



**SITUAÇÃO RADIOSSANITÁRIA DE UMA MINA DE PIROCLORO
DA MINERAÇÃO CATALÃO DE GOIÁS S.A.**

Elias Palacios e Celia Marina Napolitano

**INFORMAÇÃO IEA 065
IEA - Inf - 065**

MARÇO/1979

CONSELHO DELIBERATIVO

MEMBROS

Klaus Reinach — Presidente
Roberto D'Utra Vaz
Helcio Modesto da Costa
Ivano Humbert Marchesi
Admar Cervellini

PARTICIPANTES

Regina Elisabete Azevedo Beretta
Flávio Gori

SUPERINTENDENTE

Rômulo Ribeiro Pieroni

INFORMAÇÃO IEA 065

IEA - Inf - 065

MARÇO/1979

**SITUAÇÃO RADIOSSANITÁRIA DE UMA MINA DE PIROCLORO
DA MINERAÇÃO CATALÃO DE GOIÁS S.A.**

Elias Palacios e Celia Marina Napolitano

**CENTRO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E DOSIMETRIA
CPRD - APMA 005**

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
SÃO PAULO - BRASIL**

Série INFORMAÇÃO IEA

INIS Categories and Descriptors

C50

Industrial Plants
Radiation protection
Radioactive minerals
Radioactivity
Uranium
Thorium
Radon 222
Radium 226
Radioactive wastes
Personnel
Contamination
Urine

SITUAÇÃO RADIOSSANITÁRIA DE UMA MINA DE PIROCLORO DA MINERAÇÃO CATALÃO DE GOIÁS S.A.

Elias Palacios e Celia Marina Napolitano

RESUMO

Foram avaliados os aspectos radiossanitários de uma planta de produção de liga Fe-Nb, desde a extração do pirocloro até o processo de metalurgia. O teor de urânio e tório contido no mineral é baixo mas como acompanha o nióbio nos estágios de enriquecimento, alcança concentrações significativas no final do processo. Foi determinada a concentração de radônio no ar em diferentes áreas da usina e a concentração de U e Th natural e ^{226}Ra nos resíduos líquidos e sólidos produzidos pela planta. Além disso, foi determinada a concentração de urânio e tório na urina dos trabalhadores das áreas de concentração.

1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado a pedido da Mineração Catalão de Goiás S.A. e tem por objetivo avaliar as condições radiossanitárias de uma planta de produção de liga Fe-Nb, onde o minério que se encontra na forma de pirocloro, possui como subprodutos compostos de urânio e tório, os quais acompanham o nióbio nos processos de concentração.

A planta encontra-se localizada na região sudeste do Estado de Goiás, no município de Ouidor, a 20K m da cidade de Catalão (GO) e a 120K m da cidade de Uberlândia (MG).

2 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A Figura 1 apresenta de forma esquemática as principais etapas pelas quais passa o minério até obter a liga Fe-Nb.

O minério encontra-se na forma de pirocloro e procede de uma mina localizada nas imediações da planta onde sua exploração é realizada a céu aberto.

O minério que apresenta uma lei adequada é armazenado num depósito (também a céu aberto) e a seguir, passa para o setor de britagem onde é submetido a duas etapas de trituração. Nestas condições, o material fica apto para ingressar na usina de concentração.

O processo de concentração se inicia com a moagem do minério, seguido de uma separação magnética onde é retirada a magnetita. Posteriormente, se efetua uma separação por granulometria e ciclonação e o mineral passa por uma série de células de flotação onde é separada a barita e finalmente o pirocloro concentrado.

O concentrado vai para a etapa de purificação onde é tratado por lixiviação e posteriormente, secado.

Por último, o pirocloro concentrado e purificado vai para a usina de Metalurgia onde por reação de aluminotermia, é produzida a liga Fe-Nb.

3 – PRODUÇÃO DE RESÍDUOS

O minério possui uma série de impurezas as quais são eliminadas no percurso de seu tratamento como resíduos líquidos, gasosos ou sólidos.

As principais fontes de produção de resíduos são as usinas de concentração de pirocloro e metalurgia.

A usina de concentração produz principalmente efluentes líquidos, provenientes dos separadores magnéticos (magnetita) e das células de flotação (barita e efluentes de flotação do pirocloro).

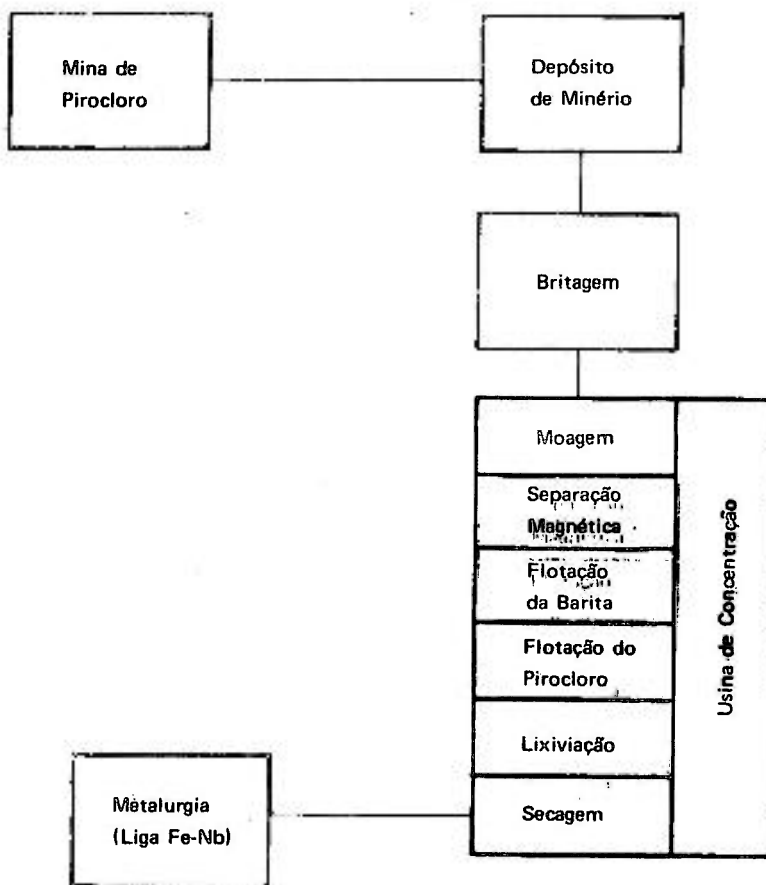


Figura 1 – Diagrama do Processo de Produção da Liga Fe-Nb

No processo de metalurgia, durante a reação de aluminotermia, são produzidos grandes quantidades de gases os quais passam por lavadores de alta eficiência antes de serem liberados ao ambiente.

