



**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS**

**PROJETO MORRO DO ENGENHO**

RELATÓRIO ÚNICO DE PESQUISA DE NÍQUEL  
REALIZADA NOS MUNICÍPIOS DE  
MONTES CLAROS DE GOIÁS E JUSSARA  
ESTADO DE GOIÁS

VOLUME III

RELATÓRIO DOS ENSAIOS DE BENEFICIAMENTO

**DIRETORIA DE OPERAÇÕES  
AGÊNCIA GOIÂNIA**

**1975**

 **SUREMI**  
CPR.1 *F-96* SEDGTE  
ARQUIVO TÉCNICO  
I. Nº de ..... *249 - 5* .....  
II. Nº de Vol mes: ..... *16 v: 3* .....

PHL  
008092  
2006

# **PROJETO MORRO DO ENGENHO**

## **RELATÓRIO FINAL DE PESQUISA**

### **ÍNDICE DOS VOLUMES**

<b>VOLUME</b>	<b>I</b>	<b>-</b>	<b>TEXTO E APÊNDICE</b>
<b>VOLUME</b>	<b>II</b>	<b>-</b>	<b>TABELAS DE CUBAGEM</b>
<b>VOLUME</b>	<b>III</b>	<b>-</b>	<b>RELATÓRIO DOS ENSAIOS DE BENEFICIAMENTO</b>
<b>VOLUME</b>	<b>IV</b>	<b>-</b>	<b>MAPAS</b>
<b>VOLUME</b>	<b>V</b>	<b>-</b>	<b>SEÇÕES GEOLÓGICAS</b>
<b>VOLUME</b>	<b>VI</b>	<b>-</b>	<b>TABELAS DE ANÁLISE</b>
<b>VOLUME</b>	<b>VII</b>	<b>-</b>	<b>BOLETINS DE ANÁLISE</b>
<b>VOLUME</b>	<b>VIII</b>	<b>-</b>	<b>BOLETINS DE DESCRIÇÃO DE POÇOS</b>
<b>VOLS.</b>	<b>IX a XVI</b>	<b>-</b>	<b>BOLETINS DE SONDAÇÃO</b>



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

CONVÊNIO CTA-CPRM  
ESTUDO DO MINÉRIO DE  
MORRO DE ENGENHO



## 1. INTRODUÇÃO

O presente relatório refere-se ao estudo de avaliação, em escala de laboratório, para o aproveitamento de minério oxidado de níquel procedente da jazida de Morro do Engenho; conforme Termo de Ajuste nº 27-CTA/73 celebrado entre este Centro e a Companhia de Pesquisas dos Recursos Minerais.

O trabalho efetuado teve por objetivo básico a eleição de um processo a ser aplicado em escala piloto sem haver, contudo a preocupação em otimizar resultados.

Foram pesquisados durante este período, os seguintes processos:

- Fusão a ferro-níquel
- Redução e lixiviação amoniacal
- Lixiviação com ácido sulfúrico
- Redução e lixiviação com cloro
- Segregação

De acordo com os resultados obtidos, o minério da referida jazida apresentou viabilidade para estudos em fase piloto nos seguintes processos.

- Fusão a ferro-níquel
- Lixiviação amoniacal

Ficará a critério da CPRM, a escolha final do processo a ser estudado, apesar da sugestão por nós apresentada no item 8 deste trabalho.

## 2. PLANO DE AMOSTRAGEM

A partir do relatório de pesquisas apresentado pela CPRM, foi elaborado um plano de amostragem visando obter-se amostras representativas de toda a jazida de Morro do Engenho. Devido à falta de dados de mine



ralogia e descrição de amostras, o planejamento tomou por base os teores de níquel e ferro.

Através de estudos estatísticos chegamos à conclusão da existência de grupos de minério e, a partir destes grupos, a amostragem foi executada conforme o descrito no Anexo I.

### 3. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA

O material amostrado foi estudado visando seu tratamento posterior. O resultado a que chegamos indica que o minério poderá ser tratado por um só processo tendo em vista a semelhança dos grupos.

#### 3.1 Procedimentos adotados

- a) As amostras foram britadas e moídas até - 65 mesh a cada grupo classificado em peneiras.
- b) O níquel nas frações granulométricas foi determinado por fluorescência de raios-x.
- c) As determinações de liberação e as separações dos constituintes minerais de cada grupo foram efetuadas pela técnica da coluna de densidade diferencial.
- d) Difração de raio-x foi utilizada para a identificação mineral, sendo a distribuição do níquel estudada por microsonda eletrônica.

#### 3.2 Resultados Obtidos

##### 3.2.1 Análise qualitativa - Espectrograma

Elementos principais (>5%)

Fe, Si e Mg



Elementos secundários (0,5%; 5%)

Al, Cr, Ni e Mn

Elementos traços (<0,5%)

Ca, Cu, Co, Zr e K

### 3.2.2 Análise Quantitativa

A análise quantitativa dos maiores constituintes dos grupos apresentaram os seguintes resultados:

GRUPOS	% DOS ELEMENTOS								
	Ni	Fe	Mg	SiO <sub>2</sub>	Ca	Cr	Co	Cu	Al
G1	1,06	24,0	7,52	29,9	0,02	1,22	0,035	<0,01	2,56
G3	1,40	29,0	5,49	27,7	0,003	1,70	0,044	<0,01	2,70
G4	1,46	34,9	6,66	18,1	0,002	2,09	0,060	<0,01	2,40
G5	1,34	20,7	12,32	32,1	0,007	1,26	0,034	<0,01	2,41
G6	0,89	20,4	9,96	38,8	0,045	0,97	0,035	<0,01	1,11
G7	0,91	21,5	8,77	33,5	0,055	0,89	0,035	<0,01	3,48
G9	1,02	16,8	17,24	32,4	0,009	0,65	0,025	<0,01	0,36
G11	1,00	35,2	2,21	17,0	-	1,42	0,051	-	4,82

### 3.3 Variação do Níquel nas frações granulométricas

Os quadros a seguir ilustram a distribuição do níquel nas frações granulométricas. Os dados foram obtidos por fluorescência de raios-x. Os valores computados para o níquel são relativos, isto é, indicam o teor de níquel nas frações em relação à primeira (fração mais dura, + 100 mesh).

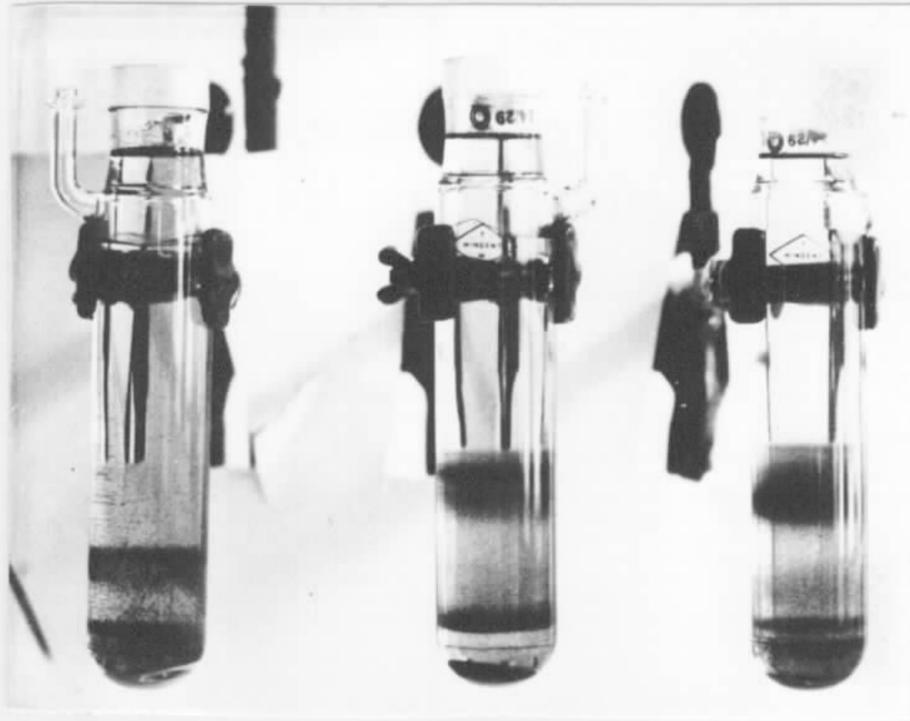


MESH	G1		G3		G4		G5	
	%Pêso	Ni	%Pêso	Ni	Pêso	Ni	Pêso	Ni
+100	18,4	1,00	19,1	1,00	26,2	1,00	26,1	1,00
-100 +170	30,4	1,25	34,2	1,40	57,9	1,28	51,5	1,40
-170 +250	18,8	1,27	19,6	1,35	14,6	1,27	16,5	1,41
-250 +325	7,3	1,25	7,4	1,32	0,9	-	3,4	-
-325 +400	0,1	-	1,7	-	0,1	-	0,1	-
-400	25,0	1,14	18,0	1,12	0,4	-	2,6	1,02

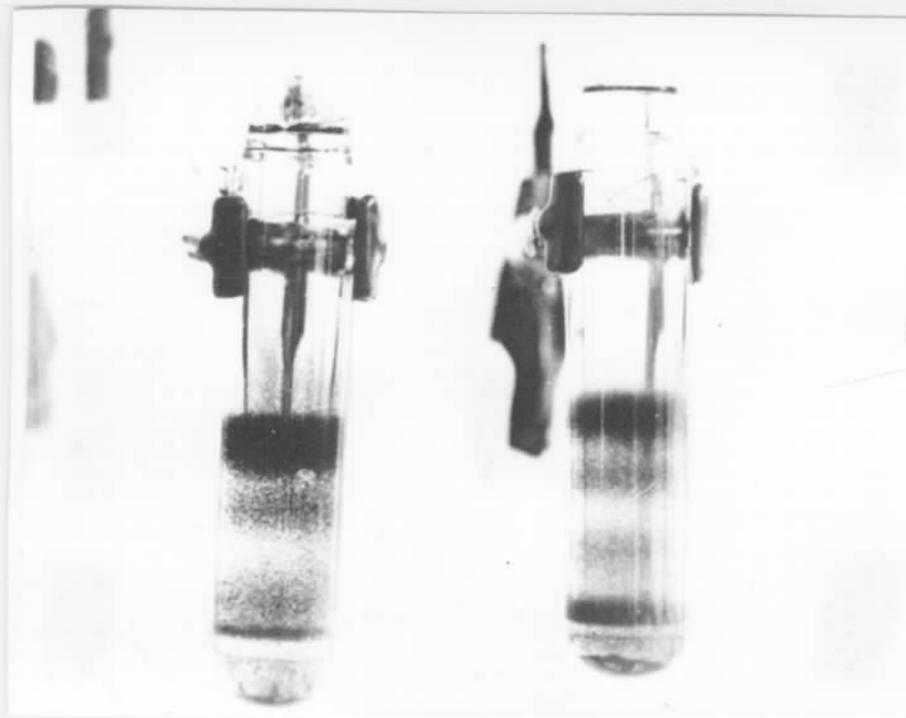
MESH	G6		G7		G9		G11	
	%Pêso	Ni	%Pêso	Ni	%Pêso	Ni	Pêso	Ni
+100	19,4	1,00	32,8	1,00	29,1	1,00	34,0	1,00
-100 +170	25,6	1,55	27,5	1,08	49,0	1,13	43,9	1,31
-170 +250	13,0	1,70	13,4	1,05	15,4	1,17	15,1	1,03
-250 +325	9,3	1,72	4,5	1,07	2,4	1,30	1,1	-
-325 +400	1,9	-	5,2	1,07	2,6	1,30	4,3	0,56
-400	30,8	1,73	16,5	1,04	1,6	1,28	1,6	-

### 3.4 Liberação

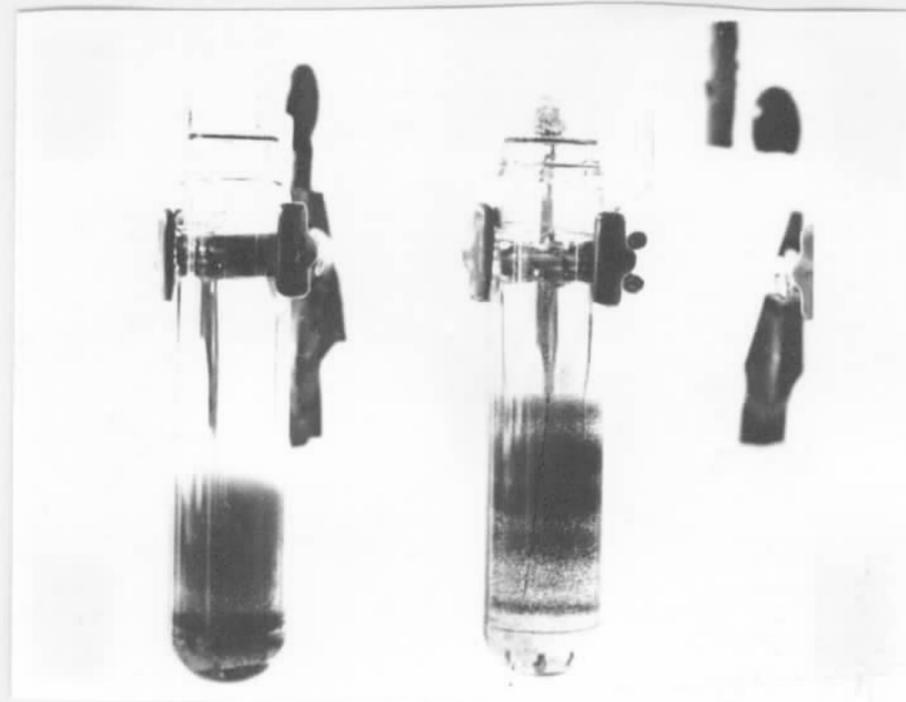
O estudo pela técnica da coluna de densidade diferencial mostrou que a liberação dos diversos constituintes minerais ocorre praticamente para todos os grupos, entre 170 e 325 mesh. Estes resultados estão ilustrados nas fotografias a seguir.



Fot. 1 - GRUPO G1, MESHS -100+170, -170+250, -250+325



Fot. 2 - GRUPO G3; MESHS -170 +250 e -250 +325



Fot. 3 - GRUPO G11, MESHS -170+250 e -250+325



### 3.5 Constituição Mineral

A análise por difração de raio-x, das frações obtidas pela técnica da coluna de densidade diferencial, mostrou que os grupos têm constituição mineral bastante similares, diferindo entre si pelo teor dos seus componentes secundários. Os principais constituintes do conjunto de grupos podem ser relacionados como segue:

a) Cloritas:

Penitita

Bavalita

Ripidolita

Thuringita e

Diahanita, de fórmula geral,  $(5 + x) MgO \cdot (1-x) Al_2O_3$   
 $(3 + x) SiO_2 \cdot Y H_2O$

b) Serpentina SYN,  $(Mg_5Al) (Si_3Al) O_{16} (OH)_8$

c) Serpentina Antigorita,  $Mg_3Si_2O_5 (OH)_4$

d) Talco,  $Mg_3Si_4O_{10} (OH)_2$

e) Quartzo Alfa,  $-SiO_2$

f) Óxidos de ferro,  $Fe_2O_3$  e  $Fe_3O_4$

g) Goetita,  $FeO (OH)$

h) Magnésio Cromato  $MgCr_2O_4$

i) Cromita,  $FeO (Cr, Al)_2O_3$

j) Minerais de níquel (traços):

Níquel antigorita,  $(Ni, Mg)_3Si_2O_5(OH)_4$  e

trevorita  $(Ni, Fe) Fe_2O_4$ .

### 3.6 Microanálise por sonda eletrônica

A análise por sonda eletrônica mostrou a distribuição do níquel na maioria dos minerais detectados. Também confirmou a presença de minerais de níquel, níquel antigorita,  $(Ni, Mg)_3 Si_2O_5(OH)_4$ , trevorita  $(Ni, Fe) Fe_2O_4$ , finamente distribuídos e em baixas concentrações.



A comprovação destas observações pode ser feita através das fotografias de micro-sonda: (Anexo II)

Figuras de 1 a 3 - Níquel em serpentina antigorita

Figuras 4 e 5 - Níquel em níquel antigorita

Figuras 6 e 8 - Níquel em óxidos Espinélios

Figuras de 9 a 13 - Níquel em cloritas

Figuras de 14 a 15 - Níquel em misturas de serpentinas

Figuras de 16 a 23 - Níquel em óxidos Espinélios

Figuras de 24 a 28 - Níquel em cloritas

Figuras de 29 a 34 - Níquel em serpentinas

Figuras de 35 a 40 - Níquel, cobre, cromo, e ferro nos óxidos Espinélios

### 3.6 Observações finais

3.6.1 Observando-se os resultados nas diversas etapas deste trabalho, e ainda considerando-se o teor de níquel, médio dos grupos, verifica-se que seria difícil beneficiar o minério em relação a este elemento.

3.6.2 Praticamente todo o níquel do minério é de substituição isomórfica.

3.6.3 Os grupos têm constituição semelhantes, diferindo entre si apenas pelo teor de seus componentes.

3.6.4 As serpentinas constituem o material dominante do minério e entre as cloritas, a peninita é a de maior teor.

3.6.5 Foi observado um aumento de concentração de cobre nas frações pesadas, particularmente nos óxidos espinélios: (Mg, Ni, Cu... ) Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, (Ni, Fe, Cu... ) Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> e (Fe, Ni Cu... ) O (Cr, Al)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

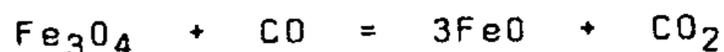
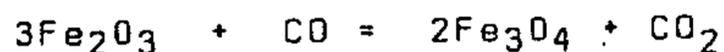
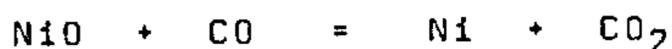
## 4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DOS PROCESSOS PESQUISADOS

Os processos estudados neste trabalho fundamentaram-se nos seguintes princípios teóricos.

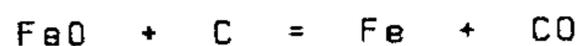
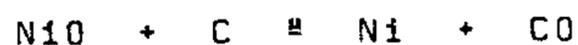


#### 4.1 Fusão a ferro-níquel

A obtenção de liga de ferro-níquel é efetuada através da fusão e redução do minério. Esta fusão é feita, mais comumente, em fornos elétricos tendo como agente redutor o carvão. A redução a metal acontece durante a fusão da carga quando os óxidos dissolvidos nos silicatos fundidos entram em contato direto com o carbono sólido. Uma pré-redução, pode ocorrer quando os gases decorrentes de decomposição de uma parte do carvão entram em contato com o minério, nas partes acima da zona de fusão, de acordo com as reações:



Na zona de fusão as reações principais são:



Para a produção industrial de Fe-Ni, os insumos são da seguinte ordem, por toneladas de níquel contido:

Óleo combustível	5,2 ton
Carvão	2,8 "
Calcáreo	0,7 "
Refratário	0,4 "
Fluorita	0,1 "
Eletrodos	0,2 "
Energia Elétrica	60.000 KWH
Oxigênio	0,2 m <sup>3</sup> a 8 ks/cm <sup>2</sup>



De importância capital para a posterior utilização da liga obtida, é a relação Cu/Ni que o Fe/Ni apresenta. Pois uma vez obtida a liga, o cobre não pode ser eliminado, tornando-a imprópria para utilização industrial.

#### 4.2 Redução

A redução por si só não constitui um processo para a obtenção do níquel, porém, é o instrumento principal para que o níquel possa ser atacado na rede cristalina do minério, onde se encontra disseminado, por lixiviações ácidas ou básicas.

O processo se baseia em uma calcinação redutora. Teoricamente, o processo é simples. Sob a ação de misturas de gases redutores, adequadamente proporcionadas, o óxido de níquel passa a níquel elementar e os óxidos de ferro passam a magnetita e wustita.

A redução do óxido de níquel deve ser a mais completa possível antes do minério atingir 800°C quando se dá a transformação exotérmica de fase, com a formação de olivina,  $Mg_2SiO_4$ , ou a formação de forsterita (Mg/Fe)  $SiO_4$ , conforme pode ser visto na análise termo diferencial apresentada na Fig. 1.

A formação de olivina ou forsterita é desejável no sentido de fixar o magnésio, impedindo sua dissolução em lixiviações posteriores.

Por outro lado, tais silicatos também fixam qualquer óxido de níquel ainda não reduzido, dificultando o prosseguimento da redução.

#### 4.3 Lixiviação com ácido sulfúrico

O uso de ácido sulfúrico para a solubilização do níquel contido em minérios lateríticos, vem sendo estudado há algum tempo. Algumas soluções tem sido apresentadas, mas, de uma maneira geral, poucas têm sido utilizadas industrialmente.



O processo baseia-se na reação entre o ácido sulfúrico e o óxido do metal, dando lugar à formação do sulfato do metal correspondente.



Este processo é pouco seletivo, e é imperioso ajustar-se as condições do mesmo, afim de que um máximo de extração de níquel e, conseqüentemente, uma solubilização mínima de ferro e magnésio. O ferro pode ser eliminado por alguns artificios, porém o magnésio apresenta maiores dificuldades de eliminação; daí, poder-se concluir que, para minérios contendo quantidades apreciáveis de magnésio, o processo de lixiviação com ácido sulfúrico torna-se proibitivo, dado ao consumo exagerado de ácido.

Em Moa Bay, Cuba, o minério laterítico do tipo limonítico, contendo pequenas quantidades de óxido de magnésio (1,7%) e sílica (3,7%), é atacado pelo ácido sulfúrico, em meio aquoso, em autoclaves (610 psig) a uma temperatura entre 230 e 260°C. Nestas condições, os sulfatos de ferro são menos estáveis do que os de níquel, e portanto desta maneira consegue-se dissolver quase que a totalidade do níquel com grande parte do ferro permanecendo no resíduo, como óxido férrico insolúvel (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Se por acaso a lixiviação fosse feita à pressão atmosférica, a maior parte do ferro iria para a solução como sulfato solúvel. Normalmente, o ferro poderia ser precipitado como hidróxido, antes do níquel ser recuperado.

No entanto, o uso de altas temperaturas, que automaticamente envolve altas pressões, tem uma série de vantagens:

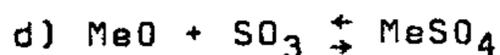
- a) máxima seletividade
- b) filtração do óxido férrico muito mais fácil do que a do respectivo hidróxido.
- c) o consumo de ácido reduzido.
- d) a solução lixiviada relativamente pobre em ferro, facilitando a recuperação do níquel.



Outro processo, desenvolvido para Sherritt Gordon Mines Ltd, consiste na reação ácido sulfúrico - minério a 600 - 700°C.

Nesta temperatura, o sulfato férrico, formado em temperaturas mais baixas, é decomposto, com formação de SO<sub>3</sub>, regenerado uma apreciável quantidade do ácido utilizado no início do processo. O produto calcinado é então lixiviado com água.

