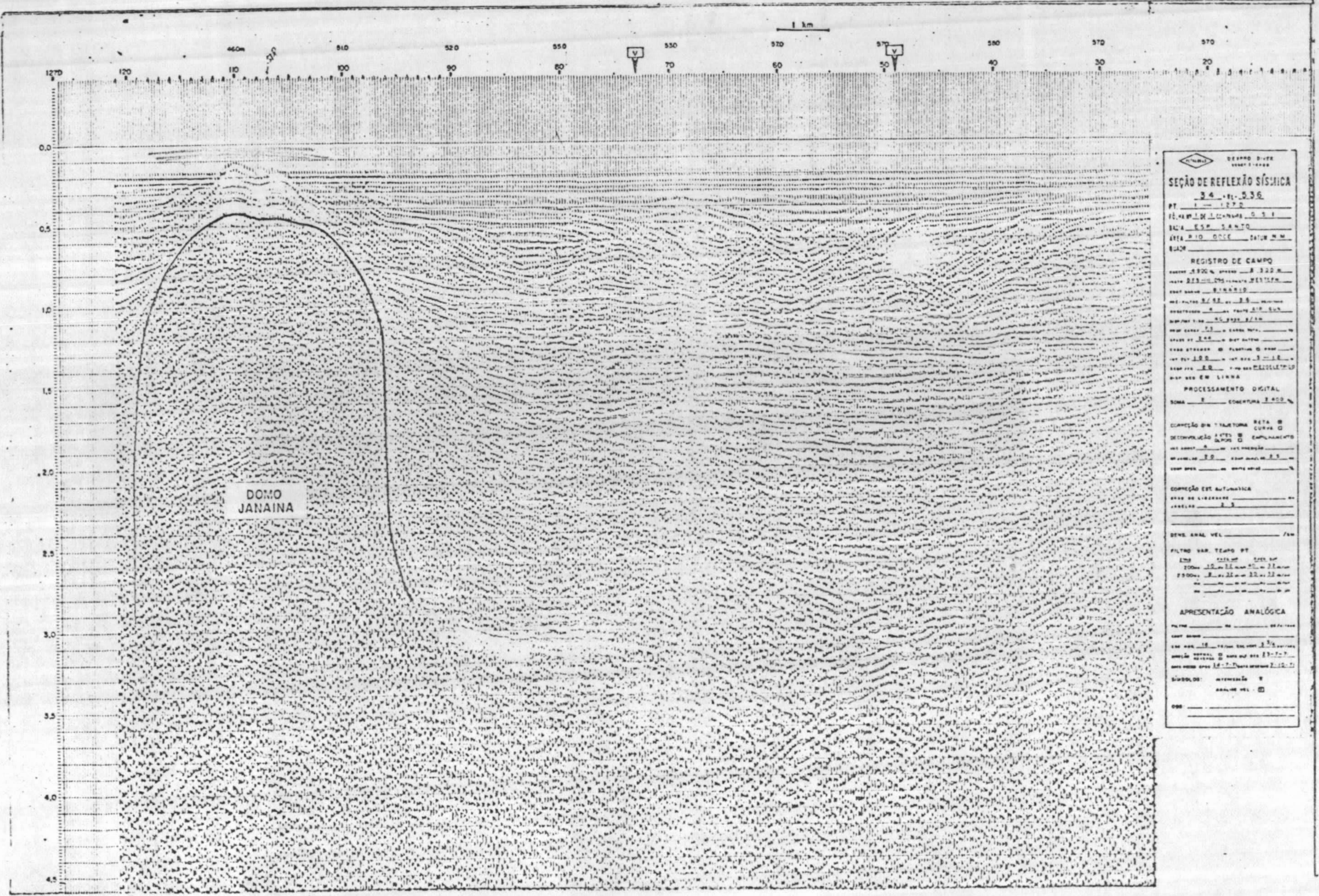


SE

1 km







DEPRD D-178
 SEÇÃO DE REFLEXÃO SÍSMICA
 34-81-536
 PT. 1 - 1772
 IT. 1 - 1772
 LOCAL. 1 - 1772
 DATA. 1 - 1772
 AREA. 1 - 1772
 QUAD. 1 - 1772

REGISTRO DE CAMPO
 INSTR. 1 - 1772
 OPER. 1 - 1772
 DATA. 1 - 1772
 LOCAL. 1 - 1772
 AREA. 1 - 1772
 QUAD. 1 - 1772

PROCESSAMENTO DIGITAL
 SOMA. 1 - 1772
 CORREÇÃO. 1 - 1772

CONDICION. 1 - 1772
 DECOM. 1 - 1772
 FILTRO. 1 - 1772
 GAIN. 1 - 1772
 TIME. 1 - 1772

APRESENTAÇÃO ANALÓGICA
 TIPO. 1 - 1772
 ESCALA. 1 - 1772
 DATA. 1 - 1772
 LOCAL. 1 - 1772
 AREA. 1 - 1772
 QUAD. 1 - 1772