Os efluentes provenientes dos lavadores de gases, junto com os resíduos líquidos da usina de concentração, são eliminados numa lagoa artificial localizada dentro da área ocupada pela planta.

As escórias que acompanham a liga Fe-Nb são separadas e armazenadas numa área isolada, a disposição da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN.

A Figura 2 apresenta de forma esquemática o percurso seguido pelos resíduos produzidos durante todo o processo.

4 – RISCOS RADIOSSANITÁRIOS

4.1 – Para Trabalhadores

Como consequência do manuseio de minério contendo compostos de urânio e tório, os trabalhadores encontram-se expostos a certos riscos de origem radiológica. Neste sentido o trabalhador encontra-se exposto à radiação externa e a contaminação interna.

A radiação externa é proveniente dos emissores beta e gama das famílias do urânio-238 e tório-232. Os níveis de exposição não superam geralmente 1,5 mR/h. A radiação externa não apresenta um problema radiológico sério na maioria das minas.

A contaminação interna origina-se principalmente pela inalação de radônio e seus filhos de meia vida curta (Figura 3).

Os riscos radiossanitários produzidos pela inalação do radônio da família do tório (^{220}Rn), como consequência de sua meia vida curta (55s), são desprezíveis frente aos riscos provenientes do radônio da família do urânio (^{222}Rn), cuja meia vida é 3,8 d⁽⁷⁾.

O radônio que é gás nobre, emana do minério incorporando-se ao ar da jazida. Ao ser inalado, passa livremente pelos pulmões com um mínimo de incorporação pelo sistema respiratório, o que não ocorre com seus produtos filhos (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po) que são partículas sólidas.

Os produtos filhos tem meia vida curta o que resulta num aumento rápido da concentração destas partículas no ar; são de tamanho sub-micron e por esse motivo podem alcançar o sistema respiratório⁽³⁾.

A maior dose de radiação é recebida pelo sistema respiratório como consequência dos emissores alfa de meia vida curta (^{218}Po e ^{214}Po)⁽³⁾.

A dose recebida depende da concentração dos produtos filhos no ar inalado, da distribuição do tamanho das partículas e dos parâmetros fisiológicos do trabalhador.

4.2 – Para o Público

O ^{226}Ra é o radioisótopo mais significativo, do ponto de vista radiossanitário, possível de ser eliminado nos processos de exploração e concentração. Se a eliminação se realiza em cursos de água, a concentração de rádio em peixes aumenta e portanto o consumo desses peixes pode ser a principal via de cálculo da dose recebida pelos indivíduos da população⁽⁹⁾.

Quando a eliminação direta em cursos de água dos efluentes contendo rádio é evitada, os principais contribuintes da dose recebida pela população local são os produtos filhos de meia vida curta do radônio-222, incorporados ao ar atmosférico.