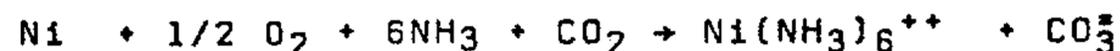
As reações principais são as seguintes:



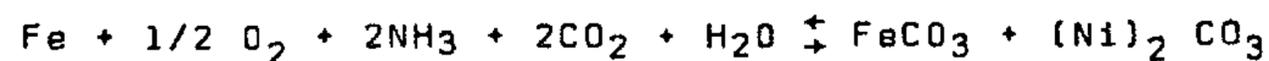
Analisando-se as reações do processo, verifica-se que a quantidade de ácido sulfúrico a ser adicionada, é aquela estritamente necessária para que se promova uma sulfatação parcial. A reação b, então, complementa a sulfatação.

#### 4.4 Lixiviação amoniacal

O processo de lixiviação amoniacal para níquel, baseia-se no fato de amônia e sais de amônia (inicialmente uma mistura amônia-carbonato de amônia) reagirem com níquel metálico, em presença de oxigênio, para formar complexos amoniacais de níquel, solúveis, segundo a seguinte reação:

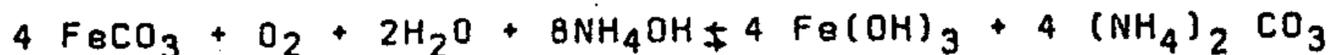


O ferro também passa à solução, provavelmente por meio da reação:





O ferro ferroso é depois oxidado, formando-se hidróxido férrico, que se deposita sobre as partículas de minério não reagido.



Após a separação dos sólidos, a solução é tratada por passagem de vapor, que tem a finalidade de precipitar o níquel, de acordo com a seguinte reação:



Depois de isolado da solução, o precipitado de hidróxi-carbonato de níquel pode ser calcinado e óxido, sinterizado com carbono para produção de níquel metálico, ou dissolvido em ácido sulfúrico e o níquel recuperado eletroliticamente.

Durante o processo de lixiviação amoniacal, praticamente não há dissolução de magnésio, que se ocorresse, seria bastante inconveniente, em virtude da formação de crostas aderentes em equipamentos e tubulações.

Usualmente, a lixiviação é feita em mais de um estágio e em contra-corrente, para obter-se melhor rendimento. As concentrações usuais de reagentes utilizadas são 3M para ambos  $\text{NH}_4\text{OH}$  e  $(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3$ .

Para que o processo torne-se economicamente viável, a solução lixiviante deve ser em grande parte recuperada, utilizando-se para tal torres de absorção para  $\text{NH}_3$  e  $\text{CO}_2$ , onde após um ajuste com amônia, a solução volta ao circuito para lixiviar novo minério.

A recuperação de amônia é um fator deveras importante para a economicidade do processo. Na instalação de Nicaro, foi previsto um consumo de apenas 1,167% de amônia em relação ao minério, embora acredita-se que tais níveis não tenham sido alcançados na prática.

#### 4.5 Lixiviação com cloro

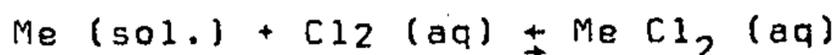
O processo de lixiviação com cloro em meio aquoso, tem como objetivo a reação seletiva de níquel metálico com cloro, para transforma-lo em cloreto solúvel. A cloração



direta em meio aquoso, comparada com a cloração a sêco, é mais fácil de controlar e superior em seletividade com respeito a ferro.

Além disso, a cloração em suspensão aquosa tem ainda a vantagem de que os produtos de reação são dissolvidos e removidos rapidamente das superfícies de reação, favorecendo enormemente a cinética do processo.

O processo pode ser expresso por meio da seguinte reação:

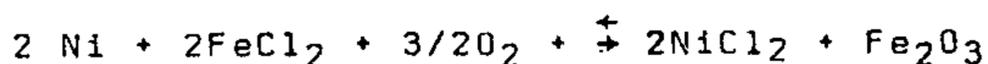


Mais de 90% do níquel pode ser extraído, quando se trabalha a 80°C com um pH na região ácida.

O processo possui ainda duas outras vantagens:

- a) Na prática industrial, o cloro empregado conteria provavelmente algum oxigênio, por exemplo, contaminação do gás de reciclo ou adição proposital de ar, para melhorar a agitação da polpa. Não há efeitos adversos na extração do metal em proporções O<sub>2</sub>: Cl<sub>2</sub> de até 2:1
- b) Desde que os processos de lixiviação, normalmente, requerem grandes quantidades de água doce, este processo não é prejudicado pelo uso de água salgada. Embora, ainda não comprovado, supõe-se que haja considerável aumento na cinética do processo, devido a uma menor hidrólise de cloro no estágio inicial.

Uma possível modificação do procedimento descrito anteriormente, envolve uma cloração parcial seguida por oxidação. A polpa é clorada até um ponto, onde haja ferro dissolvido suficiente para reagir com o níquel não solubilizado, pois, há algum níquel solubilizado neste estágio inicial. Segue-se então, uma oxidação com oxigênio, a reação global para o níquel sendo:



Uma vantagem desse processo de dois estágios, é uma menor dissolução do ferro, quando comparado ao processo de um único estágio.

Uma das possibilidades para o tratamento da solu



lução lixiviante é a extração por solventes. Nesse caso, teríamos a separação dos cloretos de ferro e níquel. O cloro, então, poderia ser facilmente recuperado de duas maneiras:

- a) pela decomposição térmica do cloreto de ferro.
- b) como sub-produto da eletrólise do cloreto de níquel.

#### 4.6 Segregação

Segregação é basicamente um processo de concentração, isto é, objetiva a produção de um concentrado in intermediário, antes da produção de níquel como produto fi nal.

Uma das grandes vantagens deste processo, é a possibilidade de se ter uma instalação para a produção do concentrado junto à mina, e a possibilidade de transporte deste para locais relativamente distantes, mas com maiores possibilidades de processar o concentrado obtido.

O processo envolve o aquecimento do minério com um agente cloretante (usualmente  $\text{NaCl}$  ou  $\text{CaCl}_2$ ), em pre sença de carbono (carvão ou coque). Por meio de uma sé-rie de reações complexas o níquel é extraído por cloreta-ção do minério e é depositado como partículas metálicas sobre o carbono. O níquel é assim removido de sua posi-ção original no minério, e é "segregado" na superfície re dutora das partículas de carbono.

O processo, supõe-se, consiste das seguintes eta-pas básicas:

- a) o agente cloretante reage com a água combinada, libe-rada, provavelmente, na presença de sílica, para for mar ácido clorídrico gasoso.
- b) O ácido clorídrico reage com o minério, formando prin-cipalmente e cloreto de níquel.
- c) O transporte do cloreto de níquel do seio da rede cristalina para a superfície do redutor.



d) O cloreto de níquel é reduzido pelo hidrogênio nas vizinhanças das partículas de carbono, para formar o níquel segregado, enquanto, ao mesmo tempo, o ácido clorídrico é regenerado. A principal fonte de hidrogênio é a reação do vapor d'água com carbono, em que monóxido de carbono também é produzido. As partículas de níquel segregado estão, então, numa forma adequada para ser concentrada por métodos convencionais, principalmente, flotação e separação magnética.

O ciclo completo ocorre na região de 1.000°C, e embora se conheça o mecanismo básico, algumas das reações pertinentes ao processo são contestadas por alguns pesquisadores que, inclusive, apresentam dados práticos na defesa de suas idéias.

Por essa e outras razões, a segregação para níquel, bem mais complicada que a de cobre, vem sendo estudada por muitos pesquisadores, que procuram coincidências teóricas aos resultados práticos obtidos.

## 5. PROCEDIMENTOS UTILIZADOS

### 5.1 Fe-Ni

As experiências de fusão a ferro níquel foram efetuadas em forno tipo mufla mantido a uma temperatura a 1480°C. O material a ser fundido foi colocado em cadinho de grafite e, após a fusão, vasado em uma pequena lingoteira de tijolo refratário.

O objetivo principal foi a verificação de impurezas que não pudessem, através de um posterior refinamento, serem eliminados.

O tempo de vazamento foi fixado em três horas e a alimentação constituiu-se de minério, calcário,



e carvão. Mantido o tempo fixo, as proporções de calcáreo e carvão foram variadas até um máximo de 20% de calcáreo e 10% de carvão.

## 5.2 Redução

Como câmara de redução foi usado um tubo de vycor de 30 mm de diâmetro, colocado horizontalmente em um forno elétrico de resistência, marca Lindeberg. O tubo tinha as extremidades fechadas por rólhas de borra - cha, com passagem para a entrada de gases e vapores para a saída daqueles produzidos. Durante a operação o tubo era suficientemente longo para ser deslocado, de um lado para outro permitindo um aquecimento quase que instântaneo ao material a ser reduzido. O minério era introduzido no forno, espalhado na superfície de uma navicula de vycor, e a temperatura controlada por pirômetro. Para a obtenção dos gases redutores, foram usados dois equipamentos conforme descrito abaixo.

### - Gerador de mistura Co/Co<sub>2</sub>.

Foi utilizado um forno elétrico vertical contendo um tubo de cerâmica não porosa com carvão de madeira na zona de aquecimento uniforme. O forno era mantido a 1000°C. Foi utilizado um cilindro de CO<sub>2</sub> ligado ao gerador e a vazão de saída do gás verificada periodicamente por um Orsat, como pode ser visto na Fig. 2.

### - Gerador de mistura H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O

Foi utilizado um frasco lavador de gases, (Fig. 3) em espiral, garantindo contato íntimo entre o hidrogênio introduzido e a água contida internamente no frasco, cuja temperatura era controlada por termômetro. O frasco era aquecido através de uma fita de aquecimento controlada através de um reostato. A pro-porção H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O era controlada em função da tensão de vapor que a água apresenta a cada temperatura.



A relação das misturas dos gases redutores, a temperatura e o tempo foram as variáveis estudadas.

### 5.3 Lixiviação com ácido sulfúrico

Foi utilizado equipamento comum de laboratório compreendendo bechers, cadinhos de vycor, muflas, agitadores magnéticos providos de placa aquecedora.

As experiências foram levadas a efeito segundo o seguinte esquema:

- a) ao minério (50g) era adicionado água e, após, o ácido sulfúrico.
- b) a massa formada era agitada e deixada em contato por tempos determinados. Nas experiências feitas à quente, a massa era colocada em mufla, dentro de cadinho de vycor.
- c) na etapa seguinte era feita a lixiviação com água acidulada ( $\text{pH} = 2$ ), em temperaturas na faixa  $70-90^{\circ}\text{C}$ . Deixava-se em agitação, mantendo-se o aquecimento, e, depois, filtrava-se, transferia-se para balão volumétrico e a solução era enviada para análise por absorção atômica, onde eram determinados os teores de níquel, ferro e magnésio.

### 5.4 Lixiviação com amônia

A aparelhagem usada para a lixiviação com amônia pode ser vista na figura 4, que por si só é bastante elucidativa.

As lixiviações foram feitas utilizando-se uma grama de minério reduzido, com solução 3M de  $\text{NH}_4\text{OH}$  e 3M de  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , à temperatura ambiente, borbulhando-se oxigênio, sob pressão atmosférica. A extração de níquel foi calculada em relação à percentagem de níquel reduzido no minério.



### 5.5 Lixiviação com cloro

Foi feita em aparelhagem similar à usada para a lixiviação com amônia, e pode ser vista na Fig. 5

Uma grama de minério reduzido era lixiviada com cloro, em temperaturas na faixa 70-90°C, e, para melhorar a agitação, nitrogênio foi usado. A quantidade de cloro foi mantida constante durante a execução das experiências, e para tal utilizou-se um rotâmetro 1/8" com esfera de safira.

Nas lixiviações de dois estágios oxigênio foi borbulhado, sob pressão atmosférica.

A extração de níquel foi calculada da mesma maneira, de que quando calculada para a lixiviação com amônia.

### 5.6 Segregação

Os ensaios de segregação foram realizados em forno estacionário cilíndrico, vertical, de aquecimento elétrico, com potência de 2,5 KW. Sua estrutura é de chapa, com altura de 50 cm e um diâmetro interno de 75 mm e externo de 400 mm. O forno é isolado termicamente por meio de pó de tijolo isolante. Pode-se atingir temperaturas de até 1100°C, com uma tensão de 200 volts e uma corrente de 10 amperes.

No interior do forno foi colocado um tubo de vycor de 65 mm de diâmetro, fechado em ambas as extremidades com rolhas de borracha.

Um cadinho de vycor, com capacidade para 80 gramas de mistura, era introduzido na zona central do forno. A temperatura foi controlada através de um sistema termopar-pirômetro-variador de tensão. O termopar era de platina - platina ródio.

A atmosfera do forno foi mantida inerte pela passagem de nitrogênio.



O controle do processo foi feito mediante a análise do níquel total e do níquel "segregado", isto é, o níquel que passou para a forma metálica.

As separações magnéticas foram feitas em tubo de Davis. Esse aparelho consiste de um eletroímã, entre os polos do qual é colocado um tubo de vidro numa inclinação de aproximadamente  $45^\circ$  (podendo ser ajustado). O tubo é suspenso por um mecanismo, que permite movimentos de rotação do tubo simultaneamente com movimentos coaxiais.

A velocidade de agitação pode ser variada bem como a intensidade do campo magnético.

## 6. RESULTADOS

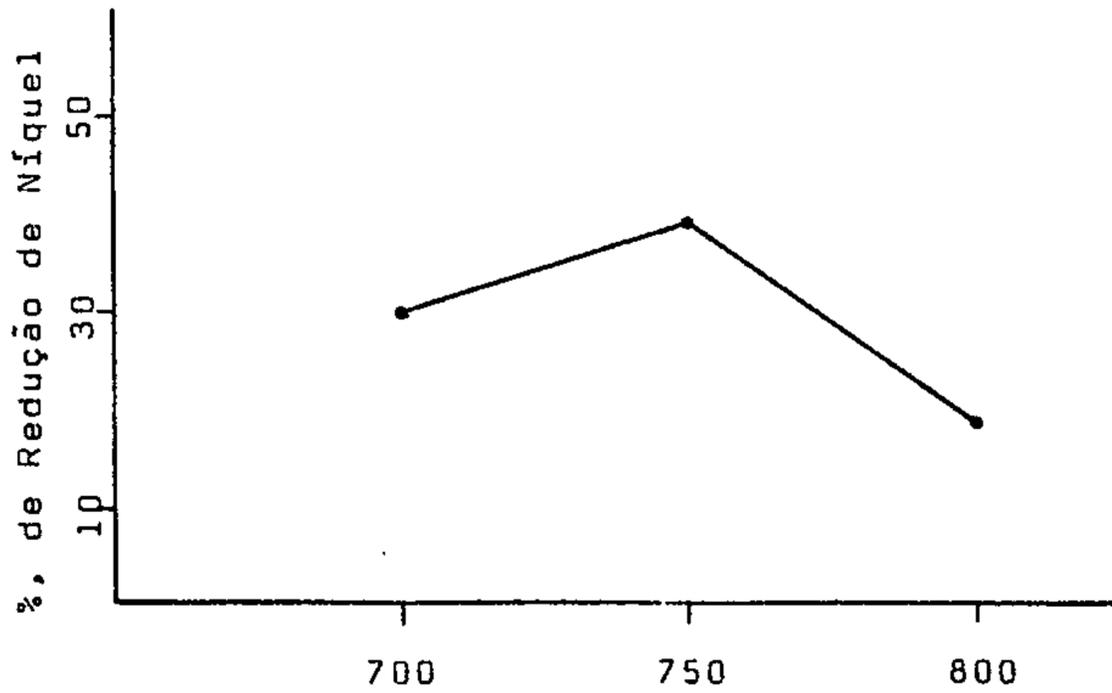
### 6.1 Fe/Ni

Como não era objetivo do nosso trabalho obter um produto final nas condições industriais não nos preocupamos com a perfeita separação entre metal e escória. Mesmo assim, foi possível estudar o parâmetro que mais interessava.

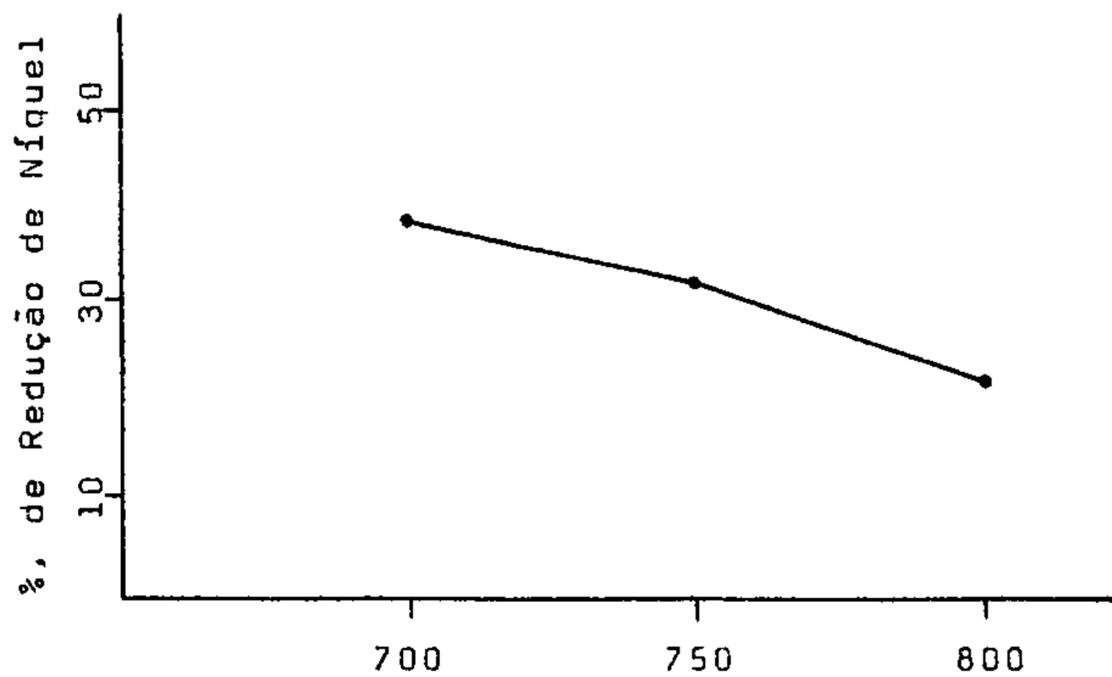
Foram realizadas 5 experiências obtendo-se teores de Cu que variavam em torno de 0,04%, o que nos deu relação de Cu/Ni de 0,008, muito abaixo do teor máximo permitido no produto comerciável.

### 6.2 Redução

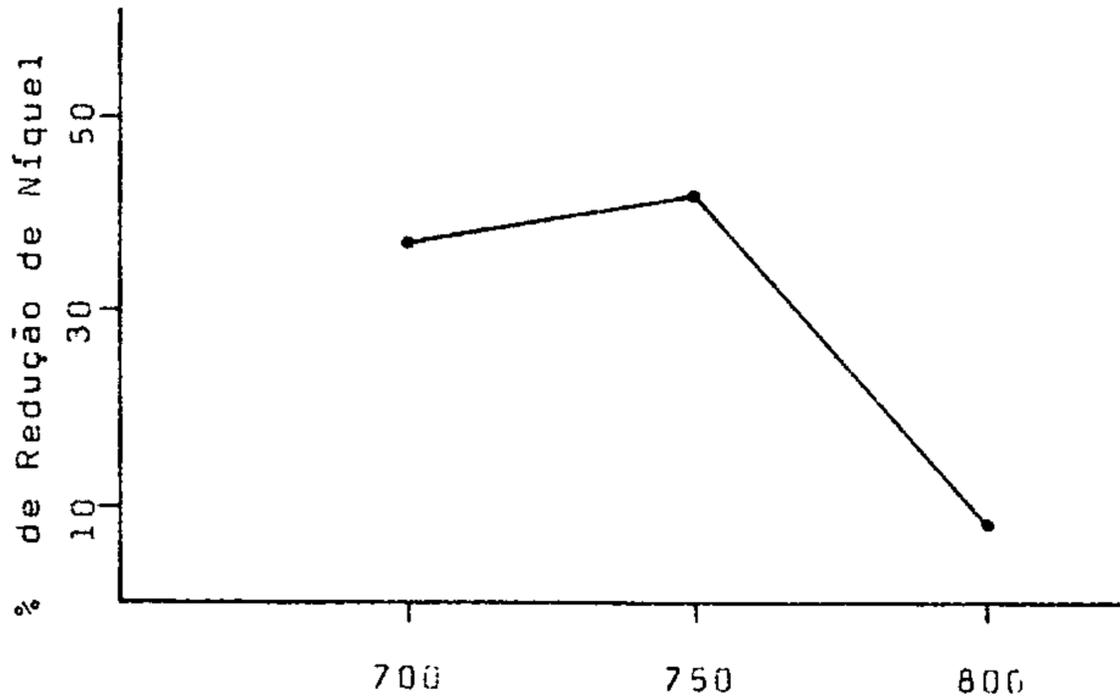
Os gráficos seguintes apresentam os resultados das experiências realizadas.



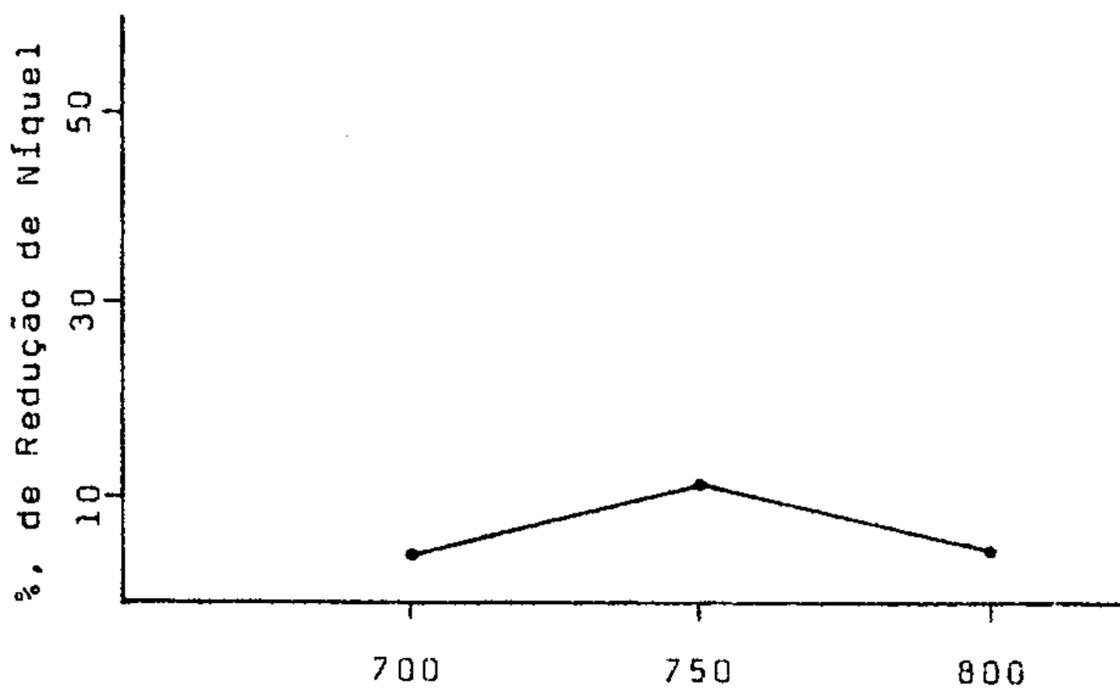
Redução com  $H_2/H_2 = 75\%$  tempo 30 min.