OPD. 1 - 1772



1 km

72.0
230

75.0
220

66.0
210

72.0
200

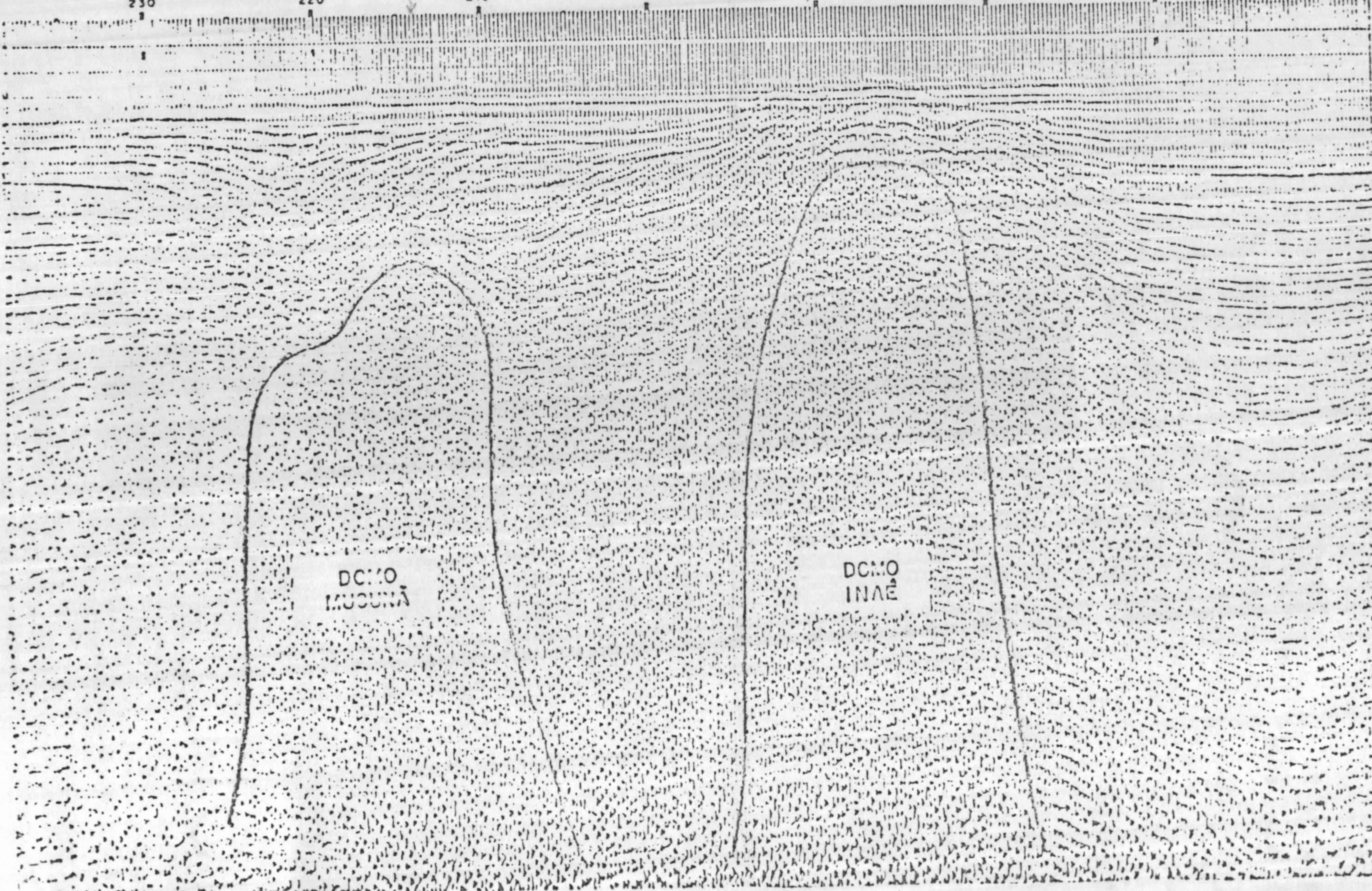
63.0
190

58.0
180

58.0
170

61.0
160

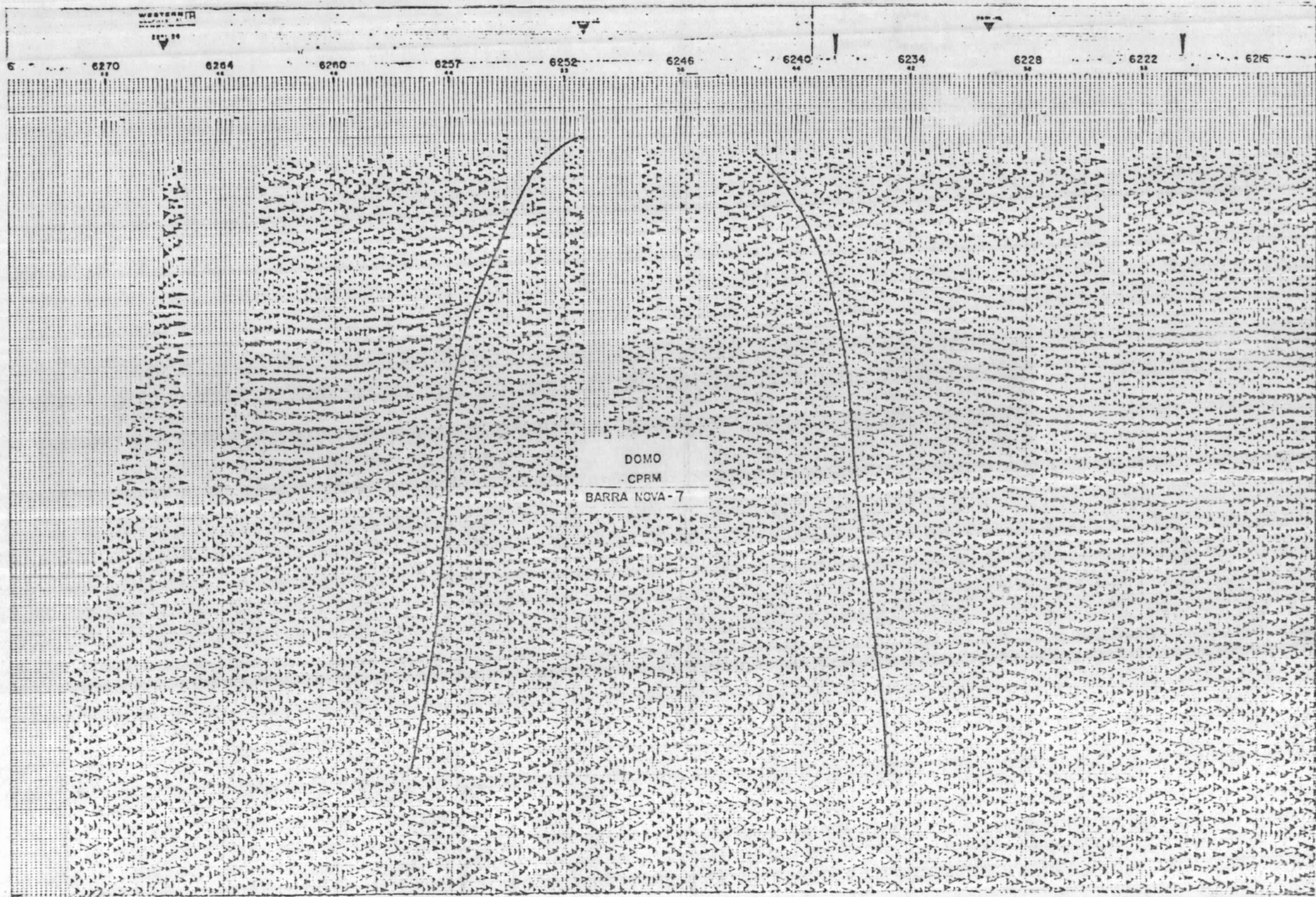
34-RL-511
PLATE II



DOMO
MUCUNA

DOMO
INAE





Anexo II



CPRM

Moço: 0543/DEPEP/77

Data: 08.06.77

Do: DEPEP

Ao: DEGEO

Assunto: Projeto Rio Doce (c.c.2176) - Mapa de Localização e Si
tuação Legal das Áreas Requeridas

Ref. : DDFMs 811.216 a 220/75

1. Em atendimento à solicitação do Sr. Chefe de DIGEOM, encaminho a V.Sa., em anexo, cópia do mapa mostrando a localização das áreas do Projeto em epígrafe, requeridas para anidrita (objetivando enxofre), bem como as 13 (treze) áreas do antigo Projeto Plataforma Continental (c.c.2115), desistidas em 18.03.74.

2. Com relação às áreas do Projeto Rio Doce (processos em referência), informo a V.Sa. que este Departamento recebeu o Ofício nº 1589/77/DFPM, de 23.05.77, notificando a CPRM a efetuar o pagamento das taxas e emolumentos necessários à liberação e publicação dos Alvarás de Pesquisa.