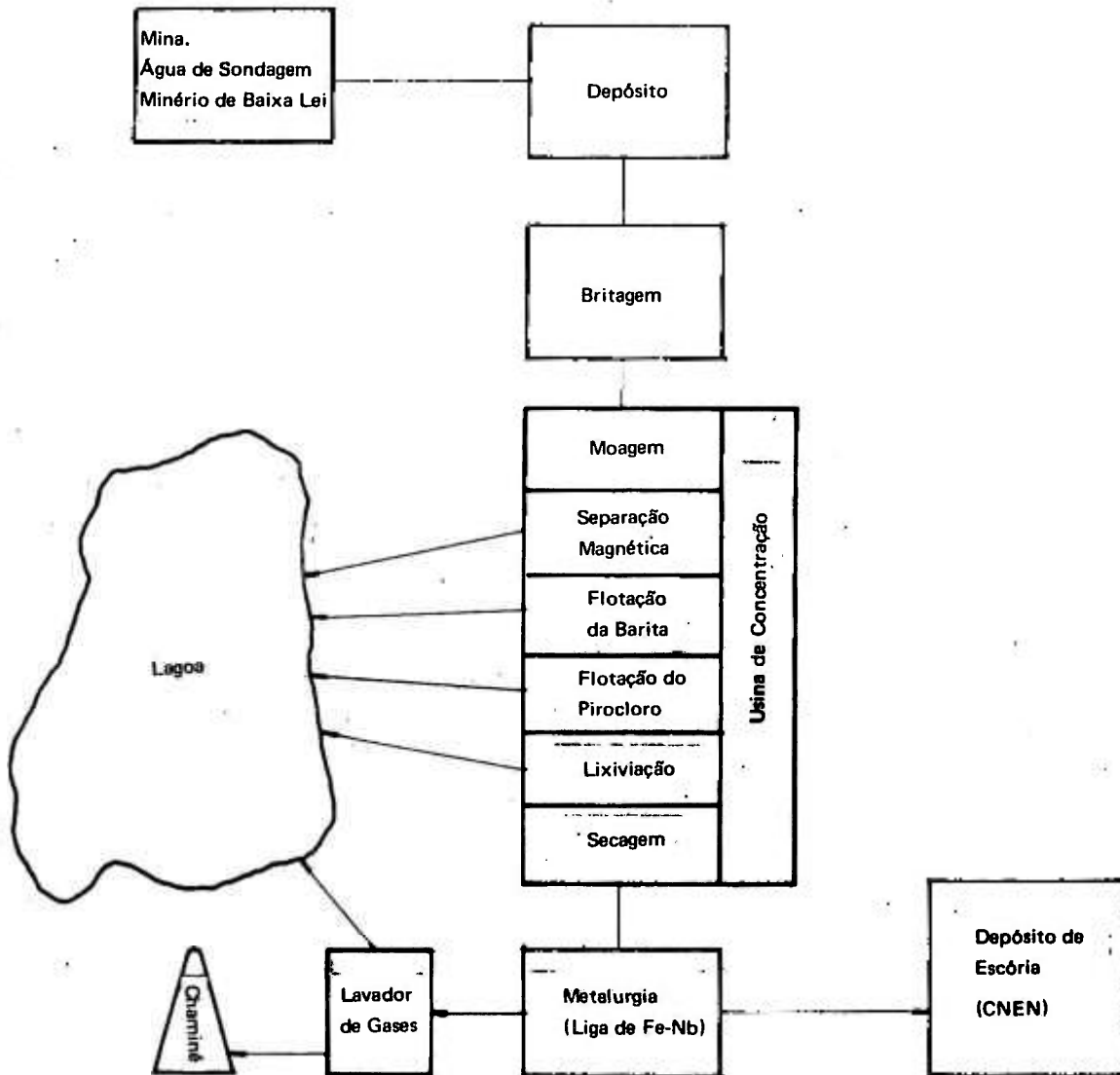


Figura 2 – Tratamento e Armazenamento de Resíduos

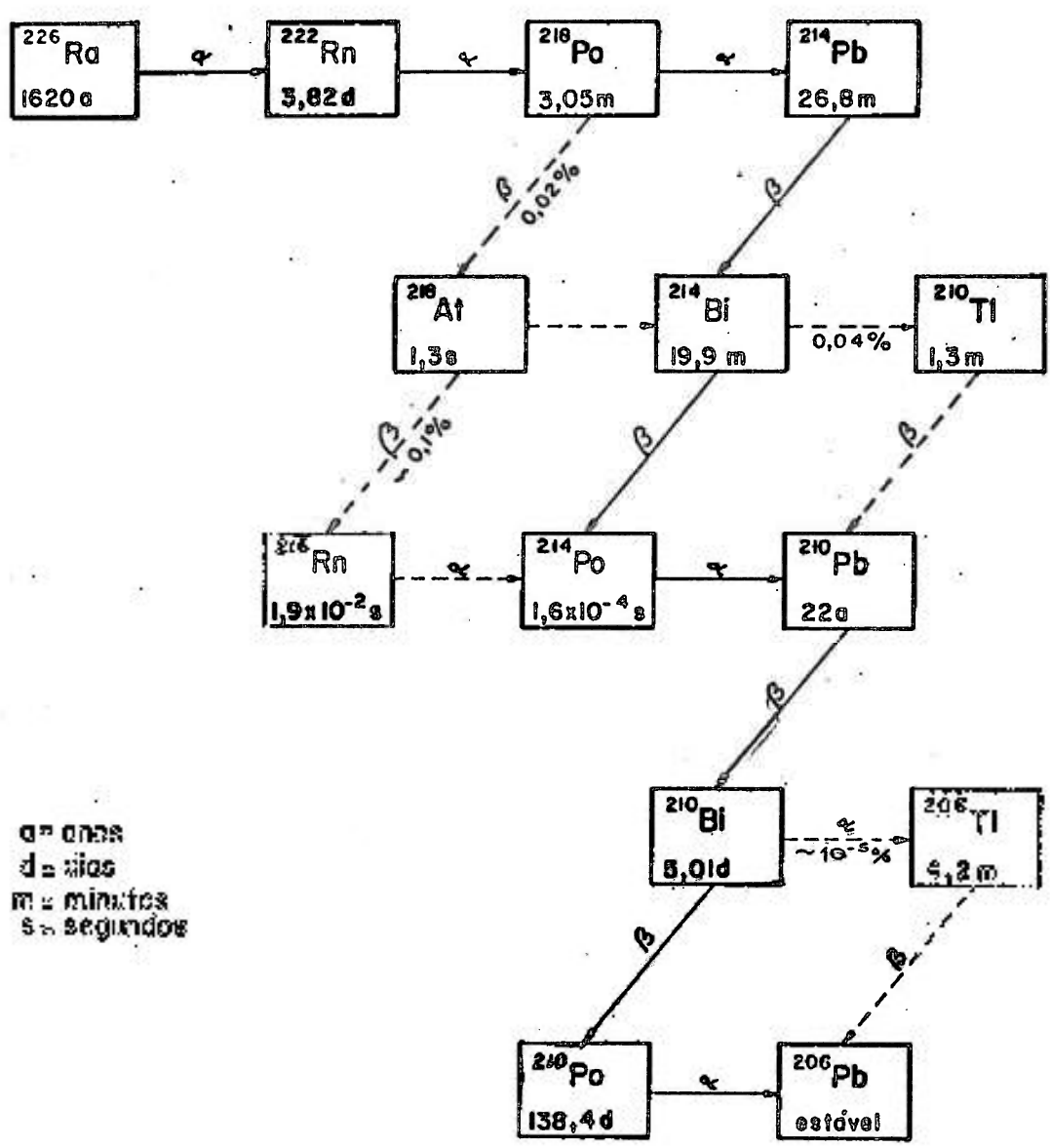


Figura 3 - Esquema da Cadeia de Decaimento do ^{226}Ra

A dispersão atmosférica e a meia vida curta produzem uma diluição adequada dos aerossóis eliminados no ambiente mantendo as concentrações nas proximidades da mina, suficientemente baixas.

Porém, a concentração de grandes quantidades de material contendo alto teor de rádio-226 cuja meia vida é 1620 anos, dá origem a uma fonte contínua de liberação de radônio podendo influir significativamente na dose coletiva recebida pela população local.

5 – LIMITES DERIVADOS

A International Commission on Radiological Protection – (ICRP) fixou os limites de dose, os quais foram aceitos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear nas Normas Básicas de Proteção Radiológica⁽²⁾. Esses limites são de 5 rem/ano para trabalhadores e 0,5 rem/ano para indivíduos do público. Da mesma forma, os princípios básicos de proteção radiológica estabelecem que as exposições à radiação devem ser justificáveis e que as doses recebidas devem ser mantidas a valores tão baixos quanto razoavelmente alcançáveis⁽⁸⁾.