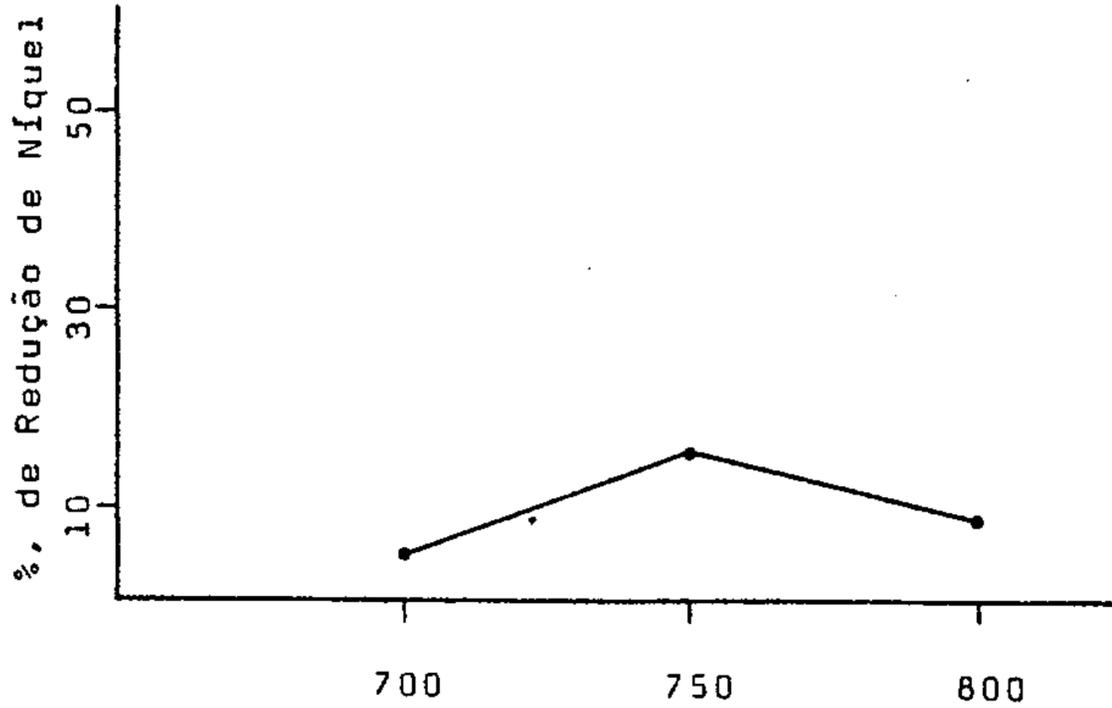
Redução com  $H_2/H_2O = 75$  tempo 60 min.



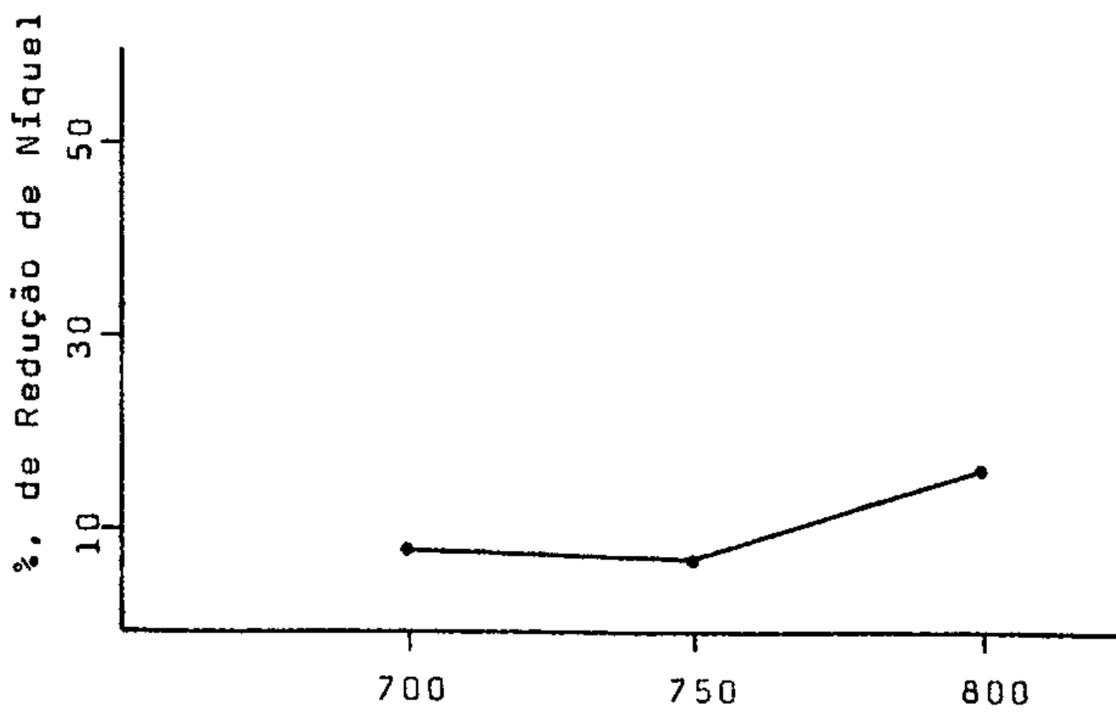
Redução com  $H_2/H_2O = 75\%$  tempo 90 min.



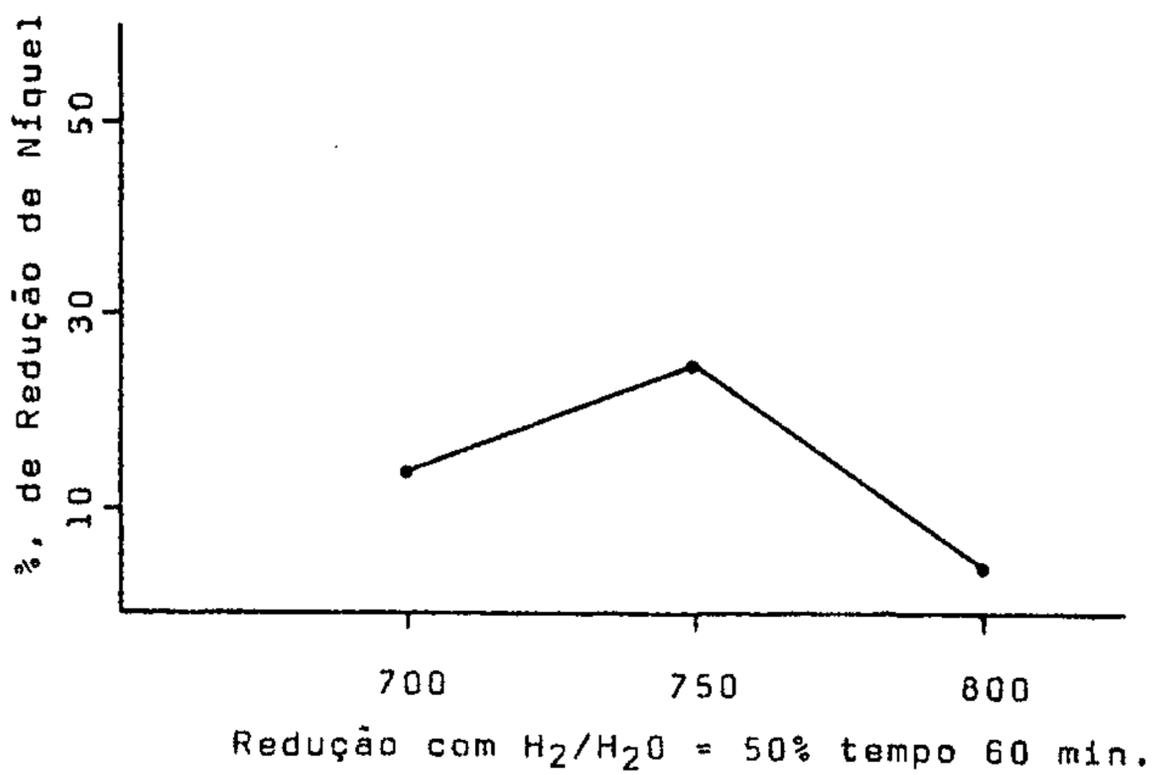
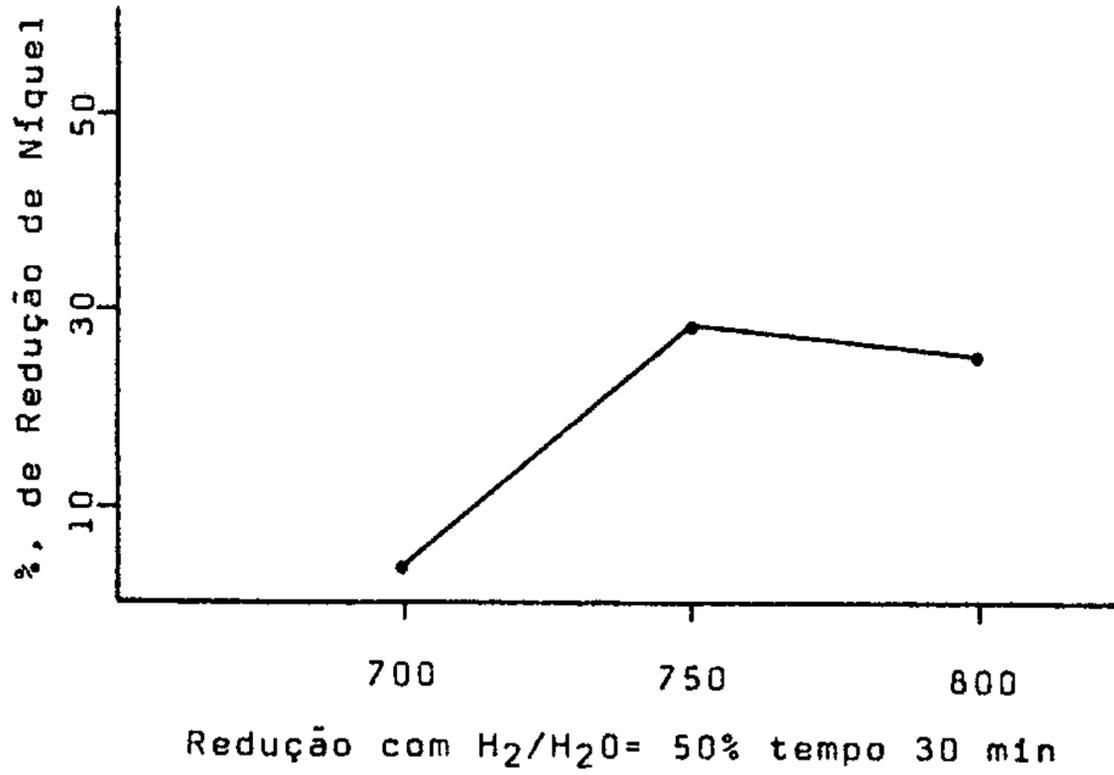
Redução com 100%  $H_2$  tempo 30 min.



Redução com 100% $H_2$ , tempo 60 min



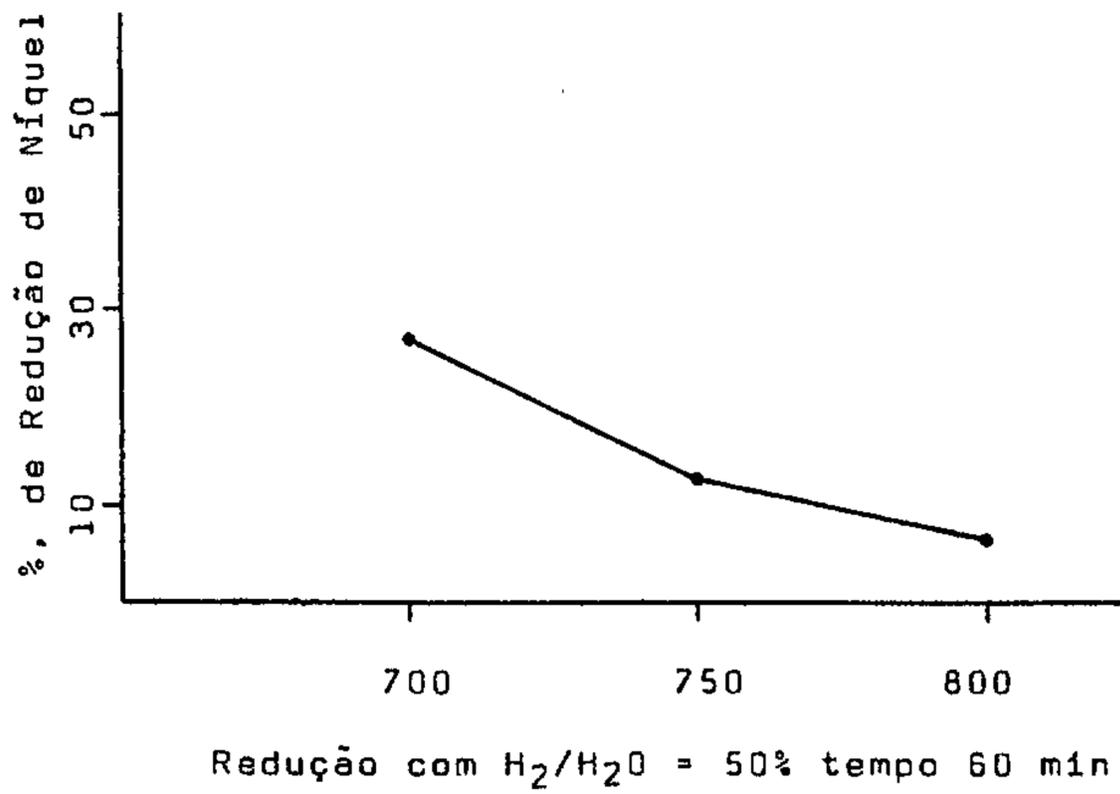
Redução com 100% $H_2$ , tempo 90 min





MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPAÇIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº  
7.003-LNC/73  
Fólia  
24/36





### 6.3 Lixiviação com ácido sulfúrico

Após algumas experiências preliminares, alguns parâmetros foram fixados. As condições que foram mantidas constantes na maioria dos testes são descritas a seguir:

Pêso de amostra utilizada: 50 g  
Granulometria : -100 +200  
%H<sub>2</sub>O (em pêso) : 30  
%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (em pêso) : 30  
Volume de água acidulada  
(pH=2) : 400 - 500 ml  
Temperatura de lixiviação  
com água : 70 - 90°C  
Tempo de lixiviação com  
água : 2 horas

Foram variados o tempo de contato minério água-ácido sulfúrico, a temperatura em que foi deixada esta massa e, em algumas experiências, a percentagem em pêso de ácido usada.

A análise da amostra utilizada para lixiviação com ácido sulfúrico revelou os seguintes teores de níquel, ferro e magnésio.

%Ni - 0,94  
%Fe - 24,5  
%Mg - 7,25

A tabela abaixo mostra o efeito da variação da quantidade de ácido usada. A massa formada foi agitada durante duas horas na temperatura ambiente



% pêsos de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> usada	E X T R A Ç Ã O		
	%Ni	%Fe	%Mg
20	40,43	7,92	48,28
30	59,57	21,22	81,66
40	56,38	20,20	67,86
50	67,02	24,08	80,00

Deixando-se em contato por tempo extremamente longo (24 horas), a massa formada (30% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), à frio, a extração de níquel, ferro e magnésio situou-se em níveis comparáveis de que quando se usou uma quantidade exagerada de ácido (50%). O resultado expresso em função da extração de Ni, Fe e Mg foi o seguinte:

% Ni - 63,83  
% Fe - 25,71  
% Mg - 78,21

Colocando-se a massa (30% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) formada na mufla (300°C), e, deixando-se nessa temperatura por tempos determinados, obtivemos a seguinte tabela.

Tempo de permanência (horas)	E X T R A Ç Ã O		
	%Ni	%Fe	%Mg
0,30	62,70	17,00	75,30
1,00	69,15	28,98	76,83
3,00	61,70	9,96	69,52



Mantendo-se as mesmas condições, do que quando trabalhou-se a 300°C, foi feita uma experiência deixando-se a massa por uma hora na temperatura de 700°C o resultado foi o seguinte:

%Ni	-	22,34
%Fe	-	2,86
%Mg	-	83,31

#### 6.4 Lixiviação com amônia

Para este processo utilizou-se uma solução lixivante de seguinte composição:

NH <sub>4</sub> OH	-	474 ml	(3M)
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	-	168 g	(1M)
H <sub>2</sub> O	-	358 ml	

Foram feitas lixiviações de uma grama de minério reduzido. Para tal usou-se a aparelhagem da figura 4

Para a extração de níquel de uma grama de minério reduzido, foi necessário o uso de 100ml de solução lixivante.

O tempo de lixiviação foi a única variável estudada, e verificou-se que após 90 minutos de lixiviação, a extração de níquel praticamente manteve-se constante em torno de 95%.

Este resultado poderá ser melhorado, desde que a lixiviação seja feita em estágios e em contra corrente.

#### 6.5 Lixiviação com cloro

Como na lixiviação com amônia, o tempo foi a única variável estudada, pois a quantidade de cloro utilizada, principal insumo do processo, foi mantida constante. Nas lixiviações de um único estágio, com água comum e água salgada (20g NaCl/litro), o pH inicial foi de



2,5 (ajustado com HCl), e a relação sólidos/solução foi de 1/100. Após dez minutos, a extração de níquel permaneceu constante e, curiosamente, além de todo níquel reduzido ser lixiviado, algum níquel combinado também o foi, provavelmente devido à agressividade do meio envolvido. Por esta razão, houve dificuldades no cálculo do rendimento do processo.

Foi feita também a lixiviação com cloro, seguida da oxidação do ferro pelo oxigênio. Na fase de cloração parcial, o pH inicial foi igual a 4,0, e, no início da oxidação foi ajustado para 3,0. Os resultados obtidos para dissolução de níqueis foram similares aos obtidos, na lixiviação de um único estágio.

#### 6.6 Segregação

Baseados no conhecimento prévio do processo, somente foram estudadas as variáveis principais. Trabalhando-se com porcentagens dos reagentes em torno de condições pré-estabelecidas, chegou-se a um resultado bastante promissor. Nas nossas experiências, chegamos a metalizar cerca de 70% do níquel total contido no minério, isto é, o rendimento global do processo foi de 70%, pois, todo níquel metalizado pode ser recuperado por separação magnética.

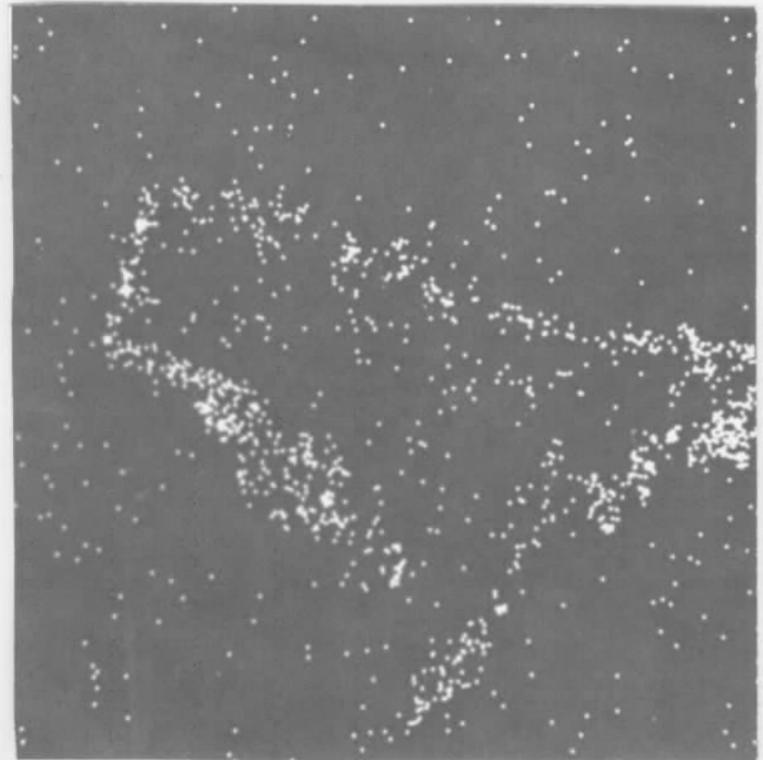
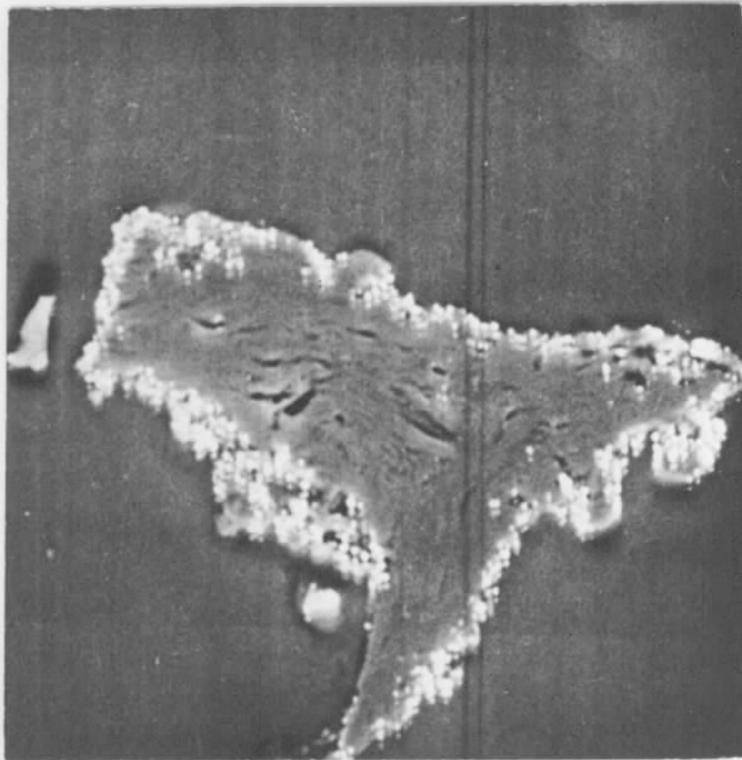
O concentrado proveniente do segregado analisou:

% Ni - 15,4

% Fe - 41,5

A recuperação de níquel no concentrado final foi de 50%, e se fosse calculado em relação do níquel metalizado, seria de 70%.