3. Até a presente data, esta notificação não foi publicada no Diário Oficial da União.

ORIGINAL ASSINADO

PELO CHEFE DO DEPEP

FERNANDO DE BRITTO DANTAS
Chefe do DEPEP

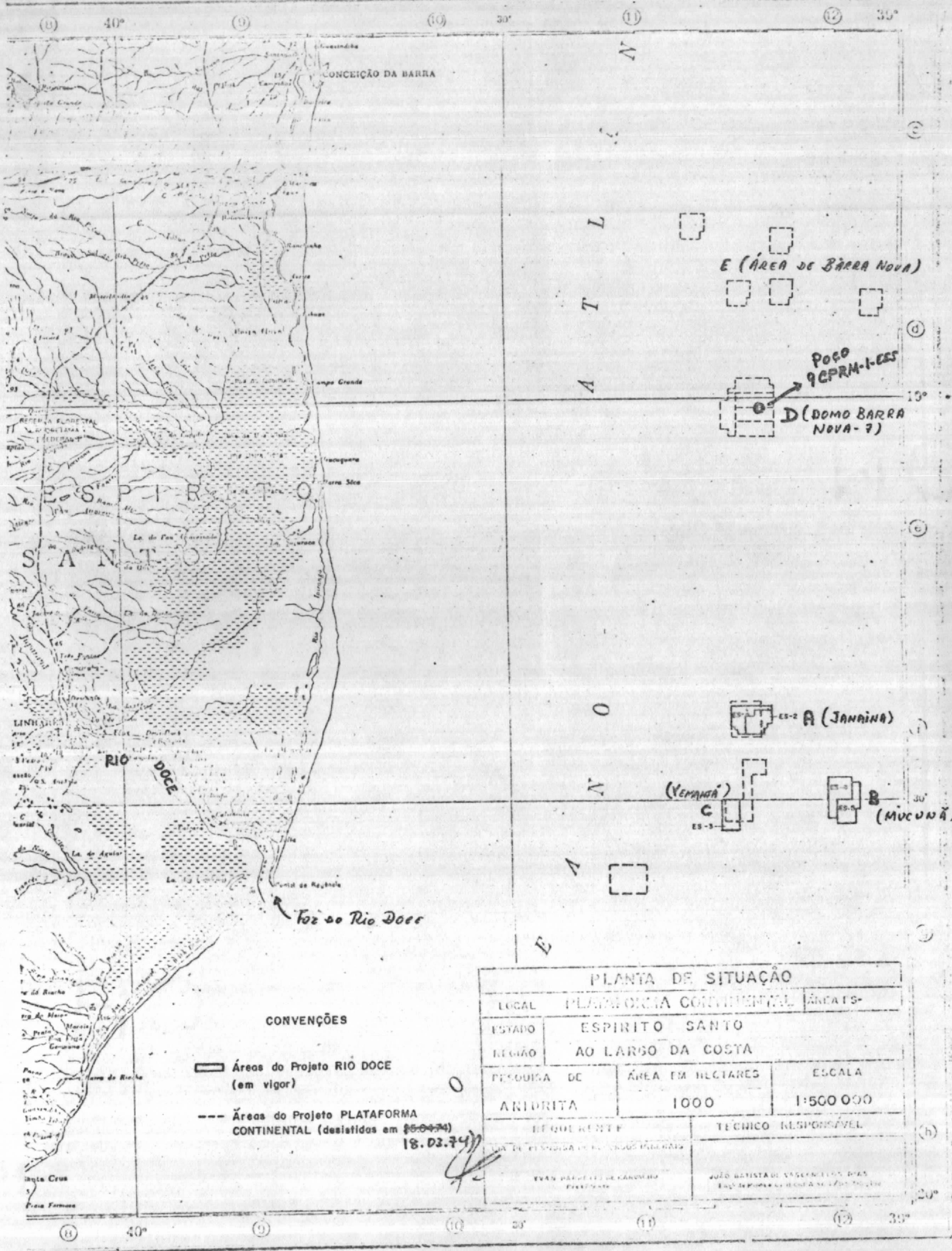
Anexo: A citada

c.c. : DAP/SUREMI/DIPEPE/DICTEC/DIGEOM ✓

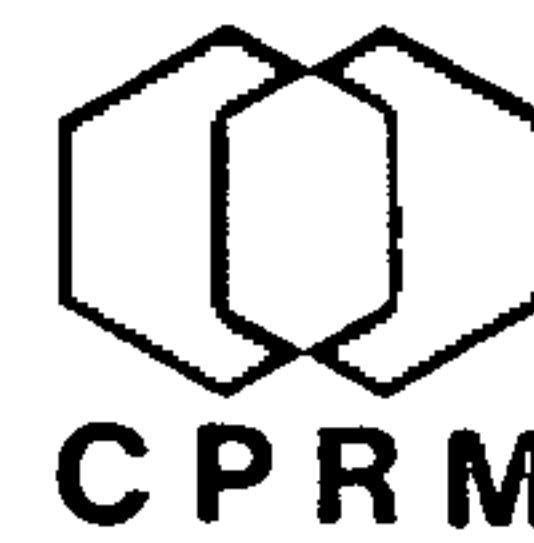
DIPEPE/JAP/v1.

RIO DOCE - SO

Fólia SE-24-SO



PLANTA DE SITUAÇÃO		
LOCAL	PLATAFORMA CONTINENTAL	ÁREAS-
ESTADO	ESPIRITO SANTO	
REGIÃO	AO LARGO DA COSTA	
PESQUISA DE	ÁREA EM HECTARES	ESCALA
ANIDRITA	1000	1:500 000
DE QUEM É	TÉCNICO RESPONSÁVEL	
EVAN CARVALHO DE CARVALHO	JOÃO BATISTA DE VASCONCELOS DIAS	



Anexo III

~~GEOLOGICAL DEVELOPMENTS OF OFFSHORE SOURCES~~

Extracting sulfur from beneath the ocean floor is a successful venture in the field of oceanics. The first notable advance which made this development possible came in 1904, when the invention of the Frasch process brought low-cost sulfur mining to underground deposits on land. In this process, which is still used today with little change, superheated water is injected into the subterranean sulfur deposit with compressed air melting the sulfur. The mixture of molten sulfur and air bubbles has a density less than water, which facilitates the mixture being forced to the surface through a separate piping system. The domestic supply situation was drastically changed by the Frasch process. Before 1904 the United States was dependent upon imports of both sulfur and sulfur-bearing pyrites, but after 1904, domestic sources could be used. The United States now has a wide variety of sources in its sulfur supply: salt domes, base metal sulfides, natural and refinery gases, pyrites, and sulfates.