Com a finalidade de facilitar a interpretação dos limites de dose, estabeleceram-se limites derivados, também conhecidos como níveis máximos permissíveis, para a maioria dos radioisótopos de interesse radiossanitário nas vias primárias de transferência até o homem (ar e água). Neste sentido, o limite derivado de exposição em ar para 2000 h de trabalho por ano resulta em 2,5 mR/h. A seguir se discutem os limites derivados de concentração nas principais vias de transferência para os radioisótopos de interesse deste trabalho.

5.1 – Radônio

O ^{222}Rn entra em equilíbrio radioativo secular com seus filhos de meia vida curta, após 3 horas (Figura 4). A ventilação natural ou a forçada faz com que o tempo de permanência dos átomos de Rn no ar seja bem menor que o necessário para alcançar o estado de equilíbrio.

Considerando que os filhos de Rn emissores alfa são os principais contribuintes da dose para o trabalhador mineiro, e que nunca existe equilíbrio radioativo no ar de uma mina ou usina de concentração, foi necessário definir o que se conhece como concentração de radônio equivalente.

Denomina-se concentração de Rn equivalente (C'), de uma amostra de concentração (C), a concentração de radônio que em equilíbrio com seus filhos, tem a mesma energia alfa potencial que a amostra.

Em 1959 a ICRP⁽⁷⁾ fixou como concentração máxima permitível para 2000 h de trabalho por ano, 30 pCi/l de radônio-222 em equilíbrio com seus filhos de meia vida curta. Este valor foi adotado pela CNEN nas Normas Básicas de Proteção Radiológica⁽²⁾.

Tanto a ICRP como a CNEN não fixaram nenhum valor até o presente para as concentrações máximas permitíveis de radônio em águas para consumo humano.

Porém, assumindo que toda a água consumida por indivíduos encontra-se contaminada com ^{222}Rn , pode-se deduzir que a concentração que daria origem a uma dose de radiação de 0,5 rem/a é de 9000 pCi por litro de água⁽¹⁾.

5.2 – Rádio

Os limites de incorporação de ^{226}Ra para trabalhadores é de $7,2 \cdot 10^{-2} \mu\text{Ci/a}$ e $1,3 \cdot 10^{-1} \mu\text{Ci/a}$ para compostos solúveis e insolúveis respectivamente⁽²⁾.

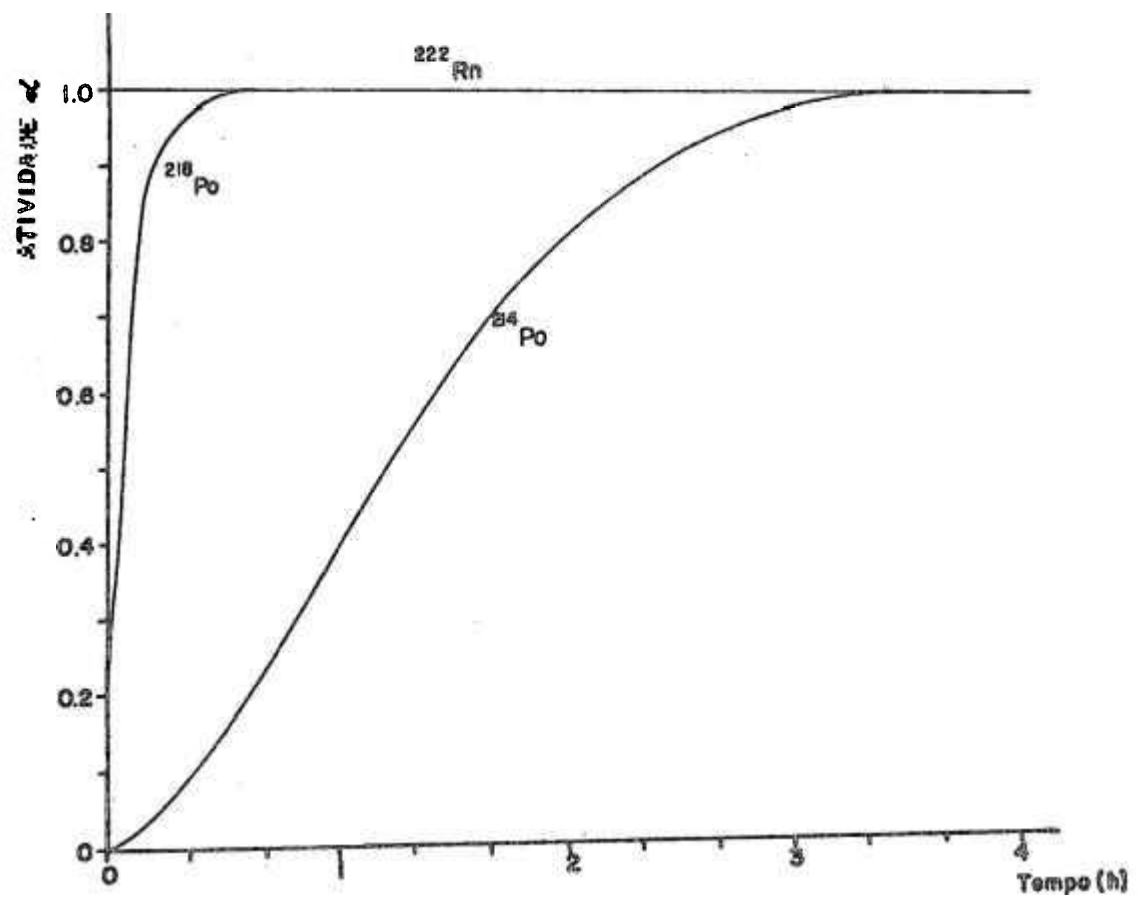


Figura 4 - Equilíbrio Radioativo entre Rn e Produtos Filhos

Para indivíduos do público, o limite de incorporação é $9,6 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci/a}$ para ingestão e $7,1 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci/a}$ para inalação.

A concentração máxima permissível para exposição ocupacionais de 168 h/semana, para água de beber, é de 10^2 pCi/l ; enquanto que no ar, é de $10^{-2} \text{ pCi/litro}^{(5)}$.