A segregação pode ser constatada pela observação dos corpos de prova na microsonda, onde pode-se ver o níquel segregado em torno dos grãos de carvão sob a forma de granulados.



## 7. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

### 7.1 Fe Ni

Os processos pirometalúrgicos são os que concorrem com a maior parcela do níquel produzido mundialmente. Estes processos, entretanto, são utilizados para minérios contendo teores de níquel mais altos do que os apresentados. Poderia ser desenvolvido, em escala piloto, a obtenção de Fe-Ni a partir do minério de Morro do Engenho, contudo, a fase de refino que iria enriquecer o teor de níquel contido na liga final, tornar-se-ia crítica para a economicidade do processo.

### 7.2 Redução

Verificou-se, através de análise termo-diferencial, que a  $640^{\circ}\text{C}$  o minério perde a água combinada e a  $800^{\circ}\text{C}$  sofre uma transformação isotérmica de fase.



É provável que a liberação da água combinada altere localmente o potencial de redução ( a água age como oxidante) e/ou dificulta a difusão dos gases redutores no seio das partículas do minério. Do mesmo modo, a transformação de fase, para uma estrutura mais rígida da rede cristalina, dificulta a redução de qualquer níquel ainda não reduzido. Do ponto de vista termodinâmico observa-se que as proporções das misturas, praticamente, não devem afetar os resultados de redução do óxido de níquel, uma vez que, nas temperaturas utilizadas, os valores da constante de equilíbrio  $K_p$ , obtidos em função de  $\Delta G$ , são bastante negativos.

Pelo fato de ter sido usado um forno estacionário, o contato entre o minério e os gases redutores foi precário não permitindo o melhor rendimento. Na fase piloto, usando um forno rotativo, possivelmente não teremos estes problemas, e o rendimento deverá ser mais conveniente para as lixiviações posteriores. Experiências efetuadas com misturas  $Co/Co_2 \sim 1,7$  apresentaram um rendimento de aproximadamente 60%. Porém, com mistura proporcionada de  $H_2/Co$ , que será produzida em escala piloto por queima direta de óleo combustível, nos dará, provavelmente, resultados de melhor rendimento.

Através dos resultados obtidos por misturas  $H_2/H_2O$ , a temperatura de redução deverá ser fixada no entorno de  $750^\circ C$  e o tempo de 90 minutos, de acordo com a tendência apresentada nos gráficos e, resguardando-se logicamente as adequações dos parâmetros, que deverão ser efetuadas para a fase piloto.

### 7.3 Lixiviação com ácido sulfúrico

A lixiviação com  $H_2SO_4$  não nos pareceu viável, pois, houve uma alta percentagem de solubilização do magnésio, o que complica bastante a economicidade do processo.



#### 7.4 Lixiviação com amônia

O processo de lixiviação amoniaca não apresenta maiores dificuldades do ponto de vista "extração de níquel", pois, o mesmo é praticamente todo lixiviado. A única restrição é a necessidade de recuperação de amônia, que em escala industrial não é de fácil solução.

#### 7.5 Lixiviação com cloro

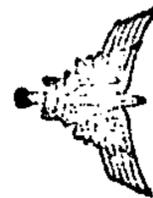
Este processo parece-nos bastante promissor, desde que, não haja um consumo exagerado de cloro. Tal consumo não pode ser verificado em escala de laboratório, mas em escala maior, poderá ser melhor constatado.

#### 7.6 Segregação

O processo de segregação para minérios com alto teor de ferro, apresenta inconvenientes, pois o ferro acompanha o níquel, tanto na segregação, isto é, o ferro é reduzido juntamente com o níquel, e na separação magnética, onde no concentrado obtido há uma alta percentagem de ferro.

Sugerimos que, para que haja melhor rendimento do processo, três linhas básicas devem ser seguidas:

1. Possibilidade de separar o ferro, por separação magnética, do minério, isto é, tentar reduzir o teor de ferro.
2. Estudar uma maior seletividade de níquel em relação ao ferro na segregação.
3. Estudar a viabilidade de concentrar o níquel segregado por outro processo de beneficiamento, por exemplo, flotação, onde haja maiores possibilidades de separação níquel-ferro.



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Folha

ERRATA

FOLHA	ITEM	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
09/36	4.2	..., com a formação de olivina, $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ , ou a formação de forsterita $(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_4$ , conforme pode...	..., com a formação de olivina, $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ , ou a formação de forsterita, $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ , conforme pode...
27/36	6.4	$\text{NH}_4\text{OH}$ - 474 ml (3 m) $(\text{NH}_4)_2$ - 168 g (1 m) $\text{H}_2\text{O}$ - 358 ml	$\text{NH}_4\text{OH}$ - 474 ml (3 m) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ - 168 ml (1 m). $\text{H}_2\text{O}$ - 358 ml
27/36	6.4	..., a extração de níquel praticamente manteve-se constante, em torno de 95% .	..., a extração de níquel praticamente manteve-se constante, em torno de 95%, <u>em relação ao material reduzido.</u>



8. OBSERVAÇÕES FINAIS

O trabalho realizado, apesar do curto tempo disponível, nos mostrou caminhos promissores para a fase piloto que será realizada.

Analisando as experiências efetuadas, julgamos a extração de níquel pelo processo de lixxiviação amoniacal a mais viável e digna de ser considerada. A obtenção de liga Fe-Ni poderia ser considerada, porém, tendo em vista o baixo teor de níquel contido no minério, tornar-se-ia algo oneroso.



B I B L I O G R A F I A

1. Queneau, P. E.; Boldt, J. R. Jr. - The Winning of Nickel - Ed Methuen & Co Ltd - London 1967
2. Canterford, J. H. - The Extractive Metallurgy of Nickel - Rev. Pure and Appl. Chem. 22, 13 (1972)
3. Mining Magazine, Julho de 1973 - Lateritic Nickel Mining in Greece.
4. Caron M. H. - Fundamental and Practical Factors in Ammonia Leaching of Ni and Co ores - J. Metals Vol.188, Nº 1, pg 67-90 (1950)
5. Wright, J. K. - The Segregation Process - Miner. Sci. Engng, Vol. 5, nº 2, Abril (1973).
6. Roorda, H. J.; Queneau, P.E. - Recovery of Nickel and cobalt from limonites by aqueous Chlorination in sea water. Transactions of the Inst. of Mining and Metallurgy, June (1973).
7. Nickel Segregation - A.I.M.E. (1973)
8. Moraes, M. R.; Radino, H.L. - Lixiviação Amoniacal de Minérios Oxidados de Níquel - CTA, Vol.13, nº 5 (1970)
9. Lakschevitz, A. J. - Processos Utilizáveis no Tratamento dos Minérios Oxidados de Níquel - CTA, Vol. 14, nº 4 (1971)
10. Neves, P. C. A.; Legey, J.C.L. - Estudos Preliminares de Extração de Níquel pelo Processo de Segregação em minérios oxidados - CTA, Vol.14, Nº 3, (1971).
11. Câmara, E. G.; Lakschevitz, A.J. - Características de uma Laterita Niquelífera tendo em Vista a sua Concentração pelo Processo de Segregação - CTA (1972).



12. Câmara, E. G. ; Lakschevitz, A. J. - Processos de Separação Magnética e Segregação Aplicados aos Minérios Oxidados de Níquel do Brasil - CTA, Vol. 15, nº 08 (1972).
13. Van Arsdale, G. D. - Hydrometallurgy of Base Metals - McGraw - Hill Book Company, Inc (1953)
14. International Symposium on Hydrometallurgy - AIME (1973)
15. Lakschevitz, A. J. - Recovery of Nickel from Brazilian Lateritic ore-Warren Spring Laboratory (1971)
16. Physicochemical Measurements in Metals Research, Vol. IV, Part 1, Edited by Robert A. Rapp.
17. Caron, M. H. - Ammonia Leaching of Nickel and Cobalt ores - Transactions AIME, Vol. 188, Jan. 1950
18. Wilson, F. - The Moa Bay - Port Nickel Project - Mining Engineering, nº 5, Vol. 10, May 58.
19. Banning, L. H. - Metallurgical - Investigations of Philippine Nickeliferous Ores - Bureau of Mines, R. I. 6063.
20. Banning, L. H. & Anable, W. E. - Preliminary Smelting Research on Philippine Nickeliferous ores. Bureau of Mines, R. I. 5129
21. Joyce, F. E. - Sulfatization of Nickeliferous Laterites - R.I. 6644, Bureau of Mines
22. Anable, W. E. et alii - Electric Smelting of Cuban Serpentina and Laterite Nickel Ores - Bureau of Mines - R.I. 5346



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPAÇIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº  
7.003-LNC/73  
Fólia  
35/36

23. Cremer, H. - Continuous Electric Smelting of  
Low-Grade Nickel Ores - R.I. 5021 Bureaus of  
Mines

24. Mahan, W. M. et alii - Conversion of Niçaro Nickel  
Oxide to Nickel Metal - Bureau of Mines R.I.5465



MINISTERIO DA AERONAUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

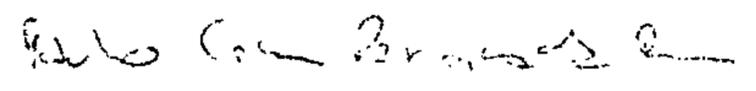
7.003-LNC/73

Fólia

36/36

São José dos Campos, 18 de Dezembro de 1.973

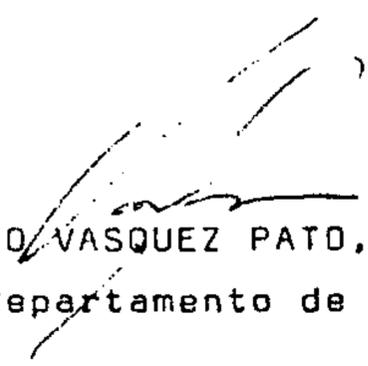
  
DARLY PINTO MONTENEGRO, Eng<sup>o</sup>

  
PAULO CESAR PEREIRA DA ROCHA, Eng<sup>o</sup>

Ciente:

  
ARTHUR LAKSCHEVITZ Jr., Eng<sup>o</sup>  
Chefe Div. Metalurgia Extrativa

Aprovado:

  
JULIO VASQUEZ PATO, Maj Av  
Chefe do Departamento de Materiais-IPD

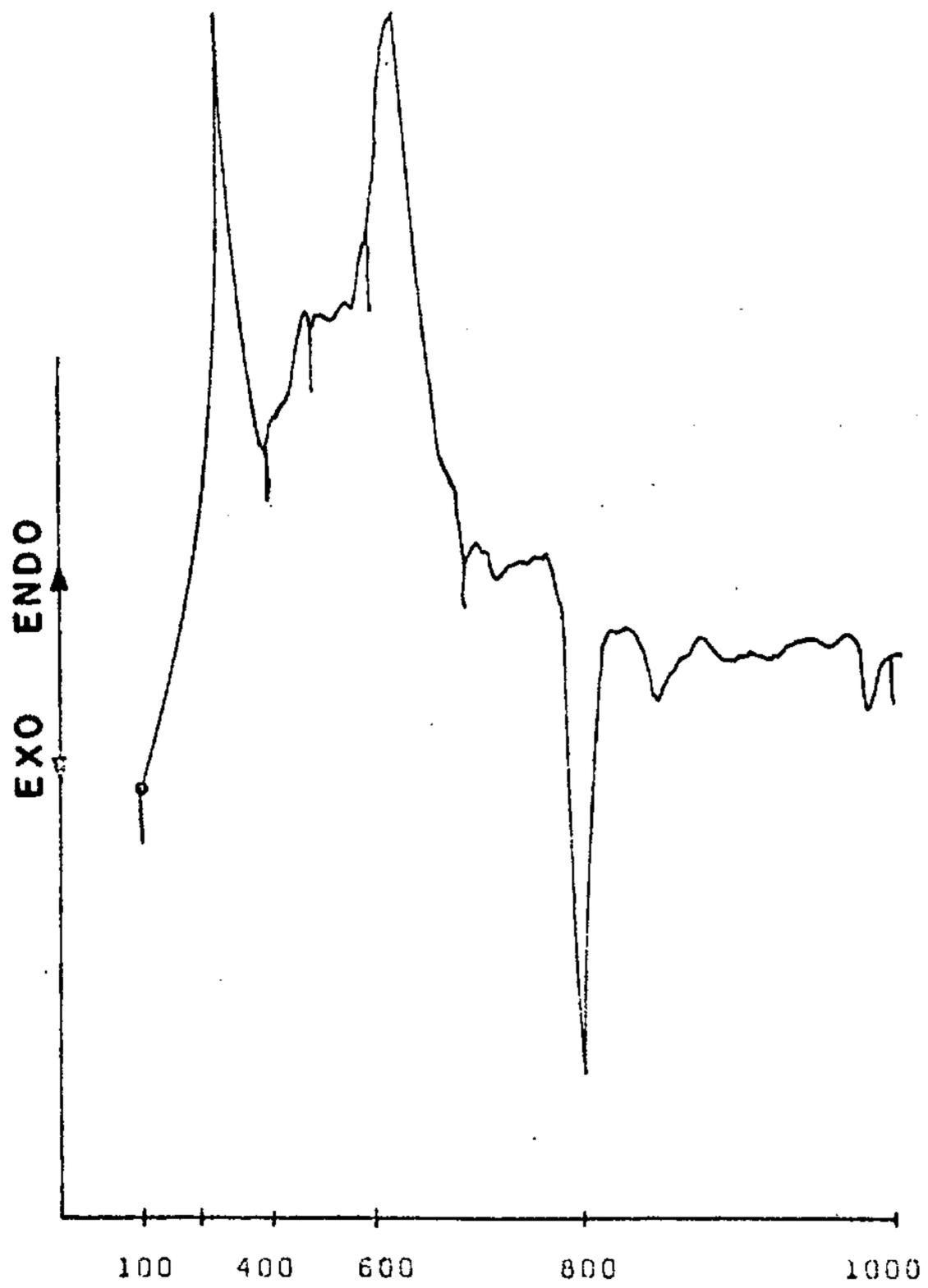


Fig. 1 - Análise Termo-Diferencial

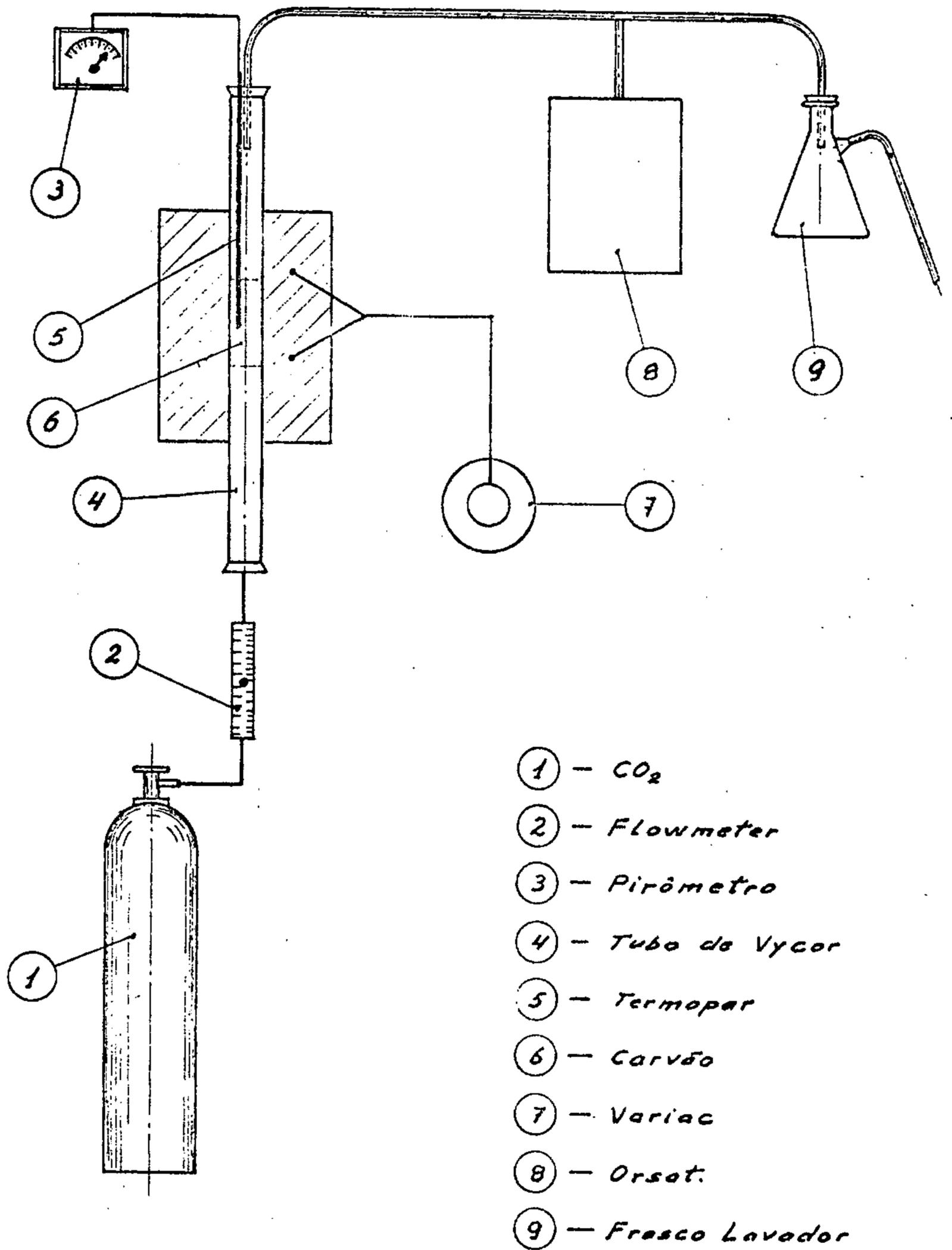


Figura 2 SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CO

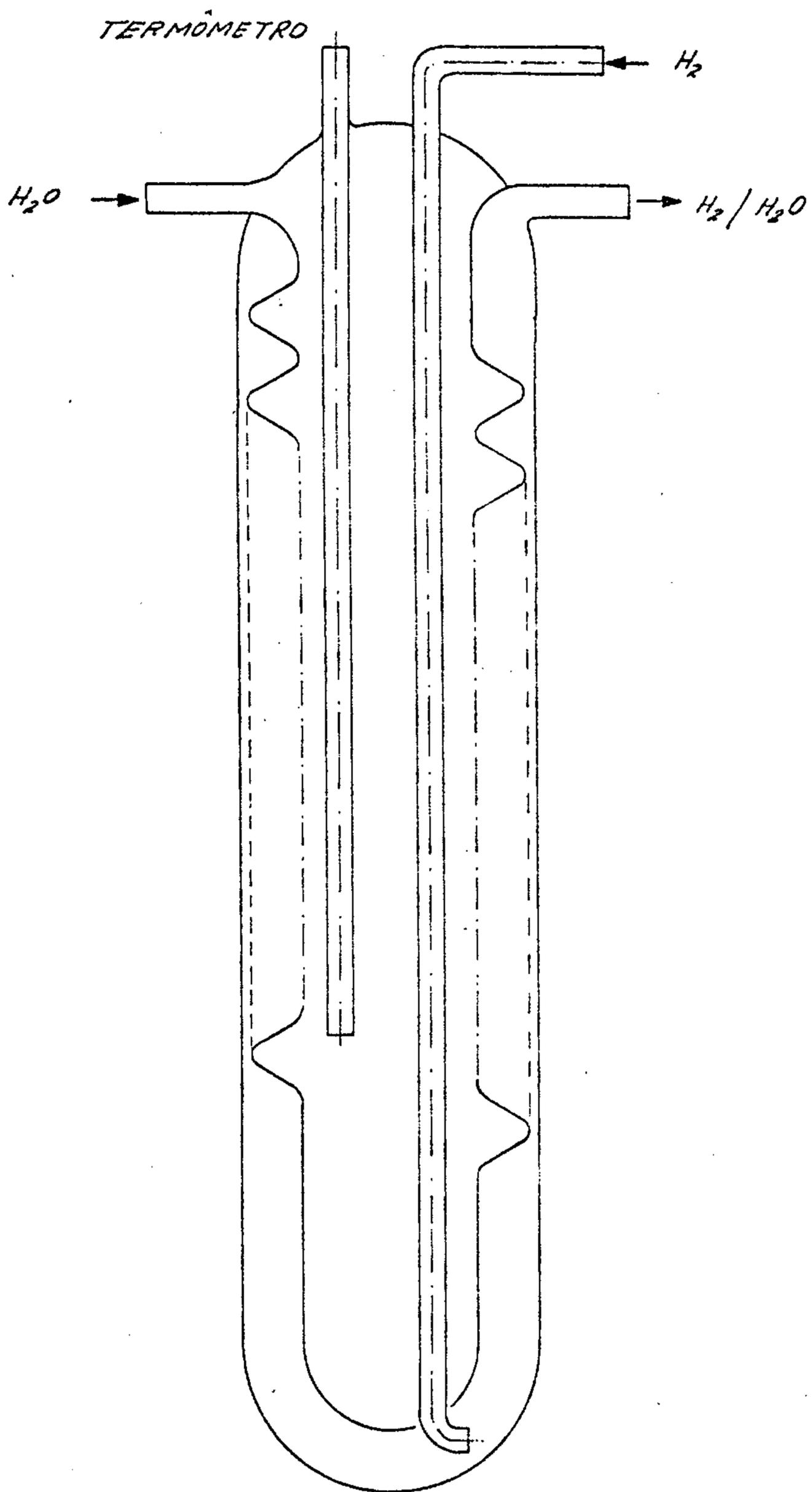


Fig. 3 - Sistema Gerador de Mistura  $H_2/H_2O$

APARELHAGEM P/ LIXIVIAÇÃO AMONÍACAL

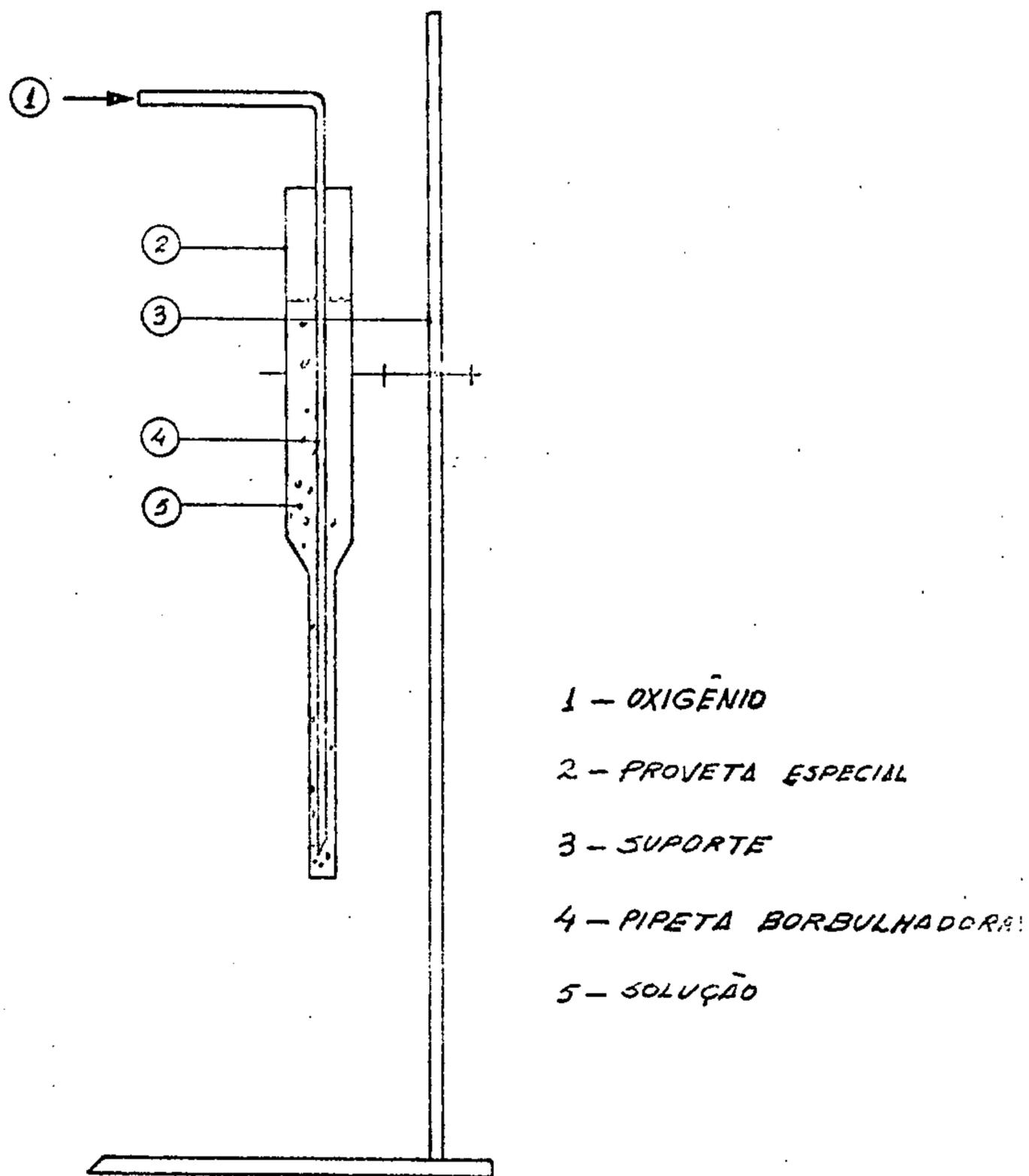
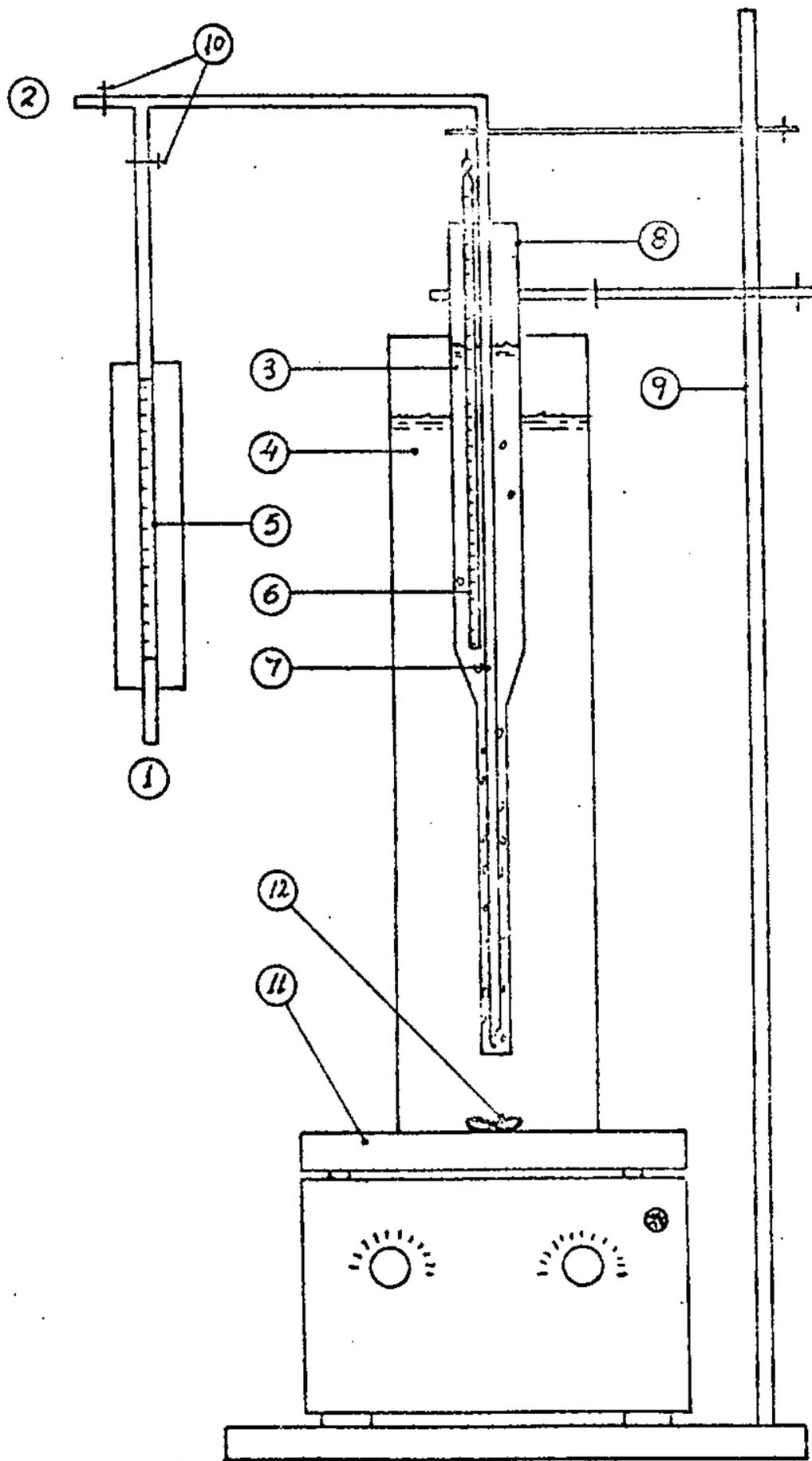


FIGURA 4

# LIXIVIAÇÃO CLORO



- 1 - CLORO
- 2 - NITROGENIO ou OXIGENIO
- 3 - SOLUÇÃO UTILIZADA
- 4 - BANHO MARIA
- 5 - ROTÂMETRO
- 6 - TERMOMETRO
- 7 - PIPETA BORBULHADORA
- 8 - PROVETA ESPECIAL
- 9 - SUPORTE
- 10 - PINÇAS
- 11 - CHAPA DE AQUECIMENTO
- 12 - PASTILHA AGITADORA

FIGURA 5

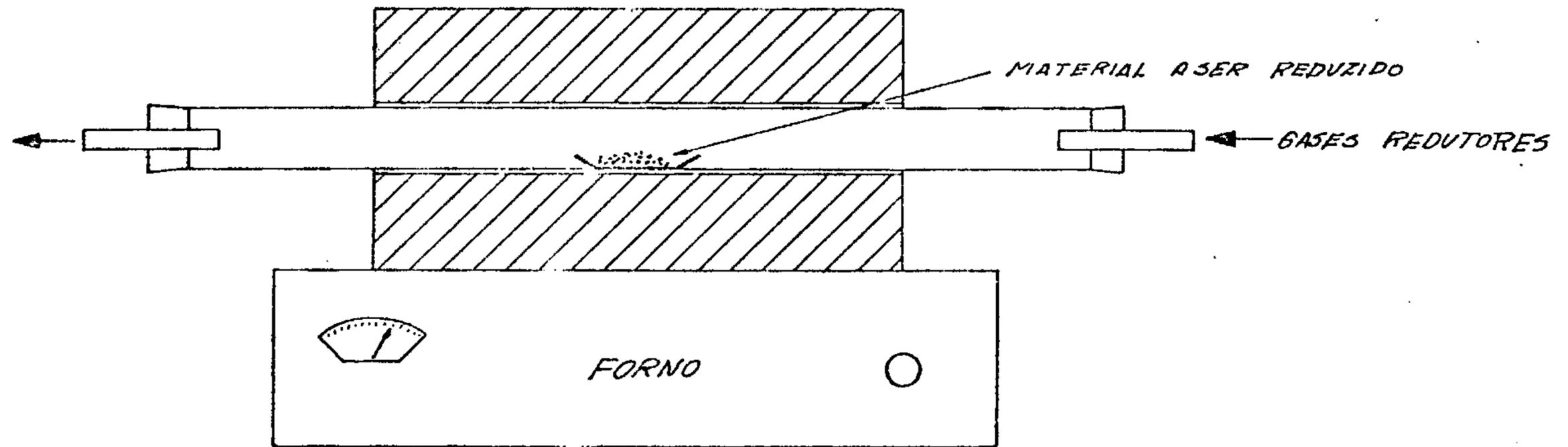
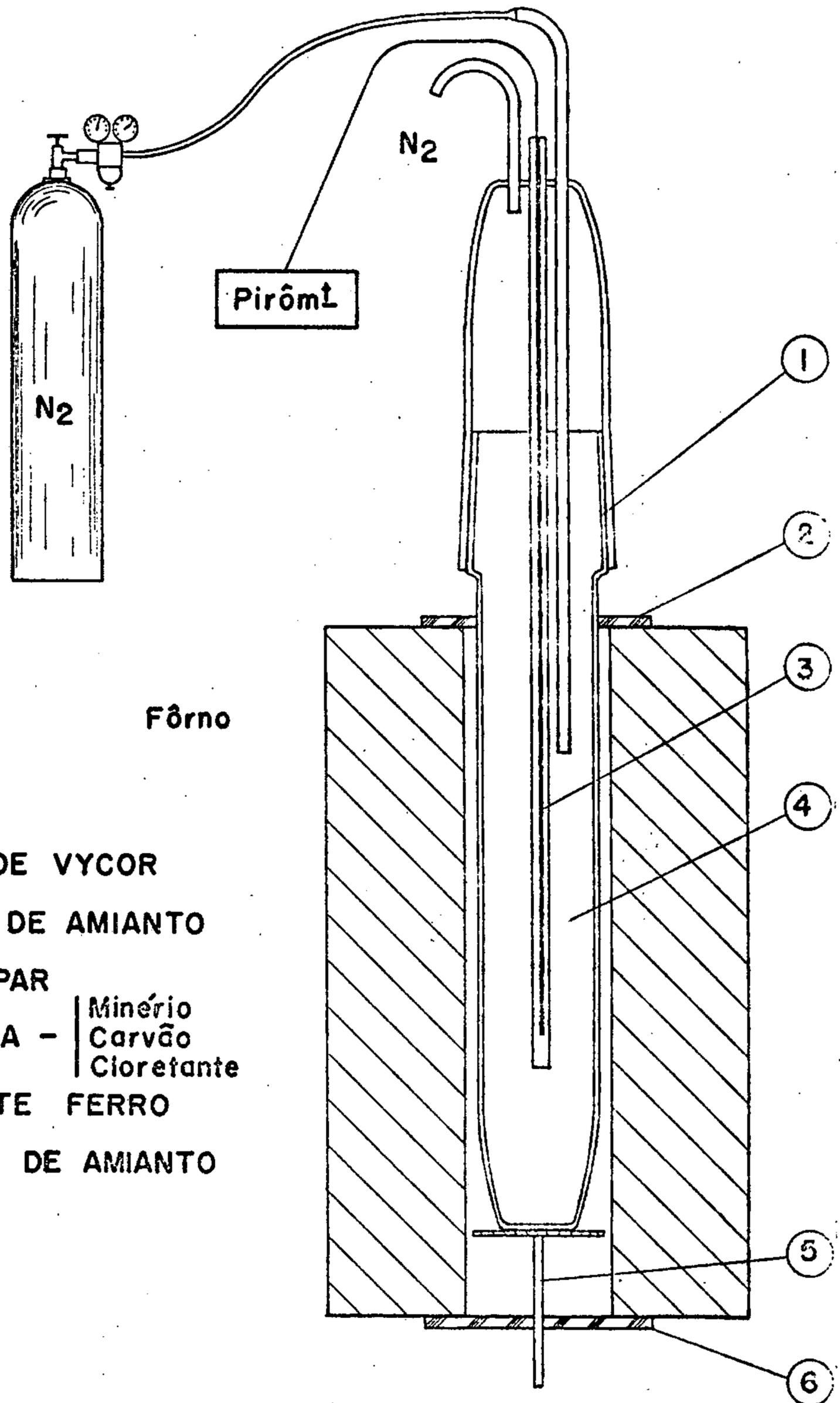


FIGURA 6 - FORNO ESTACIONÁRIO PARA REDUÇÃO



- 1 - TUBO DE VYCOR  
 2 - PLACA DE AMIANTO  
 3 - TERMOPAR  
 4 - MISTURA - 

Minério	
Carvão	
Clorofante	

  
 5 - SUPORTE FERRO  
 6 - PLACA DE AMIANTO

ESQUEMA DA APARELHAGEM  
PARA SEGREGAÇÃO



MINISTÉRIO DA AERONAUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

A N E X O - I

PLANO DE AMOSTRAGEM



## 1. INTRODUÇÃO

Com o presente estudo, visamos programar uma amostragem da jazida de minério de níquel do Morro do Engenho, a fim de obterem-se amostras representativas para ensaios de caracterização tecnológica do mesmo.

Uma amostragem com esta finalidade, apesar de aparentemente simples, pode tornar-se complexa, dependendo das características próprias da reserva:

No caso presente, iniciamos nosso estudo, analisando, detalhadamente, o relatório de pesquisa que nos foi entregue.

Para a realização do presente trabalho, foi-nos necessário rearranjar os dados, de forma a ser possível analisar quantitativamente a jazida, podendo-se realizar, a partir desses dados, um planejamento estatístico de amostragem.

## 2. RESUMO DO TRABALHO EXECUTADO

Após a análise do relatório de pesquisa, observamos a falta de dados de mineralogia, inclusive a falta de descrição de amostras, o que, para nosso estudo, seria muito interessante.

Por nos faltarem esses dados, optamos por planejar a amostragem, com base apenas em teores de níquel e ferro.

O trabalho pode ser basicamente resumido nas seguintes etapas:

### 2.1 Rearranjo de dados

Com base nas tabelas de análises químicas de poços e furos de sondagem, pudemos lançar esses valores em gráficos, podendo-se, dessa maneira, conhe



cer a direção vertical para cada furo. Outro dado importante foi a comparação de resultados de poços e furos de sonda realizados no mesmo local, visando-se determinar se ambos tinham a mesma representatividade, podendo-se, dessa forma, utilizar dados de poços e/ou sondas, indiscriminadamente.

A partir dos gráficos onde estudamos a direção vertical para o níquel e ferro, pudemos obter faixas de minério, determinando-se as médias e desvios, tanto para Ni quanto para  $Fe_2O_3$ , para cada faixa de cada poço.

## 2.2 Comparação estatística de faixas de minério

Tendo-se determinado a localização das faixas e as respectivas médias e desvios, tanto para Ni quanto para  $Fe_2O_3$ , pudemos realizar testes estatísticos, quanto à possível identidade entre faixas. Desta forma, pudemos delimitar grupos de minérios estatisticamente diferentes entre si.

## 2.3 Conclusões a respeito da existência de grupos

Como pode ser observado em anexo, os resultados de grupamentos demonstraram que devem existir 12 diferentes grupos de minérios, adotando-se um nível de significância de 99% nos testes.

Indiscutivelmente este número é muito elevado

Por outro lado, é importante frisar, que esses grupos foram baseados apenas em teores. Caso houvesse dados de mineralogia, talvez fôsse possível diminuir o número de grupos, podendo-se ter ainda mais confiança nos resultados.



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

P A R T E - 1

FAIXAS DE MINÉRIO



O B S E R V A Ç Ã O

Nas tabelas, no item FURO, constam sondas, poços e poços e sondas.

Neste último caso, utilizamos os dados de sondas como continuação dos dados de poços.

Na coluna FAIXA, encontram-se intervalos de minério, em metros.

Por  $\overline{\text{Ni}}$  indicamos o teor médio de níquel na faixa.

Por  $\text{SNi}^2$  e  $\text{SFe}^2$ , indicamos os valores das variâncias do teor nas faixas, de níquel e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , respectivamente.

Por  $\overline{\text{Fe}}$ , indicamos o teor médio de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , na respectiva faixa.

Por N, indicamos o nº de amostras que foram analisadas, na faixa respectiva.



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

FURO	FAIXA	$\bar{Ni}$	$S_{Ni}^2$	$\bar{Fe}$	$S_{Fe}^2$	N
POÇO E SONDA 20 EW	3 a 9	1,40	0,0928	32,2	225,38	6
POÇO 20 N8	5 a 10	1,29	0,1473	41,2	215,06	5
SONDA 20 N8	5 a 10	1,10	0,2187	33,0	250,22	5
POÇO 20 N 10	6 a 14	0,85	0,0071	31,6	28,75	8
POÇO 22 EW	5 a 9	1,48	0,0959	31,6	335,30	4
POÇO 22 N 6	3 a 7	1,40	0,0667	42,3	125,37	4
POÇO 22 N 12	4 a 9	0,79	0,0013	28,0	40,42	5
POÇO 22 N 8	7 a 12	1,38	0,0020	27,1	180,87	5
POÇO E SONDA 24 EW	9 a 16	1,36	0,1047	28,6	98,10	7
POÇO E SONDA 24 N 2	4 a 12	1,65	0,1143	25,4	130,70	8
POÇO 24 N 4	3 a 6	1,27	0,1038	28,4	197,40	3
SONDA 24 N 4	3 a 6	1,13	0,1092	32,3	119,50	3
POÇO 24 N 6	4 a 7	1,33	0,1034	25,9	198,20	3



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Folha

FURO	FAIXA	$\overline{Ni}$	$S_{Ni}^2$	$\overline{Fe}$	$S_{Fe}^2$	N
SONDA						
24 N 8	4 a 9	0,95	0,0673	32,1	133,50	5
POÇO E						
SONDA	7 a 16	2,01	0,4611	26,5	170,40	9
24 N 10						
POÇO E						
SONDA	3 a 11	1,46	0,0484	37,5	115,40	8
24 N 14						
POÇO E						
SONDA	11 a 21	0,93	0,0286	25,9	49,10	10
24 N 14						
POÇO E						
SONDA	11 a 33	1,06	0,0734	22,7	7,97	21
26 S 2						
POÇO E						
SONDA	11 a 23	1,44	0,0766	45,2	122,60	13
26 N 2						
POÇO E						
SONDA	4 a 13	1,81	0,3011	39,7	110,40	9
26 N 4						
POÇO E						
SONDA	4 a 8	1,78	0,1692	24,9	119,18	4
26 N 6						
POÇO						
26 N 12	0 a 5	1,03	0,2047	23,8	25,96	6
POÇO						
26 N 14	3 a 7	1,13	0,0648	36,2	449,36	4
POÇO						
26 N 16	4 a 11	1,23	0,0357	40,8	446,08	7
POÇO E						
SONDA	4 a 17	1,15	0,0104	24,5	22,58	13
26 N 18						



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólya

FURO	FAIXA	$\bar{Ni}$	$S_{Ni}^2$	$\bar{Fe}$	$S_{Fe}^2$	N
POÇO						
26 N 34	5 a 9	0,98	0,0136	47,2	139,75	4
POÇO E						
SONDA						
28 EW	19 a 27	1,15	0,1476	19,3	6,60	8
POÇO E						
SONDA						
28 N 2	14 a 26	1,06	0,1188	16,9	110,60	12
POÇO E						
SONDA						
28 N 4	4 a 13	1,48	0,0980	50,9	86,90	9
POÇO						
28 N 6	1 a 5	1,40	0,1067	21,3	15,30	4
POÇO						
28 N 12	3 a 8	1,74	0,7306	34,0	335,00	5
SONDA						
28 N 20	3 a 11	0,82	0,0296	18,5	12,23	8
POÇO						
28 N 22	1 a 9	0,74	0,0131	30,7	90,90	8
POÇO E						
SONDA						
30 S 2	12 a 24	0,97	0,0679	23,3	36,84	12
POÇO E						
SONDA						
30 N 2	10 a 18	2,08	0,1420	22,70	52,20	8
POÇO E						
SONDA						
30 N 2	20 a 25	1,23	0,0107	13,7	1,97	6
POÇO						
30 N 4	3 a 12	1,74	0,2551	32,5	37,42	9



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

FURO	FAIXA	$\bar{Ni}$	$S_{Ni}^2$	$\bar{Fe}$	$S_{Fe}^2$	N
POÇO 30 N 20	5 a 10	1,10	0,0431	29,7	234,00	5
POÇO 30 N 22	2 a 6	1,28	0,0292	27,1	76,94	4
POÇO 30 N 24	3 a 6	1,01	0,0263	24,8	67,31	3
POÇO 30 N 26	5 a 11	0,86	0,0027	31,0	28,78	6
POÇO 30 N 28	4 a 8	1,06	0,0313	23,2	86,17	4
POÇO E SONDA 32 EW	16 a 29	0,79	0,0025	28,0	33,3	11
POÇO 32 N 4	4 a 7	1,32	0,2436	43,7	13,6	4
SONDA 32 N 28	5 a 31	1,10	0,1550	23,0	48,3	26
POÇO E SONDA 34 N 2	18 a 24	1,00	0,1950	16,2	22,1	6
POÇO 34 N 4	6 a 12	1,20	0,0275	31,4	69,80	5
POÇO E SONDA 34 N 6	1 a 8	1,20	0,2065	33,3	48,20	7
POÇO 34 N 12	0 a 7	1,37	0,0124	28,33	84,77	7
POÇO 34 N 20	0 a 8	1,36	0,0113	28,40	73,79	8
POÇO 36 N 4	6 a 13	0,82	0,0214	26,0	41,16	7
SONDA 36 N 4	6 a 13	0,91	0,0297	25,4	42,96	7
SONDA 36 N 12	5 a 14	0,78	0,0240	25,4	44,70	9



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

FURO	FAIXA	$\bar{N}_1$	$S_{N_1}^2$	$\bar{F}_e$	$S_{F_e}^2$	N
POÇO E SONDA 36 N 16	3 a 12	1,45	0,0725	30,5	202,70	9
POÇO 36 N 18	3 a 9	1,08	0,1196	29,3	95,98	6
SONDA 36 N 20	7 a 11	0,81	0,0005	27,3	50,56	4
POÇO E SONDA 38 N 4	7 a 14	1,24	0,1135	26,9	51,61	7
SONDA 38 N 8	10 a 17	1,11	0,0351	22,1	4,21	7
POÇO E SONDA 38 N 10	16 a 32	0,95	0,0200	15,5	25,87	16
SONDA 38 N 18	6 a 13	0,93	0,0135	28,0	49,41	7
SONDA 40 N 7	7 a 16	1,06	0,0186	19,9	2,78	9
SONDA 40 N 8	11 a 16	1,01	0,0037	27,8	23,89	5
SONDA 40 N 8	16 a 22	3,03	3,8267	18,2	17,17	6
POÇO 40 N 10	9 a 15	1,13	0,2120	28,4	104,15	6
SONDA 40 N 12	5 a 15	1,13	0,0969	26,9	52,95	7
SONDA 40 N 16	7 a 15	1,15	0,1923	25,2	69,40	8



MINISTÉRIO DA AERONAUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

P A R T E - 2

COMPARAÇÃO DE DADOS DE SONDA E POÇO



MINISTÉRIO DA AERONAUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

FURO	FAIXA	$\bar{Ni}$	$S_{Ni}^2$	$\bar{Fe}$	$S_{Fe}^2$	N
POÇO 24 N 4	3 a 6	1,27	0,1038	28,4	197,4	3
SONDA 24 N 4	3 a 6	1,13	0,1092	32,3	119,5	3

NÃO OCORRE DIF. SIGNIFICATIVA ENTRE DADOS DE  
POÇO E SONDA COM NÍVEL SIGNIFICATIVO DE 95%

POÇO 36 N 4	6 a 13	0,82	0,0214	26,0	41,16	7
SONDA 36 N 4	6 a 13	0,91	0,0297	25,4	42,96	7

NÃO OCORRE DIFERENÇA SIGNIFICATIVA  
PARA NÍVEL 95% SIGNIFICATIVO

POÇO 20 N 8	5 a 10	1,29	0,1473	41,2	215,06	5
SONDA 20 N 8	5 a 10	1,10	0,2187	33,0	250,22	5

NÃO OCORRE DIFERENÇA SIGNIFICATIVA  
À NÍVEL 95 % SIGNIFICATIVO

Por esse motivo podemos usar indiscriminadamente  
dados de poços e/ou sondas para constituir grupos.