Salt Domes

~~Considerable sulfur has been found in the cap rocks of large underground salt domes in the Gulf Coast region. Deposits lie within a broad belt from Alabama to Texas, extending both offshore into the Gulf and inland 75 to 300 miles from the coast. This area has been divided into four salt basins: Gulf Coast Salt Basin, Interior Domes of Texas, Interior Domes of Louisiana, and Louisiana Mississippi Salt Basin. The offshore deposits are in the Gulf Coast Salt Basin. Over more than 230 salt domes penetrated by exploratory drilling~~

This chapter is based on a preliminary draft by Clifford Elkins.

~~for oil, only about one-tenth have been found to contain com-~~
~~mercially extractable sulfur.~~ ¹ ~~The known sulfur reserves in~~
~~offshore domes~~ are believed to be about 37 million tons, while
~~undiscovered minable~~ resources are conservatively estimated
to be around 40-50 million tons. ² This rather bleak outlook
for additional discoveries in the Gulf stems from the plausible,
though unproven, ~~theory that the origin of native sulfur is~~
~~related to near-surface~~ and near-land processes. ³ Thus, salt
domes known to be present far from the coast are likely to be
barren of sulfur.

Base Metal Sulfides

Base metal sulfides consist primarily of sulfides of zinc, copper, lead, and nickel. The sulfur dioxide is released as a byproduct gas in the oxidation of the ores before smelting into metals and is a potentially large source of sulfur whose main value is in manufacturing sulfuric acid. ⁴ However, this byproduct gas has become a usable source of sulfur only under the most favorable conditions, such as proximity to markets.

Natural and Refinery Gases

Hydrogen sulfide is sometimes found in association with natural and refinery gases and is an expanding source of crude sulfur. The discovery and exploitation of large natural gas fields in western Canada helped make this a prime source of crude sulfur. Because of problems in handling untreated sour gas, many sour natural gas wells have been capped and held in reserve, waiting for gas prices to increase and sweet gas reserves to diminish. It is anticipated that industrial plants will be constructed at that time to remove hydrogen sulfide from the sour gas, enlarging the supply of sulfur.

Pyrites

Various kinds of metal pyrites are roasted to yield sulfur dioxide, which may be used directly in industrial processes, reduced to elemental sulfur by various other processes, or used to manufacture sulfuric acid. Since the low-cost Frasch process was developed, this source of sulfur--once foremost in the United States--has been reduced to secondary importance. ⁵

MINING SULPHUR
FROM OFFSHORE
SOURCES

MINING SULPHUR FROM OFFSHORE SOURCES

ocean floor is a suc-

The first notable
discovery came in 1904,
when a low-cost
process was developed
on land. In this process,
superheated water
is injected into a
deposit with compressed
air, which melts
sulfur and air
which facilitates the
lifting of a separate piping
system was drastically changed
in the United States was
developed and sulfur-bearing pyrites,
which were previously
discarded, are now
used. The United
States has increased its sulfur supply
from natural and refinery gases,

in the cap rocks of

the Gulf Coast region

from Louisiana to Texas, extending

for a distance of 75 to 300 miles

and is divided into four salt

basins: the Domes of Texas, In-

dependence, the Mississippi Salt

Basin, and the Gulf Coast Salt Basin.

Discovered by exploratory drilling

in 1904 by Clifford Elkins.

Sulfates (Gypsum and Anhydrite)

Extensive deposits of gypsum and anhydrite sulfates are found in Kansas, Oklahoma, Texas, Iowa, Indiana, Michigan, Ohio, New York, and Virginia. There may be some promise in the future for exploiting these deposits; but because of current costs, it is believed that such developments will come only after other sources of Frasch sulfur are exhausted, including offshore sources.⁶ Yet recent developments indicate that there may be more immediate potential, at least for gypsum sulfates. The National Sulfur Company, a subsidiary of Elcor Chemical Corporation, has recently constructed a commercial facility to extract sulfur from gypsum. Expected to go on stream in late 1970, this plant, built onshore in Culberson County, Texas, is capable of recovering 1,000 long tons of sulfur per day and is the largest facility in the United States recovering sulfur by means other than the Frasch process. In addition, Elcor owns proved and probable reserves of gypsum sufficient to support sulfur recovery at this daily rate for over 100 years.⁷

The study of sulfur lends itself to several chronological divisions, which both explain the historical development of sulfur and serve as background information to the present status of U. S. offshore sulfur mining. Between 1904 and 1914, the United States obtained its sulfur from domestic Frasch operations and from pyrite imports, primarily from Spain.⁸ After World War I, the supply of sulfur was mainly from domestic Frasch sources. In fact, the wartime shipping conditions cut the United States off from its Spanish sulfur supply and, in so doing, gave great impetus to the exploration for and development of domestic sources of sulfur.