5.3 – Urânio

O limite de incorporação de urânio natural, para trabalhadores, é de $4,8 \cdot 10^5 \mu\text{Ci/a}$. Como consequência da toxicidade química do urânio, sua inalação em qualquer composto isotópico não deve exceder 2,5 mg de urânio solúvel num mesmo dia, nem sua ingestão em dois dias consecutivos, deve ser superior a 150 mg de urânio solúvel^(2,4).

Para o público, os limites de incorporação por inalação e por ingestão são $4,8 \cdot 10^4 \mu\text{Ci/a}$ e $1,4 \cdot 10^6 \mu\text{Ci/a}$ respectivamente⁽²⁾.

Os limites de concentração no ar e na água de beber foram fixados pela ICRP em $3 \cdot 10^{-2} \text{ pCi/l}$ e $2 \cdot 10^5 \text{ pCi/l}$ respectivamente⁽⁵⁾.

O limites de concentração em urina de trabalhador é de $100 \mu\text{g}$ por litro de urina⁽⁶⁾.

5.4 – Tório

O limite de incorporação e tório natural para trabalhadores é de $3,7 \cdot 10^4 \mu\text{Ci/ano}^{(2)}$.

Para o público, os limites de incorporação para ingestão e inalação são $9,5 \cdot 10^6 \mu\text{Ci/a}$ e $3,7 \cdot 10^3 \mu\text{Ci/a}$ respectivamente⁽²⁾.

O limite de concentração na urina de trabalhadores é de $10 \mu\text{g/l}^{(5)}$.

O limite de concentração fixado pela ICRP para inalação de ar por indivíduos do público é de $6 \cdot 10^{-4} \text{ pCi/l}$ e para água de beber de 10^4 pCi/l .

6 – UTILIZAÇÃO DA ÁGUA

Toda água utilizada na Planta, tanto para uso industrial como para consumo humano, procede do sub-solo. Não existem cursos de água superficial nas imediações, além da lagoa artificial citada no ítem 3.

7 – LEVANTAMENTO RADIOMÉTRICO

Efetou-se um levantamento radiométrico em todas as etapas do processo, desde a exploração até a obtenção da liga Fe-Nb, utilizando um detector $\beta\text{-}\gamma$ marca "Nuclear-Chicago, modelo 2650". Os valores medidos são apresentados na Figura 5.

Os níveis de exposição encontram-se entre 0,5 e 1,5 mR/h sendo que os valores menores foram observados na zona de exploração e os valores superiores no depósito de escória e nas proximidades da lagoa próximos aos rejeitos de barita.

Os níveis da radiação de fundo medidos num raio de 1 Km ao redor da mina, variaram entre 0,2 mR/h e 0,3 mR/h.

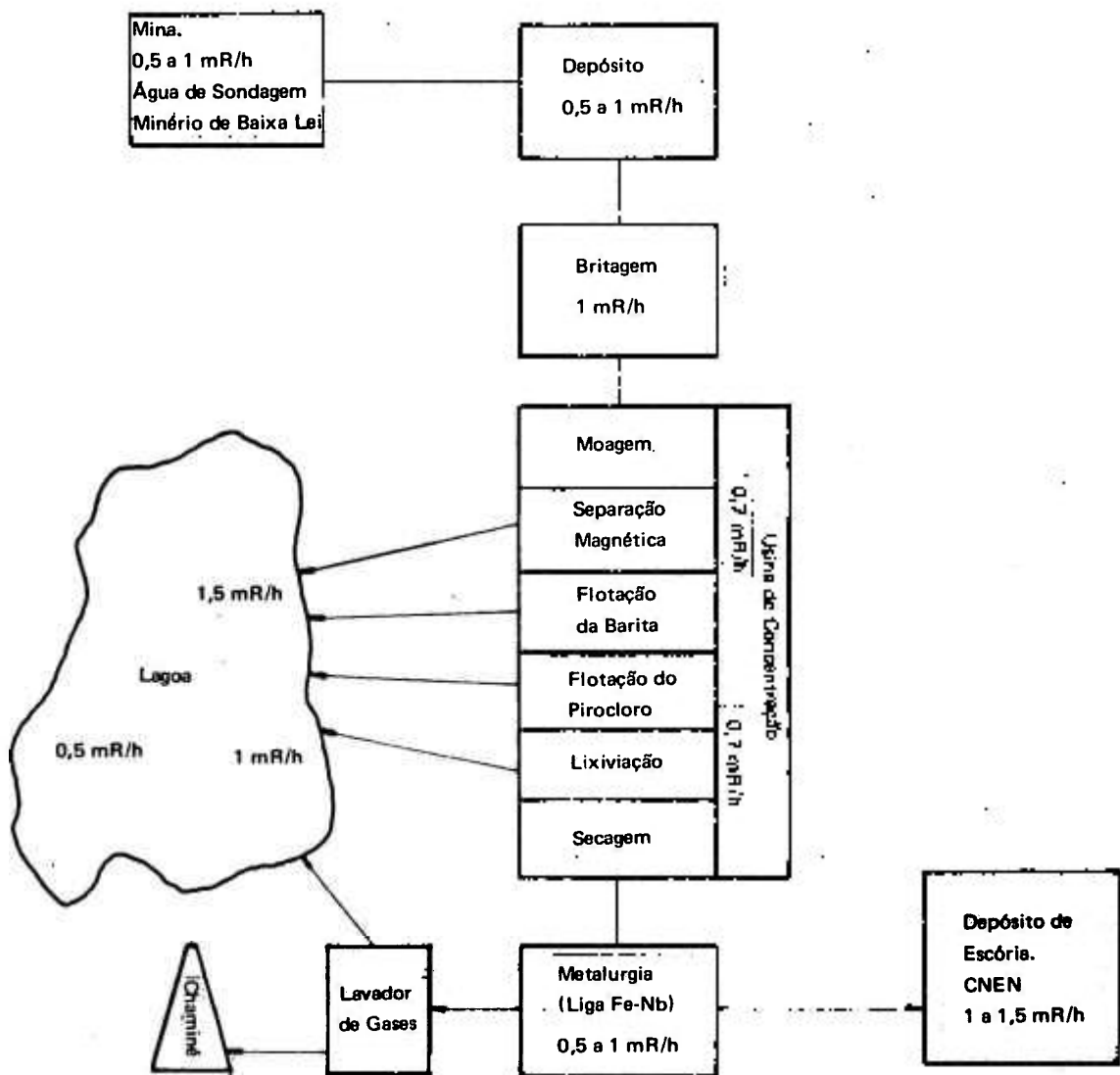


Figura 5 – Levantamento Radiométrico

8 – ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE RADÔNIO NO AR

A concentração de radônio no ar foi determinada utilizando uma câmara de cintilação revestida internamente com sulfeto de zinco ativado com prata e um tubo fotomultiplicador acoplado a um sistema de contagem.