Também podemos realizar a amostragem com amostras  
de poços apenas



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

P A R T E - 3

CONSTITUIÇÃO DE GRUPOS, ESTATISTICAMENTE DI-  
FERENTES ENTRE SI, COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA -  
CIA de 99%



GRUPO 1

$\overline{Ni}$	1,30
$S_{Ni}^2$	0,127
$S_{Ni}$	0,36
$\overline{Fe}$	30,8
$S_{Fe}^2$	122,3
$S_{Fe}$	11,1
N	94

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

24 EW	20 EW	40 N10
24 N6	38 N4	40 N12
22 EW	34 N6	
22 N6	34 N4	
24 N4	32 N4	
20 N8	36 N16	
20 EW	40 N16	

GRUPO 2

$\overline{Ni}$	0,80
$S_{Ni}^2$	0,004
$S_{Ni}$	0,06
$\overline{Fe}$	28,6
$S_{Fe}^2$	32,10
$S_{Fe}$	5,7
N	30

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

22 N	12
20 N	10
32 EW	
30 N	26



MINISTÉRIO DA AERONAUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

G R U P O 3

$\overline{Ni}$	1,88
$S_{Ni}^2$	0,331
$S_{Ni}$	0,58
$\overline{Fe}$	30,4
$S_{Fe}^2$	122,74
$S_{Fe}$	11,1
N	44

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

24	N	10	30	N	2	Fxa. 1
30	N	4				
28	N	12				
26	N	4				
26	N	6				

G R U P O 4

$\overline{Ni}$	1,46
$S_{Ni}^2$	0,076
$S_{Ni}$	0,28
$\overline{Fe}$	44,8
$S_{Fe}^2$	110,09
$S_{Fe}$	10,5
N	30

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

26	N	2
28	N	4



MINISTERIO DA AERONAUTICA  
CENTRO TECNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

GRUPO 5

$\overline{Ni}$	1,12
$S_{Ni}^2$	0,139
$S_{Ni}$	0,37
$\overline{Fe}$	18,0
$S_{Fe}^2$	10,27
$S_{Fe}$	3,2
N	30

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

28	N	2
28	EW	
28	N	6
34	N	2

GRUPO 6

$\overline{Ni}$	1,36
$S_{Ni}^2$	0,012
$S_{Ni}$	0,11
$\overline{Fe}$	28,6
$S_{Fe}^2$	78,9
$S_{Fe}$	8,9
N	15

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

34	N	12
34	N	20



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

GRUPO 7

$\overline{Ni}$	1,05
$S_{Ni}^2$	0,108
$S_{Ni}$	0,33
$\overline{Fe}$	24,2
$S_{Fe}^2$	49,07
$S_{Fe}$	7,00
N	71

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

30	N	22	36	N	18
30	N	24	26	N	12
32	N	28	30	N	28
30	S2		24	N	14 FXA. 2

GRUPO 8

$\overline{Ni}$	0,84
$S_{Ni}^2$	0,017
$S_{Ni}$	0,13
$\overline{Fe}$	26,5
$S_{Fe}$	45,9
$S_{Fe}$	6,8
N	27

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

38	N	18
36	N	20
36	N	4
36	N	12



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

GRUPO 9

$\overline{Ni}$	1,12
$S_{Ni}^2$	0,050
$S_{Ni}$	0,22
$\overline{Fe}$	35,2
$S_{Fe}^2$	331,54
$S_{Fe}$	18,2
N	21

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

24 N 8

30 N 20

GRUPO 10

$\overline{Ni}$	1,04
$S_{Ni}^2$	0,033
$S_{Ni}$	0,18
$\overline{Fe}$	20,5
$S_{Fe}^2$	13,1
$S_{Fe}$	3,6
N	85

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

40 N 7                      26 S 2

40 N 8 fx1                30 N 2

28 N 20                    38 N 10

26 N 18                    38 N 8



GRUPO 11

$\overline{Ni}$	0,98
$S_{Ni}^2$	0,010
$S_{Ni}$	0,10
$\overline{Fe}$	33,5
$S_{Fe}^2$	127,1
$S_{Fe}$	11,3
N	17

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

28	N	22
26	N	34
22	N	8

GRUPO 12

$\overline{Ni}$	3,03
$S_{Ni}^2$	3,827
$S_{Ni}$	1,96
$\overline{Fe}$	18,2
$S_{Fe}^2$	17,2
$S_{Fe}$	4,1
N	6

FUROS PERTENCENTES (FAIXAS)

40	N	8	Fx. 2
----	---	---	-------



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fôlha

P A R T E - 4

AMOSTRAGEM, CONSIDERANDO-SE TODOS OS GRUPOS

MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Folha

Encontra-se apresentado, no relatório de pesquisa, que cada amostra por metro de poço foi retirada com canaletas de 15 x 5 cm e 1 (um) metro de comprimento.

Considerando-se, no caso, uma densidade estimada em cerca de 1,2, teremos aproximadamente 10 kg por amostra.

Como, no presente caso, desejamos retirar uma amostra representativa por grupo de minério, com erro admissível e risco controlados, podemos determinar o número de amostras que devemos retirar para cada grupo.

Nossos dados estão baseados nas amostras de 10 kg retiradas na fase de pesquisa. Portanto, cada unidade de amostra calculada, deverá ter aproximadamente 10 kg.

Desta forma, podemos falar não só em número de amostras, mas na massa de material que deverá ser retirada, por grupo.

Como, no caso, não estamos interessados em amostras de metro em metro, mas numa amostra do conjunto que corresponde a um grupo, poderemos dimensionar as canaletas, visando a obtenção dessa massa de amostra total, que represente o grupo, como um todo, diretamente.



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

GRUPO 1

Nº de amostras a retirar -52 520 kg  
Erro admissível : 10%  
Risco : 30%  
Nível significância : 95%

POÇOS

22 EW de 5 a 9 m  
22 N6 de 3 a 7 m  
24 N4 de 3 a 6 m  
32 N4 de 4 a 7 m  
34 N4 de 6 a 12 m  
40 N10 de 9 a 15 m

GRUPO 2

Nº de amostras -38 380kg  
Erro admissível : 10%  
Risco : 15%  
Nível significância : 95%

POÇOS:

22 N12 de 4 a 9 m  
20 N10 de 6 a 14 m  
30 N26 de 5 a 11 m



GRUPO 3

Nº de amostras -66 660 kg  
Erro admissível : 10%  
Risco : 25%  
Nível significância : 95%

POÇOS

24 N10 de 7 a 13 m  
26 N4 de 4 a 13 m  
26 N6 de 4 a 8 m  
28 N12 de 3 a 8 m  
30 N4 de 3 a 12 m

GRUPO 4

Nº de amostras -24 240 kg  
Erro admissível : 10%  
Risco : 35%  
Nível significância : 95%

POÇOS

28 N 4 de 4 a 11 m  
26 N 2 de 11 a 16 m



G R U P O 5

Nº de amostras 40 400 kg

Erro admissível : 10%

Risco : 40%

nível significância : 95%

POÇOS

26 N 6 de 1 a 5 m

G R U P O 6

Nº de amostras 30 300 kg

Erro admissível : 10%

Risco : 25%

Nível significância : 95%

POÇOS

34 N12 de 0 a 7 m

34 N20 de 0 a 8 m

G R U P O 7

Nº de amostras 44 440kg

Erro admissível : 10%

Risco : 38%

Nível significância : 95%

POÇOS

26 N 12 de 0 a 5 m

30 N 22 de 2 a 6 m

30 N 24 de 3 a 6 m

30 N 28 de 4 a 8 m

36 N 18 de 3 a 9 m



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

G R U P O 8

Nº de amostras 20 200kg

Erro admissível : 10%

Risco : 40%

Nível significância : 95%

POÇOS

36 N 4 de 6 a 11 cm

G R U P O 9

Nº de amostras 34 340kg

Erro admissível : 10%

Risco : 20%

Nível significância : 95%

POÇOS

30 N 20 de 5 a 10 m

G R U P O 10

Nº de amostras 12 120 kg

Erro admissível : 10%

Risco : 40%

Nível significância : 95%

POÇOS

30 N 2 de 9 a 12 m



MINISTÉRIO DA AERONAUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

GRUPO 11

Nº de amostras            34            340 kg  
Erro admissível            :            10%  
Risco                        :            10%  
Nível significância        :            95%

POÇOS

22    N 8    de    7    a    12 m  
26    N34   de    5    a    9 m  
28    N22   de    1    a    9 m

GRUPO 12

Nº de amostras            100           1.000kg  
Erro admissível            :            10%  
Risco                        :            40%  
Nível significância        :            95%

POÇOS

não há



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

P A R T E - 5

RECOMENDAÇÕES PARA AMOSTRAGEM



PONTOS DE AMOSTRAGEM:

GRUPO 1

POÇO	22 EW	de	<u>5 a 9</u> m
	22 N6	de	<u>3 a 7</u> m
	24 N4	de	<u>3 a 6</u> m
	32 N4	de	<u>4 a 7</u> m
	34 N4	de	<u>6 a 12</u> m
	40 N10	de	<u>9 a 15</u> m

GRUPO 2

POÇO	22 N12	de	<u>4 a 9</u> m
	20 N10	de	<u>6 a 14</u> m
	30 N26	de	<u>5 a 11</u> m

GRUPO 3

POÇO	24 N10	de	<u>7 a 13</u> m
	26 N4	de	<u>4 a 13</u> m
	26 N6	de	<u>4 a 8</u> m
	28 N12	de	<u>3 a 8</u> m
	30 N4	de	<u>3 a 12</u> m

GRUPO 4

POÇO	28 N4	de	<u>4 a 11</u> m
	28 N2	de	<u>11 a 16</u> m

GRUPO 5

POÇO	28 N6	de	<u>1 a 5</u> m
------	-------	----	----------------



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPAÇIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

GRUPO 6

POÇO 34 N 12 de 0 a 7 m  
34 N 20 de 0 a 8 m

GRUPO 7

POÇO 26 N 12 de 0 a 5 m  
30 N 22 de 2 a 6 m  
30 N 24 de 3 a 6 m  
30 N 28 de 4 a 8 m  
36 N 18 de 3 a 9 m

GRUPO 8

POÇO 36 N 4 de 6 a 11 m

GRUPO 9

POÇO 30 N 20 de 5 a 10 m

GRUPO 10

POÇO 30 N 2 de 9 a 12 m

GRUPO 11

POÇO 22 N 8 de 7 a 12 m  
26 N34 de 5 a 9 m  
28 N22 de 1 a 9 m

MÉTODO DE AMOSTRAGEM

Todas as faixas dos poços, anteriormente relacionadas, serão amostradas por canaletas verticais

DIMENSÃO DAS CANALETAS: 15 cm x 5 cm

(15cm de largura, por 5cm de profundidade)



COLOCAÇÃO DAS CANALETAS: As canaletas serão abertas em posições diametralmente opostas.

NÚMERO DE CANALETAS POR FAIXA DE POÇO, COLOCAÇÃO DAS MES-  
MAS E METRAGEM DE CANALETA.

POÇO	22	EW	de 5 a 9 m		
			Metros a serem amostrados	-	4 m
			Número canaletas	-	2
			Metragem de canaletas	-	8 m
POÇO	22	N6	de 3 a 7 m		
			Número de metros a serem amostrados	-	4m
			Número de canaletas	-	2
			Metragem canaletas	-	8 m
POÇO	24	N4	de 3 a 6 m		
			Número de metros a serem amostrados	-	3 m
			Número de canaletas	-	2
			Metragem canaletas	-	6 m
POÇO	32	N4	de 4 a 7 m		
			Número de metros a serem amostrados	-	3 m
			Número de canaletas	-	2
			Metragem canaletas	-	6 m
POÇO	34	N4	de 6 a 12 m		
			Número de metros a serem amostrados	-	6 m
			Número de canaletas	-	2
			Metragem canaletas	-	12 m
POÇO	40	N10	de 9 a 15 m		
			Número de metros a serem amostrados	-	6 m
			Número de canaletas	-	2
			Metragem canaletas	-	12 m



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

POÇO	22	N 12	de 4 a 9 m	
			Número de metros a ser amostrado	- 5 m
			Número de canaletas	- 2
			Metragem canaletas	- 10 m
POÇO	20	N 10	de 6 a 14 m	
			Número de metros a ser amostrado	- 8 m
			Número de canaletas	- 2
			Metragem canaletas	- 16 m
POÇO	30	N 26	de 5 a 11 m	
			Número de metros a ser amostrado	- 6 m
			Número canaletas	- 2
			Metragem canaletas	- 12 m
POÇO	24	N 10	de 7 a 13 m	
			Número de metros a ser amostrado	- 6 m
			Número de canaletas	- 2
			Metragem canaletas	- 12 m
POÇO	26	N 4	de 4 a 13 m	
			Número de metros a amostrar	- 9 m
			Número de canaletas	- 2
			Metragem canaletas	- 18 m
POÇO	26	N 6	de 4 a 8 m	
			Número de metros a amostrar	- 4 m
			Número de canaletas	- 2
			Metragem canaletas	- 8 m
POÇO	28	N 12	de 3 a 8 m	
			Número de metros a amostrar	- 5 m
			Número de canaletas	- 2
			Metragem canaletas	- 10 m



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

POÇO	30 N 4	de 3 a 12 m	
	Número de metros a amostrar	- 9 m	
	Número canaletas	- 2	
	Metragem canaletas	- 18 m	
POÇO	28 N 4	de 4 a 11 m	
	Número de metros a amostrar	- 7 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Metragem canaletas	- 14 m	
POÇO	26 N 2	de 11 a 16 m	
	Número de metros a amostrar	- 5 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Metragem canaletas	- 10 m	
POÇO	28 N 6	de 1 a 5 m	
	Número de metros a amostrar	- 4 m	
	Número de canaletas	- 8	
	Metragem canaletas	- 32 m	
POÇO	34 N 12	de 0 a 7 m	
	Número de metros a amostrar	- 7 m	
	Número de canaletas	- 2-	
	Número de metros canaleta	- 14 m	
POÇO	34 N 20	de 0 a 8 m	
	Número de metros a amostrar	- 8 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Número de metros de canaleta	- 16 m	



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

POÇO	26 N 12	de 0 a 5 m	
	Número de metros a amostrar	- 5 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Número metros de canaleta	- 10 m	
POÇO	30 N 22	de 2 a 6 m	
	Número de metros a amostrar	- 4 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Número de metros de canaleta	- 8 m	
POÇO	30 N 24	de 3 a 6 m	
	Número de metros a amostrar	- 3 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Número de metros de canaleta	- 6 m	
POÇO	30 N28	de 4 a 8 m	
	Número de metros a amostrar	- 4 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Número de metros de canaleta	- 8 m	
POÇO	36 N 18	de 3 a 9 m	
	Número de metros a amostrar	- 6 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Número de metros de canaleta	- 12 m	
POÇO	36 N 4	de 6 a 11 m	
	Número de metros a amostrar	- 5 m	
	Número de canaletas	- 4	
	Número de metros de canaleta	- 20 m	
POÇO	30 N 20	de 5 a 10 m	
	Número de metros a amostrar	- 5 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Número de metros de canaletas	- 10 m	



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

POÇO	30 N 2	de 9 a 12 m	
	Número de metros a amostrar	- 3 m	
	Número de canaletas	- 4	
	Número de metros de canaletas	- 12 m	
POÇO	22 N 8	de 7 a 12 m	
	Número de metros a amostrar	- 5 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Número de metros canaletas	- 10 m	
POÇO	26 N 34	de 5 a 9 m	
	Número de metros a amostrar	- 4 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Número de metros canaletas	- 8 m	
POÇO	28 N 22	de 1 a 9 m	
	Número de metros a amostrar	- 8 m	
	Número de canaletas	- 2	
	Número de metros de canaletas	- 16 m	



NORMA PARA RETIRADA DE AMOSTRA DE CADA POÇO

- O poço deverá estar em condições de ser amostrado, devidamente limpo
- Deve-se "forrar" o fundo do poço com uma lona, que será o receptáculo natural para o material que sairá das canaletas.
- As canaletas devem ser executadas, seguindo as recomendações anteriores.
- O material das canaletas, recolhido na lona, deverá ser retirado totalmente do poço e ensacado ou colocado em tambor, com etiqueta conveniente do poço e da metragem que deu origem à amostra.

PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

Conforme constituição dos grupos anteriormente descritos, devemos pegar as amostras correspondentes a cada poço pertencente ao grupo e executar uma pilha de homogeneização.

- Execução das pilhas
- O local deve estar devidamente limpo
- A amostra de cada poço pertencente ao grupo deverá ser "empilhada", separadamente, formando "camadas" definidas.

POÇO  
1

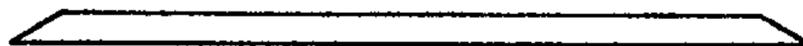
POÇO  
2

POÇO  
3

POÇO  
4



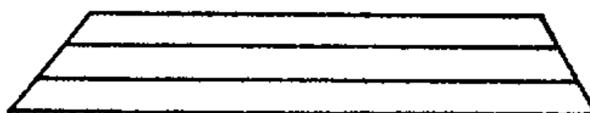
I - pilha com material do poço 1



II - pilha com poço 1 e poço 2



III - pilha com poços 1, 2 e 3



IV - pilha com todos os poços do grupo



Dessa forma, ao retirar-se um alíquota dessa pilha, ela será representativa de todos os poços do grupo.



Representativa

- Após realizada a pilha, deve-se retomar as pontas
- Após a retomada das pontas, retira-se uma "fatia" no ponto central da pilha, de aprox. 500 kg
- Esse material é novamente empilhado, tendo as pontas retomadas.
- Dessa pilha menor, retira-se uma "fatia" central, de aproximadamente 50 kg, que será a amostra do grupo que deverá ser enviada ao C.T.A., devidamente ensacada e etiquetada.
- Todo o material restante do grupo deverá ser retomado para tambores, devidamente identificado e arquivado no local, estando protegido contra chuvas, contaminações etc.



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

P A R T E - 6

RESULTADOS DA AMOSTRAGEM EFETUADA



G R U P O 1

POÇO 22 EW - 5 a 9 m

profundidade real do poço - apenas até 8,5 m

2 canaletas

metragem amostrada - 7 m

POÇO 22 N 6 - 3 a 7 m

Profundidade - até 7 m

2 canaletas

metragem amostrada - 8 m

POÇO 24 N 4 - 3 a 6 m

Profundidade - até 6 m

2 canaletas

metragem amostrada - 6 m

POÇO 32 N 4 - 4 a 7 m

profundidade - até 7 m

2 canaletas

metragem amostrada - 6 m

POÇO 34 N 4 - 6 a 12 m

profundidade - até 12 m

4 canaletas

metragem amostrada - 24 m

OBS:- Abriram-se 4 canaletas, pois o poço 40 N 10, do mesmo grupo, não estava em condições de ser amostrado.

POÇO 40 N 10 - 9 a 15 m

Profundidade real do poço - APENAS ATÉ 10 M NÃO FOI AMOSTRADO.



GRUPO 2

POÇO 22 N 12 - 4 a 8 m

Profundidade - APENAS ATÉ 6 m

NÃO FOI AMOSTRADO

POÇO 20 N 10 - 6 a 14 m

Profundidade - APENAS ATÉ 7 m

NÃO FOI AMOSTRADO

POÇO 30 N 26 - 5 a 11 m

Profundidade - APENAS ATÉ 6 m

NÃO FOI AMOSTRADO

Consequentemente, não pode ser retirada amostra  
do GRUPO 2

GRUPO 3

POÇO 24 N 10 - 7 a 13 m

Profundidade - até 12 m

2 canaletas

metragem amostrada - 10 m

POÇO 26 N 4 - 4 a 13 m

Profundidade - apenas até 12 m

2 canaletas

metragem amostrada - 16 m

POÇO 26 N 6 - 4 a 8 m

Profundidade - até 8 m

2 canaletas

Metragem amostrada - 8 m



CACHIMBO E POÇO 28 N 12 - C1

Não puderam ser amostrados, cachimbo e poço estão desmoronados.

POÇO 30 N 4 - 3 a 12 m

Profundidade - até 12 m

2 canaletas

metragem amostrada - 18 m

GRUPO 4

POÇO 28 N 4 - 4 a 11 m

Profundidade - até 10m apenas

4 canaletas

metragem amostrada - 24 m

Abriram-se 4 canaletas, pois o 26 N 2 não podia ser amostrado.

POÇO 26 N 2 - 11 a 16 m

Profundidade - apenas até 8 m

NÃO FOI AMOSTRADO

GRUPO 5

POÇO 28 N 6 - 1 a 5 m

Profundidade - até 5 m

1 canaleta

Metragem amostrada - 4 m

Só foi aberta 1 canaleta, ao inves de 8, pois o poço estava parcialmente desmoronado e extremamente perigoso.