This situation continued until the early 1950's, when the world, and particularly the United States, was faced with a critical sulfur shortage. The major reasons for this shortage were increasing sulfur demands both for a rapidly growing fertilizer industry and for Korean war uses.⁹ Because of this shortage, the National Production Authority restricted sulfur consumption from June 1951 to November 1952, so that the available supply could be equitably distributed among consumers. The National Production Authority then offered various incentives to assist and encourage the development of new sources of sulfur, including rapid tax amortization, purchase contracts, exploration and other types of government loans.¹⁰ These measures did indeed step up the search for new sources of sulfur, and the shortage was temporarily relieved.

anhydrite)

anhydrite sulfates are
Indiana, Michigan,
may be some promise
sites; but because of cur-
developments will come
are exhausted, in-
developments indicate
potential, at least for gypsum
a subsidiary of Elcor
constructed a commercial
Expected to go on
shore in Culberson
1,000 long tons of
ity in the United States
n the Frasch process.
able reserves of gyp-
at this daily rate

several chronological
development of
ation to the present
Between 1904 and 1914,
domestic Frasch
primarily from Spain.⁸
ur was mainly from
wartime shipping con-
Spanish sulfur supply
to the exploration for and
sulfur.

early 1950's, when the
was faced with a
reasons for this shortage
a rapidly growing
uses.⁹ Because of
on Authority restricted
November 1952, so that
distributed among con-
Authority then offered var-
the development of
tax amortization, pur-
types of government
step up the search for
age was temporarily

The sulfur industry has continued to grow over the years, except for 1955 to 1960, when total production was reduced from 7.0 to 6.7 million long tons. The production climbed to 8.2 million long tons in 1965 and to 9.1 million in 1967.¹¹ Recent data indicate that for the period 1963-67 non-Frasch sulfur production in the United States increased by 20 per cent, while Frasch production increased by 44 per cent.¹² A substantial fraction of the latter increase came from the offshore mining of sulfur. In 1967 the U.S. Frasch production of sulfur--both onshore and offshore--was about 77 per cent of domestic sulfur production.

The only operations currently producing offshore sulfur are those of the Freeport Sulphur Company's Grand Isle and Caminada fields off the Louisiana coast. The Grand Isle field had produced sulfur for seven years before the second offshore mine at Caminada came onstream some 7 miles from its sister mine.¹³ Both the Grand Isle and Caminada mines were discovered by the Humble Oil Company, during drilling for offshore oil. The sulfur rights were transferred by Humble to Freeport Sulphur in 1956. It was thought at the time of the discovery that Humble had no interest in holding the sulfur rights, since projected world demand was low in relation to supply. However, Humble is now believed to be spending considerable time and money to develop new offshore sulfur deposits.¹⁴

Although the exact nature of the lease rights and financial details between Humble and Freeport are confidential, there is a complex formula whereby an unspecified royalty per ton of recovered sulfur plus a certain percentage of the profits are paid to Humble in exchange for lease rights. While the two offshore salt domes, Grand Isle and Caminada, are quite close to each other, there is a considerable difference in their estimated reserves and pay thickness. The Grand Isle dome, which has been producing about one million tons of sulfur annually,¹⁵ has a large pay thickness, while the Caminada field has a much thinner one. The Caminada field is also thought to have substantially less reserves. The prime factor leading to the Caminada field operation was the sulfur price increase in 1966-67. The prevailing price in January 1965 to December 1966 was \$26.00 per ton f. o. b. Gulf ports. In December 1966 it increased \$2.50 a ton, and in April 1967 it increased \$4.00 per ton.¹⁶ By the end of 1967 the domestic price rose to \$38-40 per ton at Gulf ports, with export prices ranging from \$40 to \$50, depending on the quality, market, and seller.¹⁷

Traditionally, price is the most powerful force for increasing the supply of a commodity. The power of a higher sulfur price was demonstrated in the early 1950's, when a price increase, followed by enough exploration and development of new sulfur sources, turned a shortage into an oversupply within a few years. In fact, the Grand Isle offshore operation was placed into operation during a relative oversupply of sulfur, which attests that the cost of operation and the richness of the deposit are closely allied to the onshore situation for salt-dome sulfur.

Two key truisms about the sulfur industry today are that (1) the cost of finding and developing new sources of sulfur is much higher than in the past and will probably continue to rise in the future; and (2) the prospects of finding major new onshore Frasch mines in the United States are certainly more remote than finding offshore mines. Yet investments of large sums of capital at some degree of risk are needed to locate these new areas. For example, in 1965 successful bidders for federal offshore leases paid \$33 million for the right to explore in water depths up to 200 feet and as far as 70 miles from shore.¹⁸ If exploitation of these sulfur-bearing deposits should be feasible, it is estimated that development and construction costs will be several times that of the Caminada mine, which was reported at \$25 million.¹⁹ However, no commercial quantities of sulfur were discovered on these offshore leases by the Freeport Sulphur Company, the Texas Gulf Sulphur Company, or the several oil companies which spent millions of dollars in exploratory drilling as well as \$40 million in leases. Hopes of discoveries are rapidly diminishing.²⁰