Amostras de ar de diferentes áreas da Planta foram introduzidas nas câmaras de cintilação e após 3 horas foram contadas durante 10 minutos.

A "concentração de radônio equivalente" foi avaliada considerando um grau de equilíbrio radioativo entre o gás e seus filhos emissores alfa de 0,5 para ^{218}Po , 0,3 para ^{214}Pb e 0,15 para ^{214}Bi (7).

Na Tabela I apresentam-se os valores encontrados de concentração de radônio e os valores da "concentração de radônio equivalente" avaliada segundo o parágrafo anterior.

Tabela I

Concentração de Radônio no Ar

Amostra	Local	Concentração de Radônio (C) pCi/l	Concentração de Rn Equivalente (C') pCi/l
MCR1	Mina	7	—
MCR2	Depósito	52	14
MCR3	Britagem	< 7	—
MCR4	Concentração	12	3
MCR5	Lixiviação	17	4,4
MCR6	Metalurgia	< 7	—
MCR7	Dep. de Escórias	< 7	—
MCR8	Oficina	< 7	—
MCR9	Laboratório	8	2,2

9 – ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE URÂNIO E TÓRIO PELOS TRABALHADORES

Foram analisadas amostras de urina de 4 trabalhadores, pertencentes aos setores de britagem (MCU1), concentração (MCU2), lixiviação (MCU3) e metalurgia (MCU4), respectivamente.

A concentração de urânio na urina foi determinada por fluorimetria em meio sólido e a de tório por colorimetria.

O teor de urânio e tório das amostras analisadas são apresentados na Tabela II.

Tabela II

Concentração de Urânio e Tório na Urina de Trabalhadores

Amostra	Local de Trabalho	Concentração de Urânio $\mu\text{g/l}$	Concentração de Tório $\mu\text{g/l}$
MCU1	Britagem	9	< 2
MCU2	Concentração	18	< 2
MCU3	Lixiviação	12	< 2
MCU4	Metalurgia	< 5	< 2

10 – ANÁLISE DA RADIOATIVIDADE CONTIDA NOS RESÍDUOS

10.1 – Resíduos Líquidos

Coletou-se uma amostra de água procedente das operações de sondagem da mina (MCA1).

Na usina de concentração, coletaram-se amostras de efluentes da operação de flotação do concentrado (MCA2) e da operação de lixiviação (MCA5).

Na usina de metalurgia, coletou-se uma amostra de água proveniente dos lavadores de gases (MCA3) no momento em que se produzia a reação de aluminotermia.

Obtiveram-se amostras de lodos da lagoa próximo à boca de despejo dos efluentes da separação da magnetita (MCL1) e da flotação da barita (MCL2).

As concentrações de urânio e tório nos efluentes líquidos foram determinadas por procedimentos analíticos. A concentração de rádio-226 foi medida num contador de cintilação, após ter alcançado o equilíbrio radioativo entre o radônio (aproximadamente 20 dias).

Na Figura 6 mostram-se os pontos de coleta de resíduos líquidos e os valores obtidos são apresentados na Tabela III.

10.2 – Resíduos Sólidos

Coletou-se uma amostra do minério removido da mina mas que por sua baixa concentração de nióbio, não é processado (MC1).

Coletaram-se amostras de magnetita (MC4) e barita (MC5) nas áreas de armazenamento de subprodutos, próximo à lagoa.

Coletaram-se amostras de escória (MC6) no depósito que se encontra à disposição da CNEN.

Na Figura 6 mostram-se os pontos de amostragem de resíduos sólidos. As concentrações de urânio e tório foram determinadas quantitativamente por métodos analíticos e fluorescência de Raios X e qualitativamente por espectrometria γ num detector de Ge(Li). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela IV.