66m

CONCLUSIONS AND POLICY IMPLICATIONS

A number of salient conclusions emerge from an examination of the case histories of offshore sulfur mining developments:

1. By and large, the industry did not have to pursue costly R&D programs to develop new technologies to establish an offshore mining facility. Much of the basic Frasch process developed for onshore sulfur mines worked very well offshore and technologies for exploring and drilling for oil offshore also are applicable to the same kinds of operations for offshore sulfur. A notable exception was the need to solve corrosion problems in the use of superheated sea water in the Frasch process offshore, whereas onshore, fresh water is employed,

powerful force for in-
 The power of a higher
 by 1950's, when a
 ploration and develop-
 shortage into an over-
 Grand Isle offshore
 a relative over-
 cost of operation and
 allied to the onshore
 industry today are that (1)
 sources of sulfur is much
 continue to rise in
 major new onshore
 certainly more remote
 stments of large sums
 needed to locate these
 successful bidders for fed-
 for the right to explore
 as 70 miles from
 bearing deposits should
 opment and construction
 e Caminada mine, which
 ev, no commercial
 on these offshore leases
 e Texas Gulf Sulphur
 e which spent millions
 ve as \$40 million in
 pidly diminishing. 20

IMPLICATIONS

emerge from an examina-
 sulfur mining developments:
 id not have to pursue
 technologies to establish
 f the basic Frasch process
 worked very well offshore
 rining for oil offshore
 s operations for offshore
 need to solve corrosion
 se water in the Frasch
 resh water is employed,

with reduced problems of corrosion. Some R&D was required to adapt offshore superheaters to minimize corrosion; this was accomplished by increasing the salinity of sea water to the point of saturation and, hence, the use of salt wells offshore, which are not needed for the onshore Frasch process.

2. During the two sulfur shortages in the decade of the 1960's, new sulfur supplies were developed under the stimulus of sharply rising prices. Indeed, the Caminada offshore sulfur-bearing salt dome was not brought under production until there was a favorable increase in prices.

3. Sulfur deposits on land that can be mined by the Frasch process generally have a substantial cost advantage over sulfur produced by non-Frasch processes. However, since offshore development costs for the Frasch sulfur mining process are more costly than for onshore Frasch, numerous offshore sulfur deposits may prove marginally competitive with onshore sulfur, or even submarginal depending on price movements. The higher cost components of offshore mining include anticorrosion measures, the large construction cost of the offshore platform, and the provision of housing and recreational accommodations for the operating crew.

4. Logistics often favor offshore operations (as well as coastal operations in Texas and Louisiana), since the largest sulfur markets are in the Florida area for use in phosphatic fertilizers and in the eastern United States for sulfuric acid manufacture for nonfertilizer uses. In addition, offshore operations can take advantage of water transportation, which is less costly than the rail transportation upon which onshore areas must depend.

5. The chief measure of federal assistance to offshore sulfur developments was the Outer Continental Shelf Act of 1953. Without it, orderly leasing on various offshore mineral leases probably would not have taken place.

6. Another important service of federal assistance was weather data and related services. Moreover, as in the case of offshore oil developments, general survey information is provided by the U.S. Geological Survey and the U.S. Coast and Geodetic Survey. The useful range of data includes bathymetric, topographic, and gravimetric mapping; geodetic fixes for horizontal and vertical control; and description of sediments and general mineralogical characteristics, stopping short of detailed examination of potential ore bodies.

When a technology or industry has met with relative success, as offshore sulfur has, consideration of changes in the federal role should be viewed with caution. The weather and

other data services described in item (6) could well be expanded for the encouragement not only of offshore sulfur mining but of other offshore activities as well. Improved weather forecasting would be of considerable importance to offshore sulfur and other mining operations by reducing storm damage and insurance premiums and adding to the comfort and safety of men working at sea. Although some operators engaged in offshore drilling use private and independent meteorological forecasting services, a superior set of weather data provided on a timely basis would enhance the quality of forecasts.

At present, the federal government conducts lease sales for salt extraction from offshore salt domes separately from offshore sulfur extraction. Salt produced from offshore domes is principally used as an input process to control corrosion in the production of sulfur from the same dome formation. Very little of the salt sold in the United States comes from offshore salt domes; indeed, there are ample onshore domes to supply the markets for salt at lower costs than those used in the process for extracting sulfur from offshore wells. Accordingly, legislation would seem desirable to permit all offshore sulfur lease operators to exploit salt from the same lease holding without the expense and delay of placing a bid in a separate salt lease sale.

It is much less clear what, if anything, should be done concerning a similar arrangement for joint oil and sulfur exploration and production rights from the same lease block. The oil company that discovered the Grand Isle and Caminada offshore sulfur deposits, for example, is now producing oil from the same salt dome formations. The odds of finding oil or gas somewhere on the flanks or cap of a salt dome formation in the Gulf are better than two out of three, and some feel that with enough searching, perhaps oil and gas deposits will be found on close to 100 per cent of the offshore salt domes. However, only about one out of twenty salt domes is believed to have associated sulfur deposits. A company searching for sulfur, then, would be much more likely to find oil or gas if permitted to explore for all of these resources than vice versa.