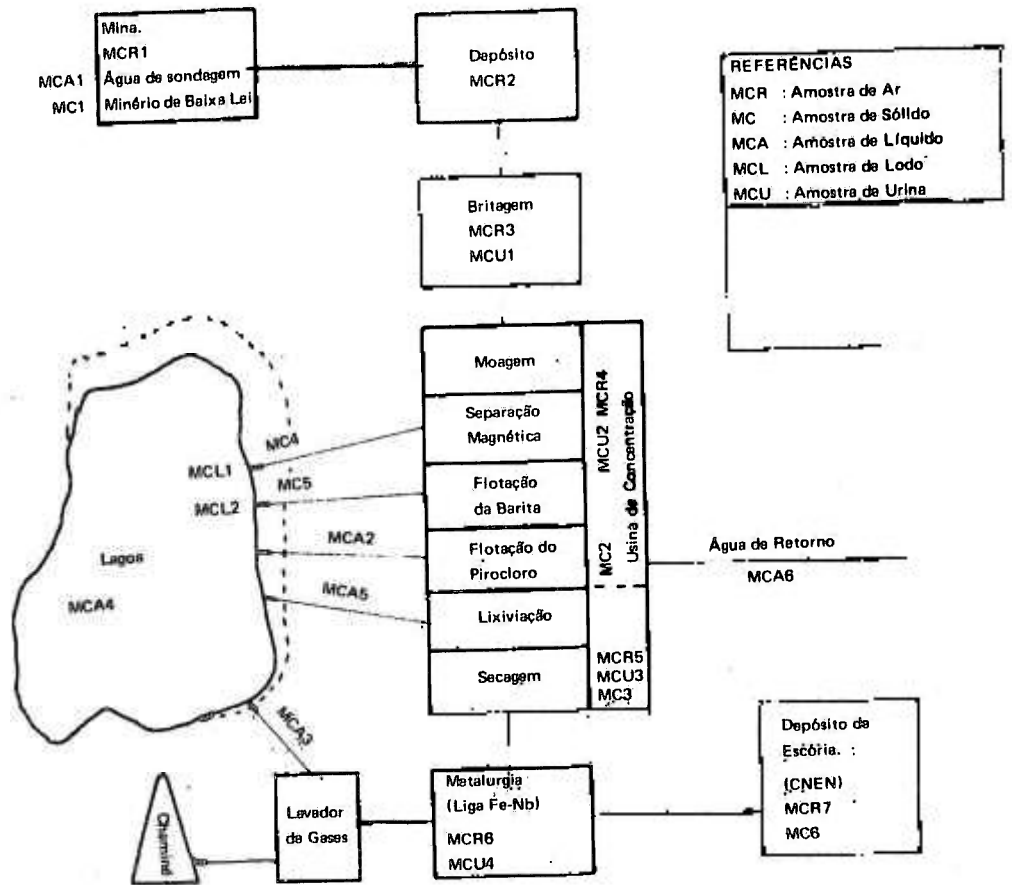


Figura 6 – Pontos de Coleta de Amostras

Tabela III

Análise da Radioatividade dos Resíduos Líquidos

Amostra	Local	Concentração			
		U natural (mg/l)	Th natural (mg/l)	²²⁶ Ra (pCi/l)	²²² Rn (pCi/l)
MCA1	Mina	0,2	< 0,1	—	99
MCA2	Flot.				
	Pirocloro	1,7	< 0,1	331	1338
MCA3	Lavador de				
	Gases	—	< 0,1	—	—
MCA5	Lixiviação	2,7	< 0,1	524	298
MCL1	Descarga da				
	Magnetita	0,1	< 0,1	107	1044
MCL2	Descarga da				
	Barita	0,2	< 0,1	188	1860

Tabela IV

Análise da Radioatividade dos Resíduos Sólidos

Amostra	Local	Concentração de	
		U nat. %	Th nat. %
MC1	Mina	0,03	< 0,01
MC2*	Concentração	0,24	0,68
MC3*	Lixiviação	0,23	0,72
MC4	Magnetita	< 0,01	< 0,01
MC5	Barita	0,01	< 0,01
MC6	Escória	0,25	0,55

* estas amostras correspondem ao pirocloro concentrado e foram extraídas antes (MC2) e após (MC3) o processo de purificação.

11 – ANÁLISE DA RADIOATIVIDADE NAS ÁGUAS

Foram analisadas amostras de água dos 3 poços de alimentação de água industrial (MCP1, MCP2 e MCP3) e do poço de alimentação de água potável (MCP4).

Analisou-se uma amostra de água procedente da lagoa, relativamente longe do ponto de eliminação de resíduos (MCA4).

Analisou-se a água de retorno da usina de concentração que é reutilizada como água industrial (MCA6).

As concentrações radônio-222 e rádio-226 foram determinadas utilizando um contador de cintilação e os resultados obtidos são apresentados na Tabela V. Na Figura 7 observam-se os pontos de coleta de amostras na estação de bombeamento.

Tabela V
Radioatividade das Águas

Amostra	Uso	Concentração de ^{226}Ra pCi/l	Concentração de ^{222}Rn pCi/l
MCP1	Industrial	—	20180
MCP2	Industrial	—	13620
MCP3	Industrial	—	18940
MCP4	Consumo	—	38210
MCA4*	Lagoa	283	150
MCA6	Água de Retorno	—	25

* Esta amostra apresenta uma concentração de urânio de 1,4 mg/l.



Figura 7 – Estação de Bombeamento

12 – CONCLUSÕES

Os níveis de exposição no ar não superam 1,5 mR/h sendo que os valores mais altos observados nas áreas de trabalho contínuo, encontram-se em torno de 0,7 mR/h (Figura 5). Considerando que a radiação de fundo na região próxima à mina é de aproximadamente 0,25 mR/h, os níveis de exposição nas usinas de concentração e metalurgia encontram-se mais de 5 vezes abaixo do limite derivado de trabalho (2,5 mR/h).

A "concentração de radônio equivalente" nas diferentes áreas da Planta é baixa. Isto deve-se principalmente ao método de exploração utilizado (a céu aberto) e às boas condições de ventilação das usinas de concentração e metalurgia (Tabela I).

A contaminação dos Trabalhadores por inalação de partículas de urânio e tório mantém-se a níveis aceitáveis. A contaminação detectada nas análises de urina dos trabalhadores mais expostos encontra-se 5 vezes abaixo dos limites derivados de concentração (Tabela II).

A análise da radioatividade nos resíduos líquidos mostram que nos processos de flotação de pirocloro e lixiviação, produz-se um arraste de urânio e rádio em quantidades significativas, que são eliminadas na lagoa. O mesmo fenômeno, mas só com o rádio e em menor escala, observou-se na separação da magnetita e barita (Tabela III). O acúmulo de rádio-226 nas proximidades da lagoa dará origem a um aumento dos níveis de exposição no ar nesse local. Da mesma forma, e como consequência da emissão contínua do gás radônio das áreas com alto teor de rádio, a concentração de partículas emissores alfa no ar das vizinhanças, aumentará com o tempo.

As concentrações de urânio e tório na escória é razoavelmente alta e da mesma ordem de grandeza que no concentrado, antes e após o processo de purificação. Não se detectou urânio e tório nas amostras de magnetita e barita (Tabela IV).

A água procedente do sub-solo não possui quantidades mensuráveis de urânio, tório ou rádio. Sua radioatividade deve-se exclusivamente ao teor de gás radônio dissolvido na água. A concentração de radônio, especialmente na água destinada ao consumo, encontra-se bem acima do limite de concentração de 9000 pCi/l (Tabela V). Porém, a radioatividade da água pode ser reduzida a níveis razoavelmente baixos utilizando-se uma das técnicas que se descrevem a seguir: a) borbulhar ar na caixa de água destinada à distribuição de água potável, b) provocar uma agitação violenta da água antes de ser ingerida ou c) ferver a água destinada a beber. Qualquer dos processos citados provoca uma aceleração na migração do radônio dissolvido na água reduzindo a concentração do gás a valores desprezíveis do ponto de vista radiossanitário. Para a água destinada à preparação de alimentos não é necessária nenhuma precaução especial.