But because more companies are exploring for oil and gas than for sulfur around offshore salt domes, and because the generally shallower sulfur deposits are likely to be penetrated in the deeper oil or gas drilling explorations, one can expect that most future reserves of offshore sulfur will be discovered during the search for oil and gas. It can also be assumed that an increasing number of oil and gas companies will become active explorers for sulfur, since many already

could well be ex-
offshore sulfur min-
Improved weather
importance to offshore
storm damage
comfort and safety
operators engaged in
meteorological
weather data provided
of forecasts.
conducts lease sales
separately from
from offshore domes
to control corrosion in
dome formation. Very
s domes from offshore
shore domes to supply
those used in the
wells. Accordingly,
all offshore sulfur
same lease holding
a bid in a separate
ing, should be done
joint oil and sulfur ex-
same lease block.
Isle and Caminada
is now producing oil
The odds of finding oil
a salt dome formation
three, and some feel that
d gas deposits will be
offshore salt domes.
t domes is believed
company searching for
ely to find oil or gas if
resources than vice versa.
exploring for oil and
alt domes, and because
are likely to be pene-
explorations, one can
ffshore sulfur will be
and gas. It can also be
l and gas companies
since many already

have diversified into fertilizer manufacture. There would be a considerable savings in exploration costs to industry (and to the nation) if joint prospecting were permitted for oil and sulfur on the same offshore lease block. Moreover, sulfur production should be coordinated with oil or gas production, when both kinds of resources are found in the same formation, to prevent a degradation of recoverable resources.

Although the grounds of economic efficiency and conservation of resources would seem to favor joint oil-sulfur leases for the exploration and production of these resources, it seems doubtful that either private industry or the federal government would favor such a measure. On the side of industry it would greatly complicate risk evaluation and lease bidding strategy and the government would be similarly perplexed in the conduct of lease sales. Moreover, regulations would be necessary to ensure that the potential advantages of economy and conservation are, in fact, attained and that the search and production of offshore oil and sulfur is made more, rather than less, competitive.

With regard to regulatory measures now in practice, it should be noted that there are no such limitations on the allowable production rates of sulfur deposits as for oil and gas. However, it is felt that long-range technological developments will strengthen the sulfur supply--as well as weaken the demand--because of sulfur requirement reductions in the manufacture of certain phosphatic fertilizers. For example, several processes have been developed to produce phosphatic fertilizer using nitric acid instead of sulfuric acid which is necessary for the production of superphosphates.²¹ Consequently, any measures providing subsidies to enhance the supply of offshore or onshore sulfur should be avoided until the supply-demand outlook has been reversed; and even then, subsidies should be examined in light of alternative measures which may be more politically acceptable.

NOTES

1. James R. Kerr, Lenos H. Rand, and James Vallely, The Sulfur and Sulfuric Acid Industry of the Eastern United States, Bureau of Mines Information Circular no. 8255 (1965).

2. V. C. McKelvey, "Mineral Potential of the Submerged Parts of the U.S.," Ocean Industry, Sept. 1968, p. 39.

3. Ibid.

4. Kerr, op. cit.

5. Ibid.

6. Ibid.

7. The Wall Street Journal, Sept. 6, 1967.

8. Kerr, Rand, and Valley, op. cit.

9. Hans H. Landsberg, Leonard L. Fischman and Joseph L. Fischer, Resources in America's Future (Baltimore: The Johns Hopkins Press, 1963).

10. G. W. Josephson, Mineral Facts and Problems, Bureau of Mines Bull. No. 5565 (Washington, D. C.: Government Printing Office, 1956), pp. 843-851.

11. Richard W. Lewis, "Sulfur and Pyrites," Bureau of Mines Minerals Yearbook, 1967, Vols. I-II, Metals, Minerals and Fuels (Washington, D. C.: Government Printing Office 1967), p. 975.

12. Ibid.

13. "Freeport Sulphur Sets Templates for World's Second Offshore Mine," Ocean Industry, Aug. 1967.

14. Ibid.

15. "Freeport Says It with Sulfur," Business Week, Nov. 4, 1967, p. 72.

16. "The Squeeze on Sulfur," Business Week, March 25, 1967, p. 54.

17. Lewis, op. cit., p. 983.

18. Interview with J. C. Carrington, vice president, Freeport Sulphur Company.

19. "Freeport Says It with Sulfur," op. cit., p. 73.

20. Lewis, op. cit., p. 979.

21. Richard W. Lewis, "Phosphate Rock," Bureau of Mines Minerals Yearbook, 1967, op. cit., p. 963.

Sept. 6, 1967.

op. cit.

ard L. Fischman and Joseph
a Future (Baltimore: The

al Facts and Problems,
Washington, D.C.: Govern-
43-851.

and Pyrites," Bureau
ols. I-II, Metals, Min-
: Government Printing

emplates for World's
s Aug. 1967.

fur," Business Week,

Business Week, March

ngton, vice president,

ar," op. cit., p. 73.