Os níveis de exposição e a concentração de radônio medidos nas diferentes áreas da Planta e as análises de urina realizadas nos trabalhadores mais expostos de cada setor, permitem dizer que o risco de que o limite de dose para trabalhadores seja ultrapassado, na operação normal da mina, é muito baixo. Porém, deve-se evitar as operações em setores mal ventilados pois a "concentração de radônio equivalente" cresce rapidamente nessas condições.

A eliminação de efluentes líquidos contendo rádio, urânio natural ou tório natural em lagoas artificiais é uma técnica comumente utilizada não apresentando riscos de contaminação das águas subterrâneas. Porém, é recomendável fazer uma monitoração periódica (anual) desses setores com a finalidade de verificar se os níveis de exposição e a concentração de radônio no ar das vizinhanças, mantêm-se em valores aceitáveis do ponto de vista da proteção radiológica. A redução desses níveis pode ser feita recobrando as áreas de alto teor de rádio com terra, levando em consideração que por cada metro de recobrimento reduz-se a emissão de radônio de um fator 2.

O depósito de escórias encontra-se numa área isolada, não oferecendo nenhum risco do ponto de vista radiossanitário. A concentração de radônio-222 no ar é baixo como consequência da separação do rádio-226 nos processos anteriores.

Finalmente, pode-se dizer que a situação radiossanitária da mina de pirocloro analisada neste relatório, apresenta-se satisfatória tanto do ponto de vista dos trabalhadores como do público e do meio ambiente.

DEFINIÇÃO DE TERMOS DE UNIDADES

- **Atividade** = A atividade de uma quantidade de material radioativo é o número de transformações nucleares espontâneas que ocorrem em um dado intervalo de tempo. A unidade de atividade é o curie (Ci), que equivale a $3,7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$. Utiliza-se como unidades submúltiplas, o mCi = 10^{-3} Ci, o $\mu\text{Ci} = 10^{-6}$ Ci, o nCi = 10^{-9} Ci e o pCi = 10^{-12} Ci.
- **Dose** = Quando não acompanhada da palavra absorvida, dose ou dose de radiação é usada como sinônimo de dose equivalente.
- **Dose absorvida** = É o quociente da energia transferida pela radiação ionizante à matéria, num volume elementar, pela massa da matéria nesse volume. Sua unidade é o rad. $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J.Kg}^{-1}$.
- **Dose equivalente** = É o produto da dose absorvida, fator de distribuição de dose absorvida e outros fatores modificadores necessários para denotar variações de efetividade na produção de efeitos biológicos de uma dada dose absorvida. Sua unidade é o rem e equivale à efetividade biológica de uma dose absorvida de um rad num dado tecido.
- **Exposição (como grandeza)** = É o quociente do valor absoluto da carga total de íons de mesmo sinal produzidos no ar, quando todos os elétrons (negativos e positivos) liberados por fótons num volume elementar de ar são completamente freados no ar, e a massa desse volume. A unidade de exposição é o roentgen (R), onde $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C.Kg}^{-1}$.
- **Exposição - (em geral)** = O fato de expor-se à radiação ionizante.
- **Grupo Crítico** = Grupo de indivíduos suficientemente pequeno para ser homogêneo com relação aos parâmetros que afetam a dose recebida, o qual é representativo dos indivíduos da população que recebem as mais altas doses de radiação.
- **Indivíduos do Público** = São indivíduos hipotéticos, representativos de um grupo crítico adequado, nos quais espera-se que recebam uma dose igual à dose média no grupo crítico.
- **Taxa de dose** = É a derivada da dose (absorvida ou equivalente) em relação ao tempo.
- **Taxa de exposição** = É a derivada da exposição em relação ao tempo.
- **Trabalhador** = Qualquer indivíduo adulto que pode-se encontrar exposto à radiação de maneira regular ou ocasional durante ou em consequência de seu trabalho.

ABSTRACT

The health physics aspects related with the uranium and thorium content in a pyrochlorine mineral used for manufacturing Fe-Nb alloys were evaluated along the whole process, from the ore extraction up to the melting operation. The U and Th contained in the mineral are originally present in low amount but as they follow the niobium through the different enrichment stages, a significant concentration level is attained at the end of the process. The radon concentration in air at different mine areas was determined and ^{226}Ra and natural uranium and thorium wastes released by the industrial plant. In addition, uranium and thorium concentration in the workers urine of the factory was determined.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDERSSON, I. & NILSSON, I.; Exposure following ingestion of water containing radon-222. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Assessment of radioactivity in man: Proceedings of the symposium on...held in Heidelberg, 11-16 May 1964, v.2. 1964. p. 317-26.* (Proceedings series).
2. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Normas básicas de proteção radiológica.* Rio de Janeiro, 1963. (Resolução CNEN-6/73).
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Inhalation risks from radioactive contaminants: report of a panel on...held in Vienna, 30 November-4 December, 1970.* Vienna, 1973. (Technical reports series, 142).
4. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. *Recommendations of the ICRP as emended 1959 and revised 1962.* London, Pergamon, 1964. (ICRP publication. Radiation protection, 6).
5. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. *Report of committee II on permissible dose for internal radiation: recommendations, 1959.* London, Pergamon, 1959. (ICRP publication. Radiation protection, 2).
6. KELLER, M., ed. *Annual report 1973 of the Central Radiation Protection Department.* Jülich, Kernforschungsanlage, Aug. 1974. (In German). (Jül-1101-ST).
7. RADIATION protection in uranium and other mines. *Annals ICRP*, 1(1), 1977.
8. RECOMMENDATIONS of the International Commission on Radiological Protection. *Annals ICRP*, 1(3), 1977.
9. UNITED NATIONS. *Nuclear power production.* New York, N.Y., 1977.

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal, 11049 — Pinheiros
CEP 05508
01000 — São Paulo — SP

Telefone: 211-6011
Endereço Telegráfico — IEATOMICA
Telex — 011-23592 IENA BR