GRUPO 6

POÇO 34 N 12 - 0 a 7 m

Profundidade - até 7 m

2 canaletas

Metragem amostrada - 14 m

POÇO 34 N 20 - 1 a 6 m

Profundidade - até 6 m

2 canaletas

Metragem amostrada - 10 m

GRUPO 7

POÇO 26 N 12 - 0 a 6 m

Profundidade - até 6 m

2 canaletas

metragem amostrada - 12 m

POÇO 30 N 22 - 2 a 6 m

Profundidade - até 6 m

2 canaletas

Metragem amostrada - 8 m

POÇO 30 N 24 - 3 a 6 m

Profundidade - até 6 m

2 canaletas

Metragem amostrada - 6 m

POÇO 30 N 28 - 4 a 8 m

Profundidade - até 8 m

2 canaletas

metragem amostrada - 6 m



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Folha

POÇO 36 N 18 - 3 a 9 m

Profundidade - apenas até 8,30 m

2 canaletas

metragem amostrada - 10,60 m

G R U P O 8

POÇO 36 N 4 - 6 a 11 m

Profundidade - desmoronado; o fundo estava a 5 m de profundidade

Conseqüentemente, NÃO FOI TIRADA AMOSTRA DO GRUPO 8

G R U P O 9

POÇO 30 N 20 - 5 a 10 m

Profundidade - até 10 m

4 canaletas

metragem amostrada - 20 m

Poço largo, perigoso, com as beiradas superiores desmoronando.

Abriram-se 4 canaletas para compensar o total de massa a ser retirado do grupo.

G R U P O 10

POÇO 30 N 2 - 9 a 12 m

Profundidade - até 8 m - desmoronado

NÃO FOI AMOSTRADO

Conseqüentemente, NÃO FOI TIRADA AMOSTRA DO GRUPO 10



GRUPO 11

POÇO 22 N 8 - 7 a 12 m

Profundidade - até 12 m

2 canaletas

Metragem amostrada - 10 m

POÇO 26 N 34 - 5 a 9 m

Profundidade - até 8,8 m

2 canaletas

metragem amostrada - 7,6 m

PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ENSAIOS DESCONTÍNUOS

Foram feitas, num pátio cimentado, situado na área do acampamento, as pilhas de homogeneização referentes a cada grupo.

Das pilhas foram retiradas as amostras, que foram guardadas em sacos plásticos fornecidos pela C.P.R.M., etiquetados, com capacidade para cerca de 2,5 kg cada. Procurou-se retirar cerca de 50 kg de material (20 sacos) de cada grupo. Esses sacos, depois de etiquetados, eram juntados e colocados em sacos maiores para o transporte.

Após retirada a amostra de cada grupo, a pilha era retomada e o material guardado em tonéis.

PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ENSAIOS CONTÍNUOS

Ficaram, no Morro do Engenho, 14 tonéis, etiquetados, com o minério destinado aos ensaios-piloto, assim distribuídos:

GRUPO 1	-	3 tonéis	-	cerca de 500 kg
GRUPO 2	-	0		
GRUPO 3	-	2 tonéis	-	cerca de 320 kg
GRUPO 4	-	1 tonel	-	cerca de 170 kg



MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fôlha

GRUPO	5	-	1 tonel	-	cerca de 50 kg
GRUPO	6	-	1 tonel	-	cerca de 180 kg
GRUPO	7	-	3 tonéis	-	cerca de 450 kg
GRUPO	8	-	0	-	0
GRUPO	9	-	1 tonel	-	cerca de 170 kg
GRUPO	10	-	0	-	0
GRUPO	11	-	<u>2 tonéis</u>	-	<u>cerca de 350 kg</u>
			14 tonéis		2.190 kg



MINISTÉRIO DA AERONAUTICA  
CENTRO TÉCNICO AEROSPACIAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO  
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS

Relatório Nº

Fólia

A N E X O - 2

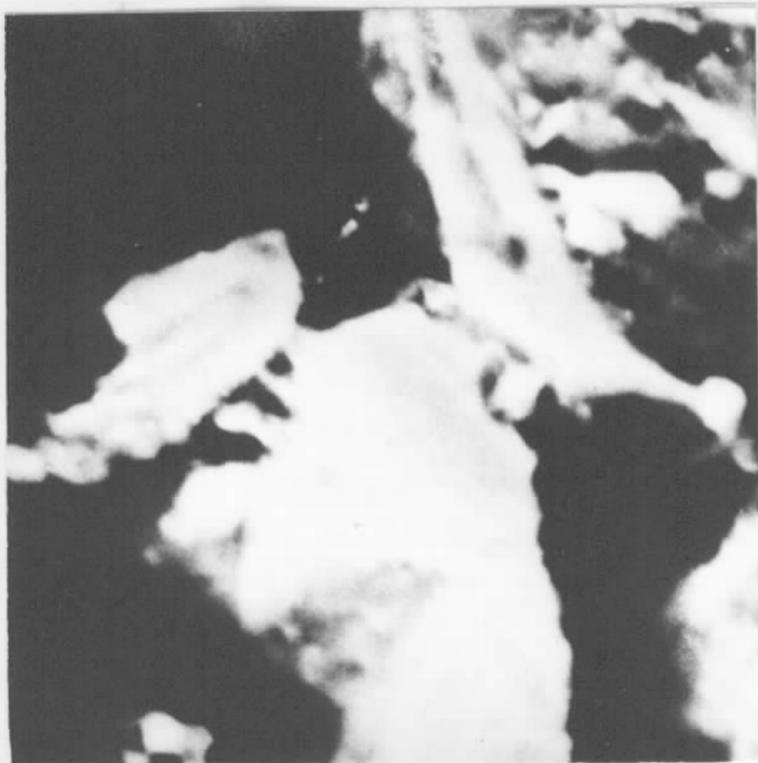


Fig. 1 Imagem Eletrônica (+)  
E.Retroespalhados  
100 x 100  $\mu\text{m}$



Fig. 2 Mesma Zona da Fig. 1  
Imagem "X"  
NiK $\alpha$ 1

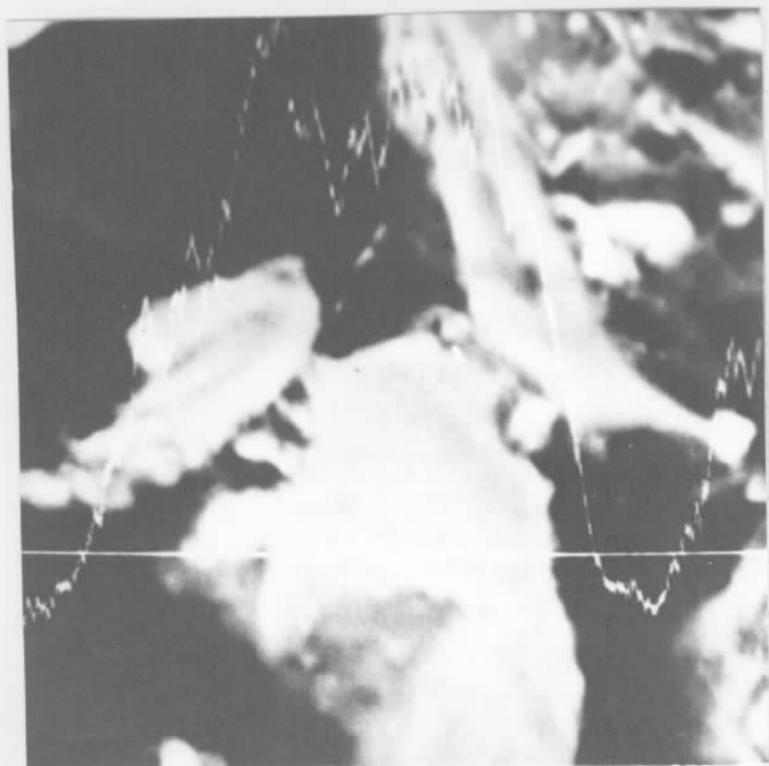


Fig. 3 Mesma Zona da Fig. 1  
Perfil de Concentração  
de Niquel

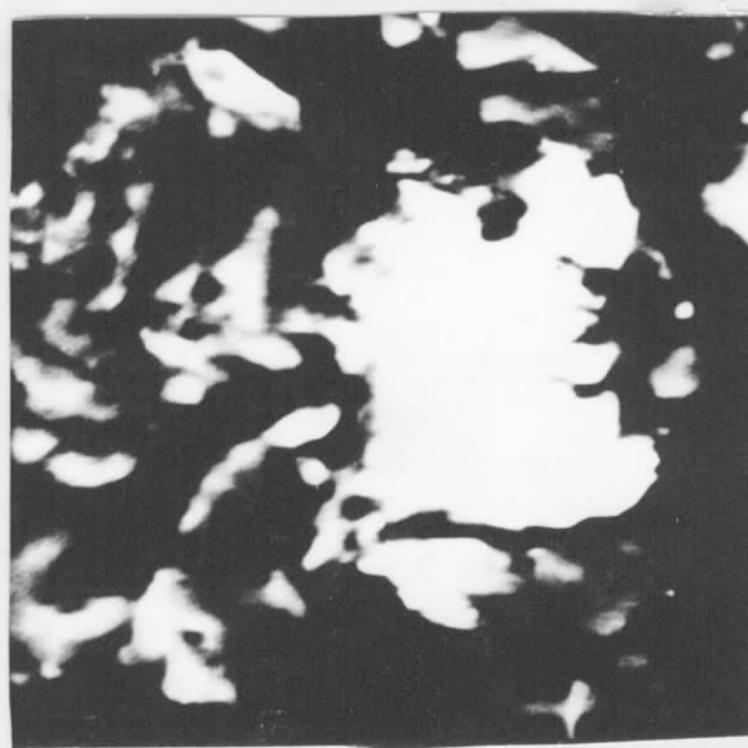


Fig. 4 Imagem Eletrônica (+)  
E.Retroespalhados  
100 x 100  $\mu\text{m}$

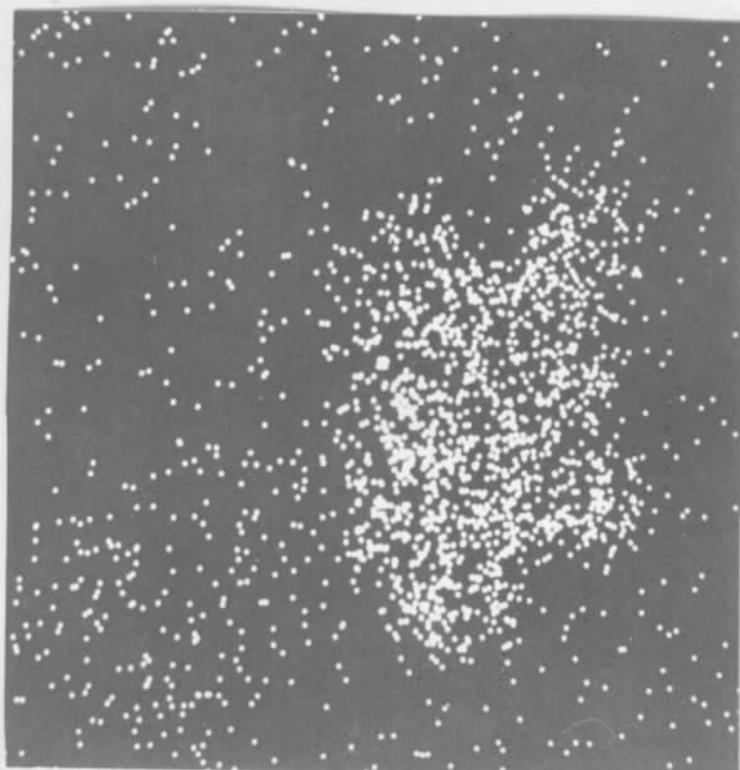


Fig. 5 Mesma Zona da Fig. 4  
Imagem "X" NiK $\alpha$ 1

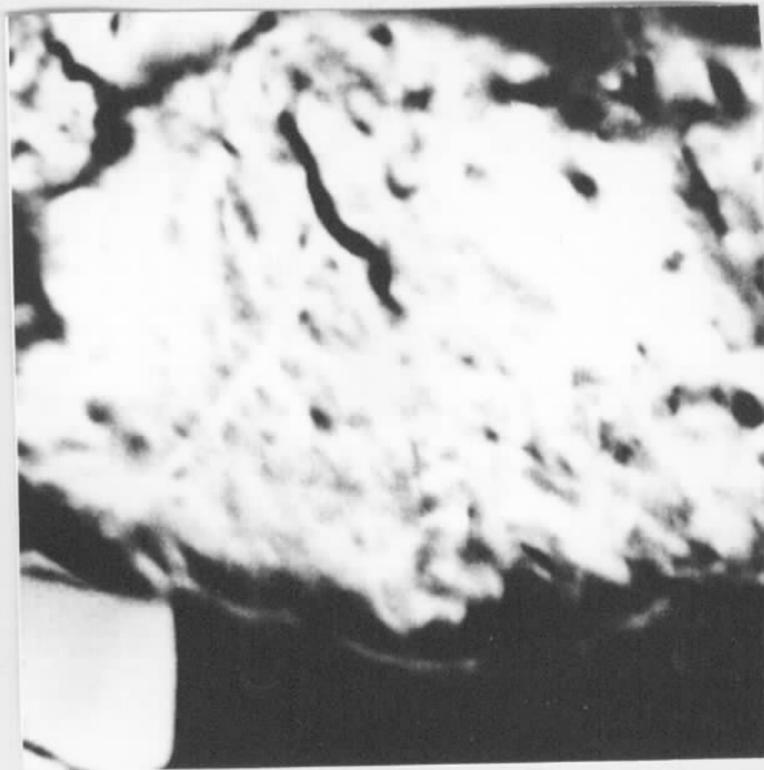


Fig. 6 Imagem Eletrônica (+)  
E. Retroespalhados  
100 x 100  $\mu$ m

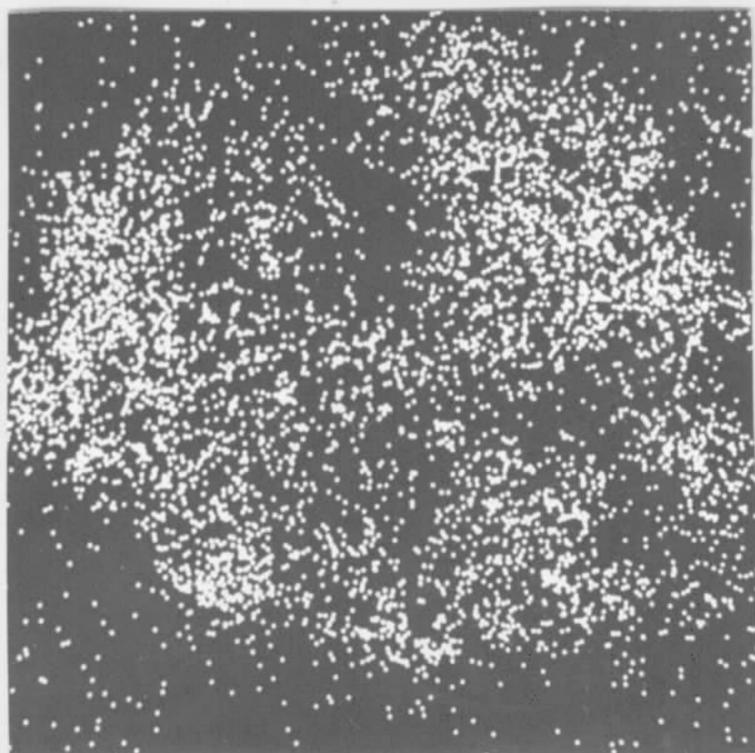


Fig. 7 Mesma Zona da Fig. 6  
Imagem "X" NiK $\alpha$ 1

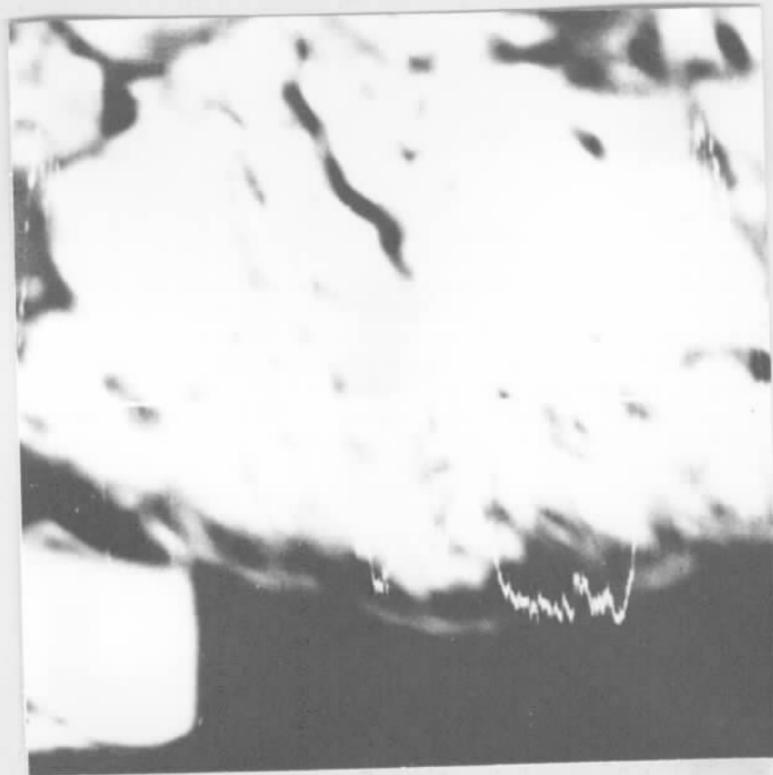


Fig. 8 Mesma Zona da Fig. 6  
Perfil de Concentração  
de Niquel

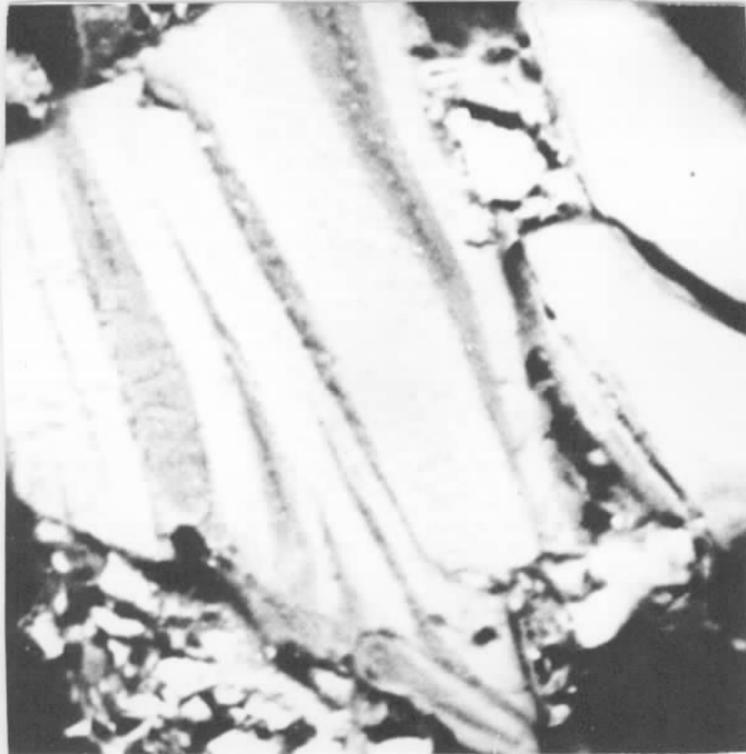


Fig. 9 Imagem Eletrônica (+)  
E.Retroespalhados  
200 x 200  $\mu\text{m}$

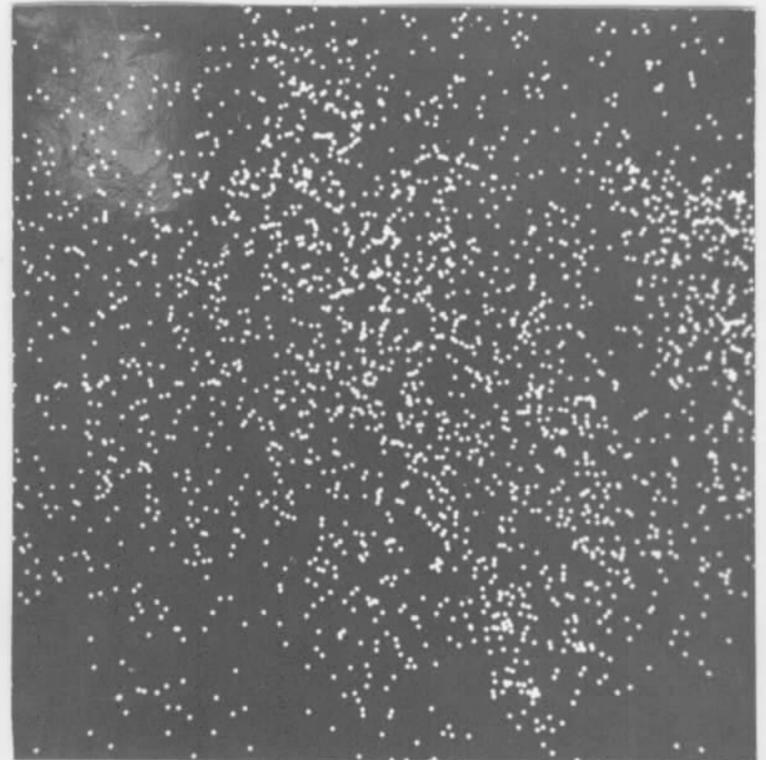


Fig. 10 Mesma Zona da Fig. 9  
Imagem "X"  $\text{NiK}\alpha_1$

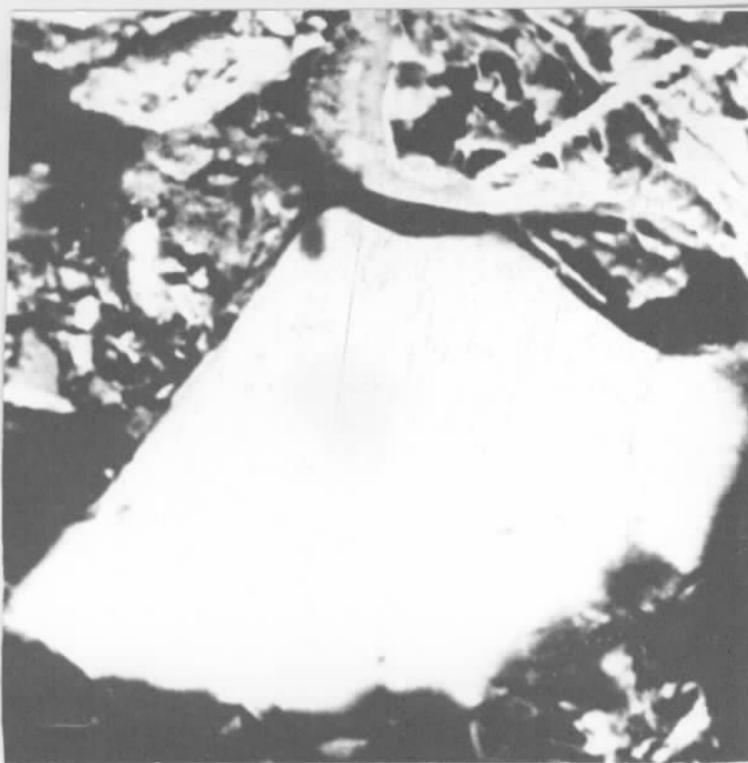


Fig. 11 Imagem Eletrônica (+)  
E.Retroespalhados  
200 x 200  $\mu\text{m}$

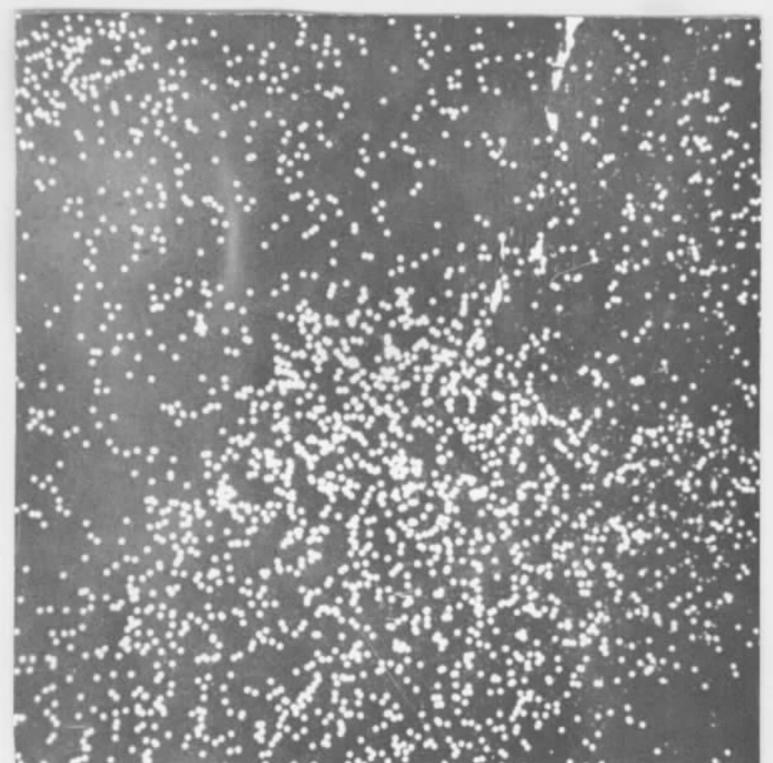


Fig. 12 Mesma Zona da Fig. 11  
Imagem "X"  $\text{NiK}\alpha_1$



Fig. 13 Mesma Zona da Fig. 11  
Perfil de Concentração  
do Niquel

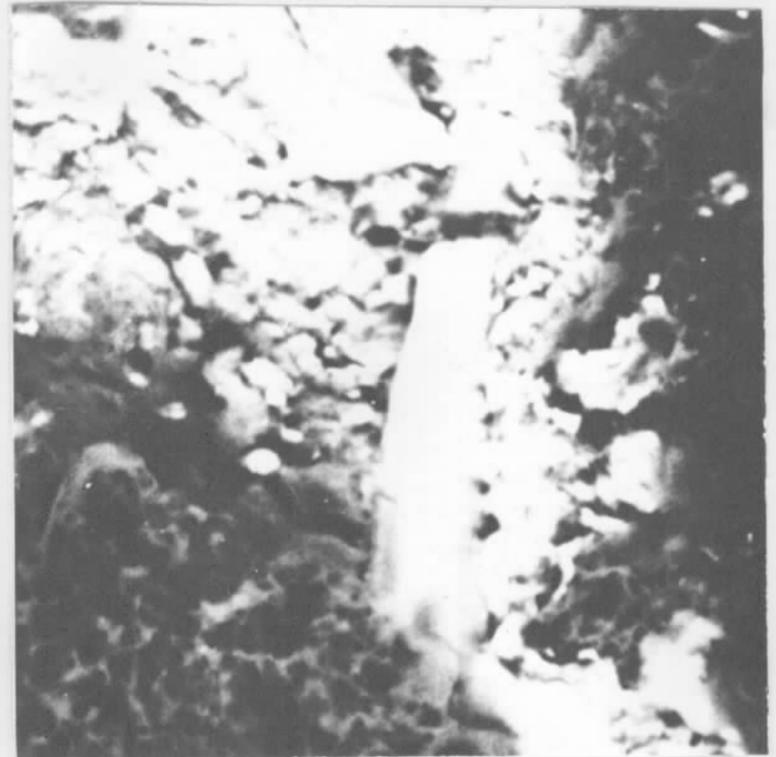


Fig. 14 Imagem Eletrônica (+)  
E.Retroespalhados  
200 x 200  $\mu\text{m}$

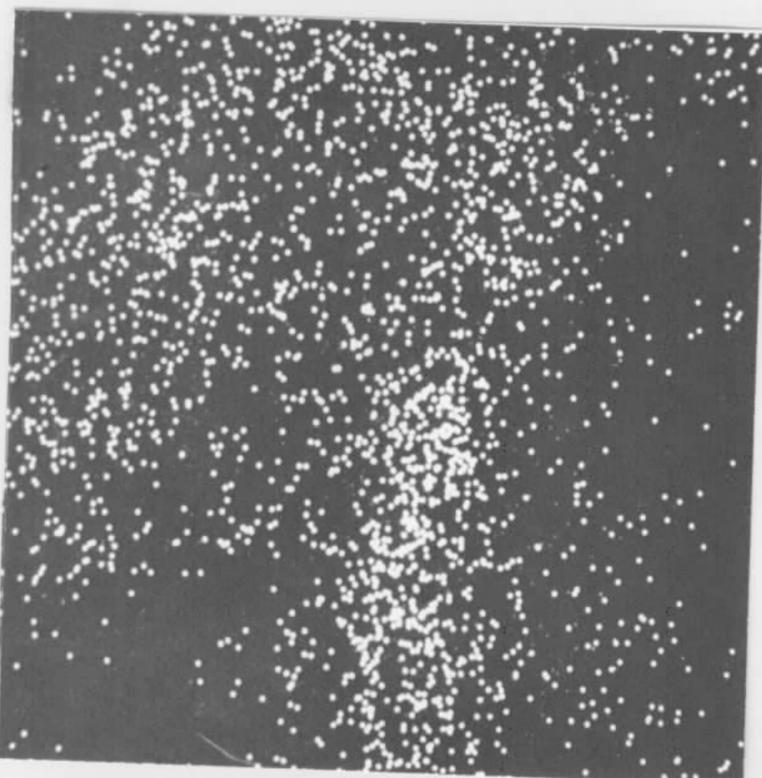


Fig. 15 Mesma Zona da Fig. 14  
Imagem "X"  $\text{Ni}\alpha_1$



Fig. 16 Imagem Eletrônica (+)  
E.Retroespalhados  
200 x 200  $\mu\text{m}$



Fig. 17 Mesma Zona da Fig. 16  
Perfil de Concentração  
do Níquel

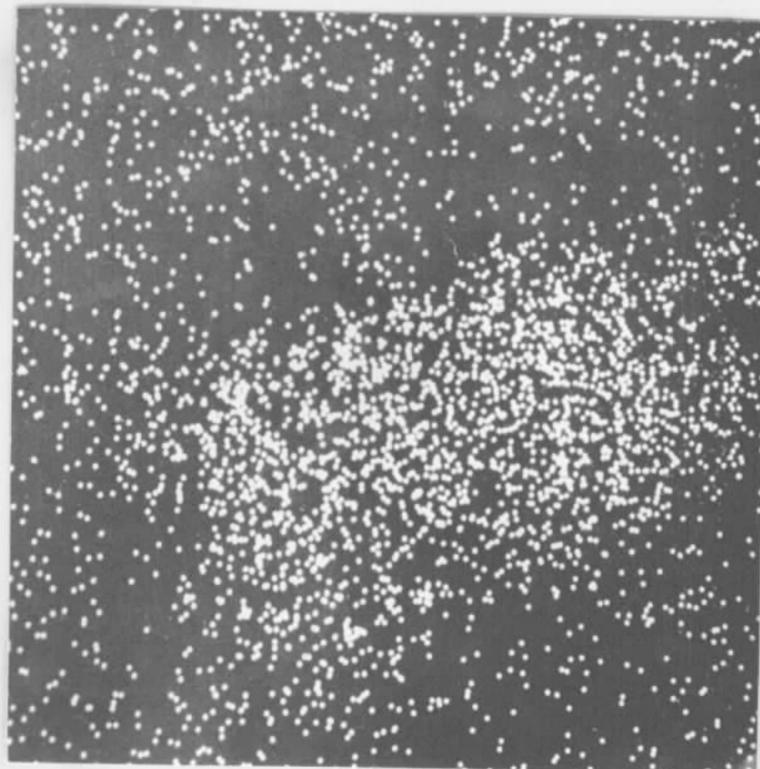


Fig. 18 Mesma Zona da Fig. 16  
Imagem "X" NiK $\alpha_1$

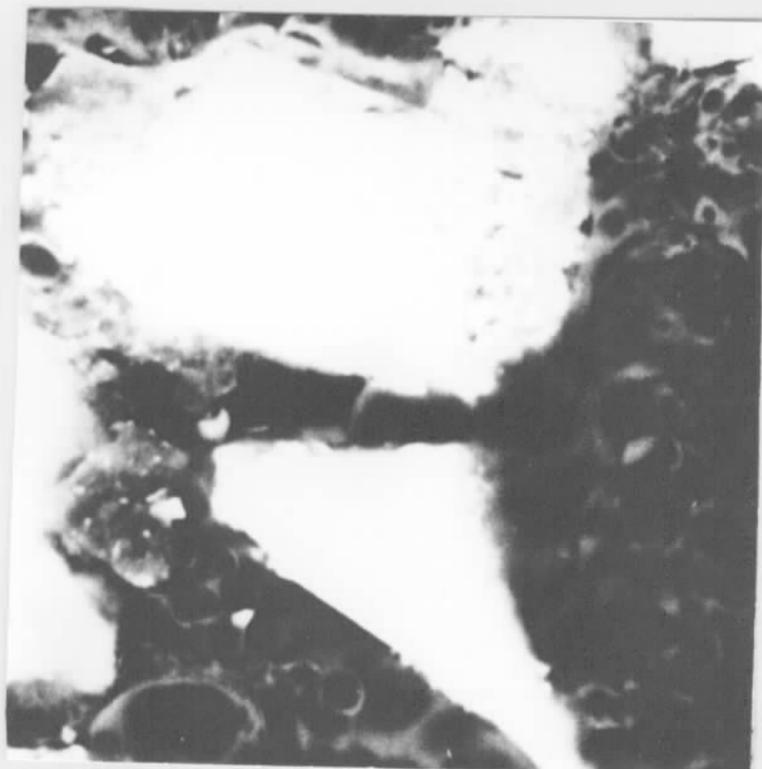


Fig. 19 Imagem Eletrônica (+)  
E. Retroespalhados  
200 x 200  $\mu\text{m}$

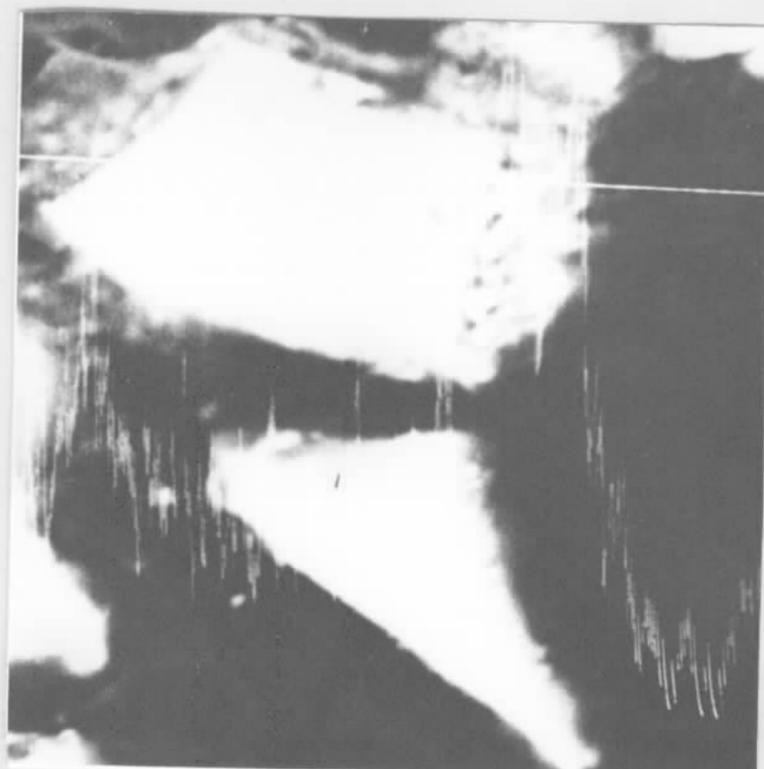


Fig. 20 Mesma Zona da Fig. 19  
Perfil de concentração  
de Níquel



Fig. 21 Imagem Eletrônica (+)  
E.Retroespalhados  
200 x 200  $\mu\text{m}$

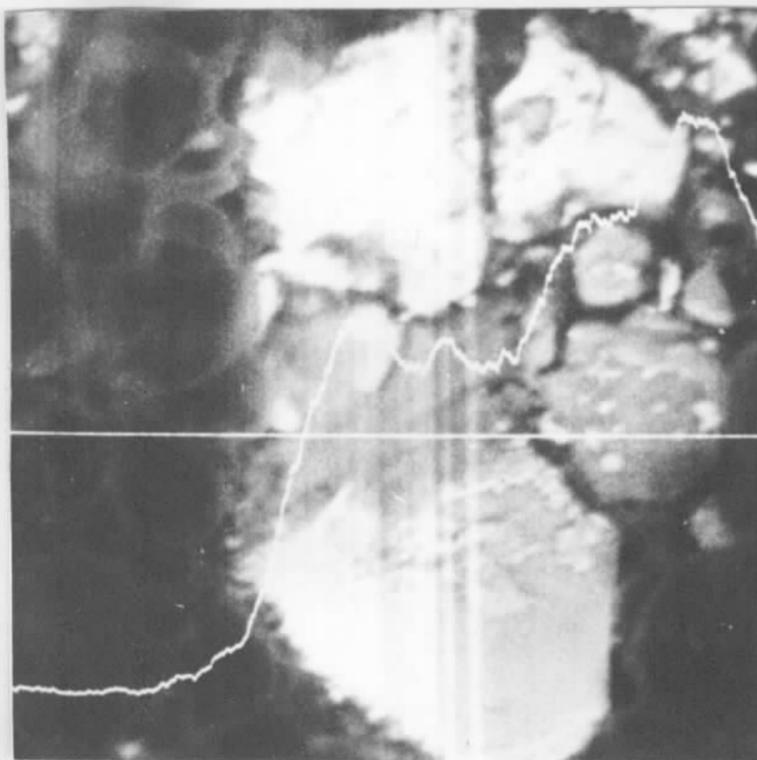


Fig. 22 Mesma Zona da Fig. 21  
Perfil de Concentração  
de Niquel

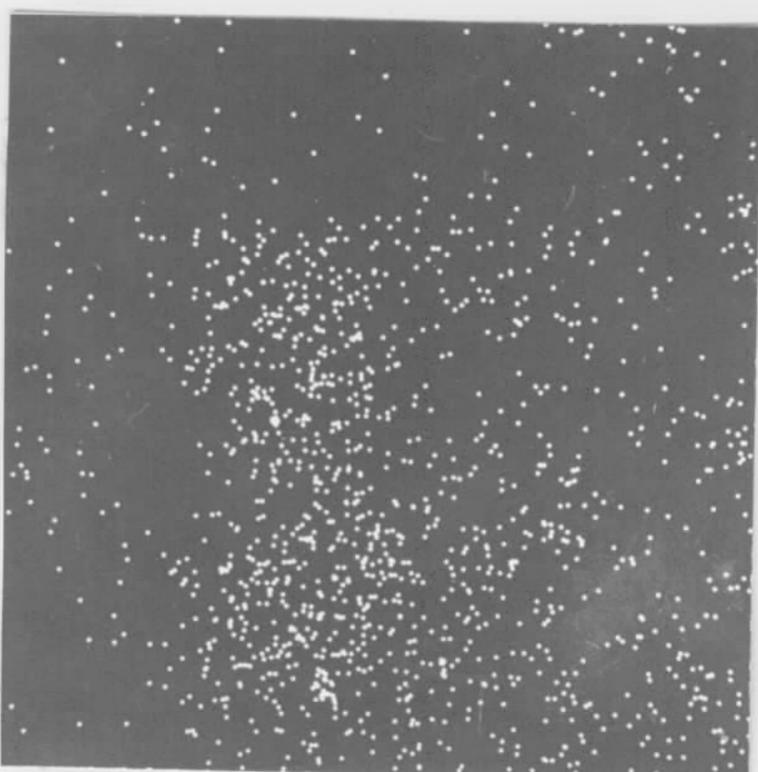


Fig. 23 Mesma Zona da Fig. 21  
Imagem "X"  $\text{Ni}\alpha_1$

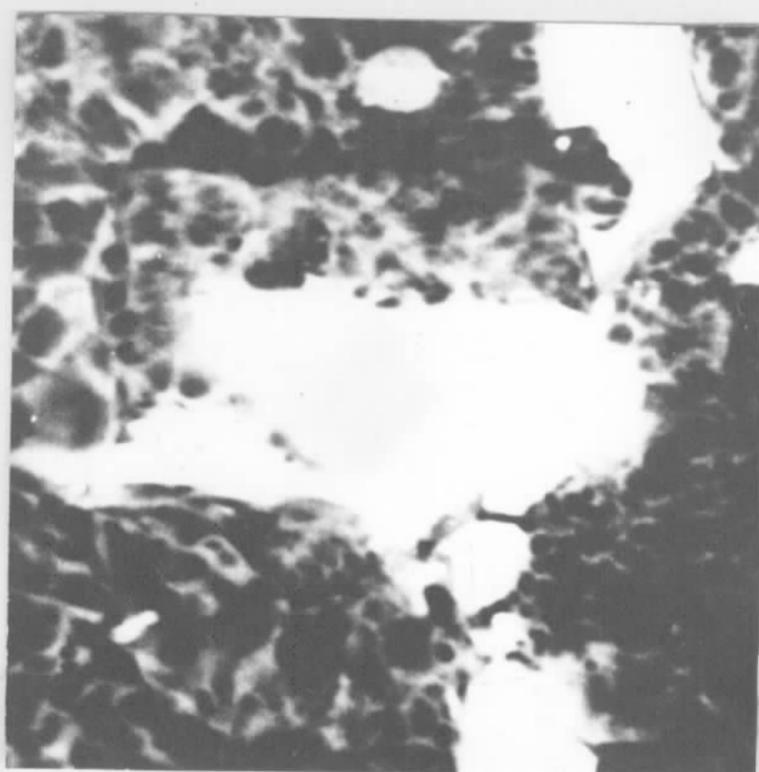


Fig. 24 Imagem Eletrônica (+)  
E.Retroespalhados  
200 x 200  $\mu\text{m}$

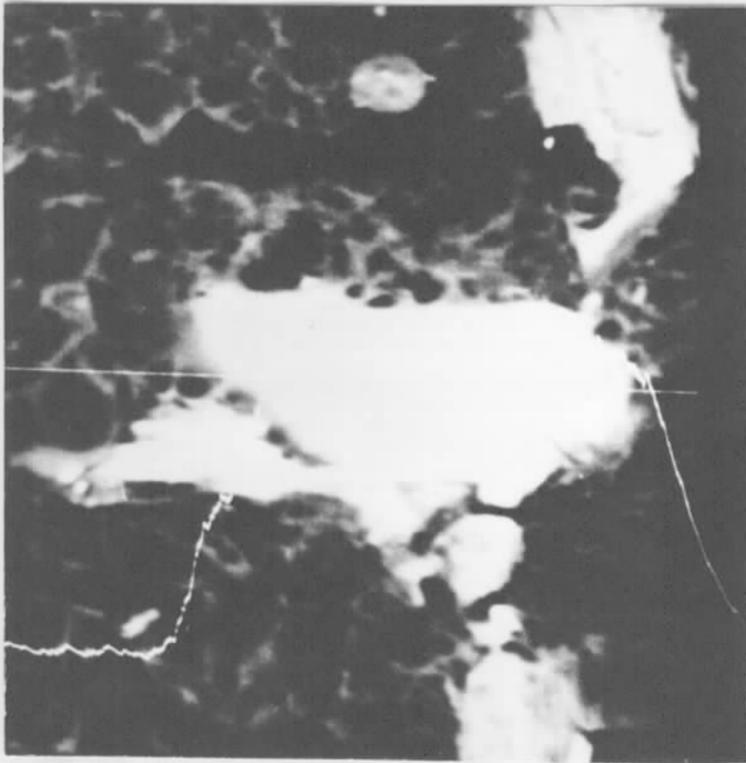


Fig. 25 Mesma Zona da Fig. 24  
Perfil de Concentração  
de Niquel

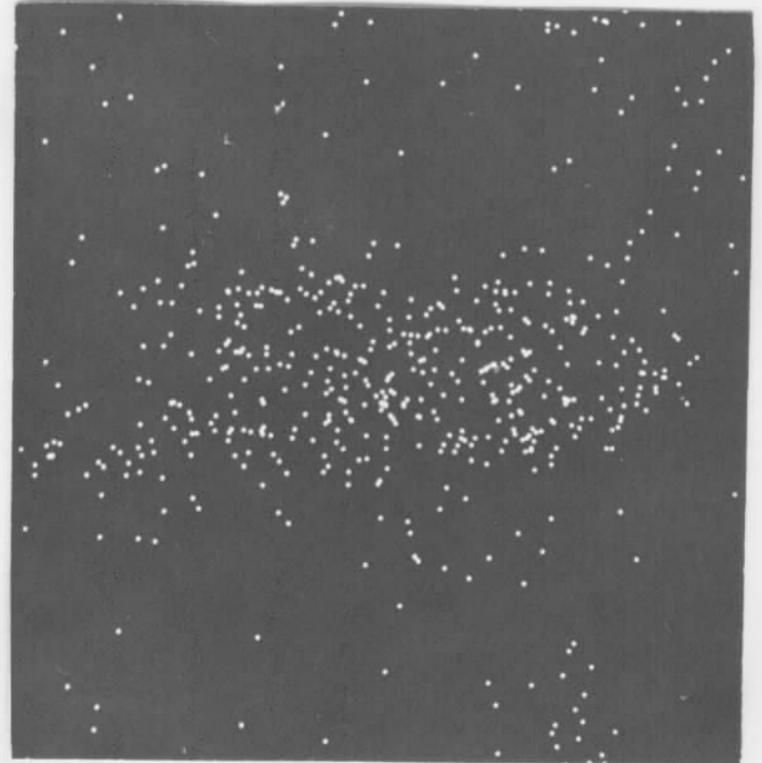


Fig. 26 Mesma Zona da Fig. 24  
Imagem "X"  $NiK\alpha_1$

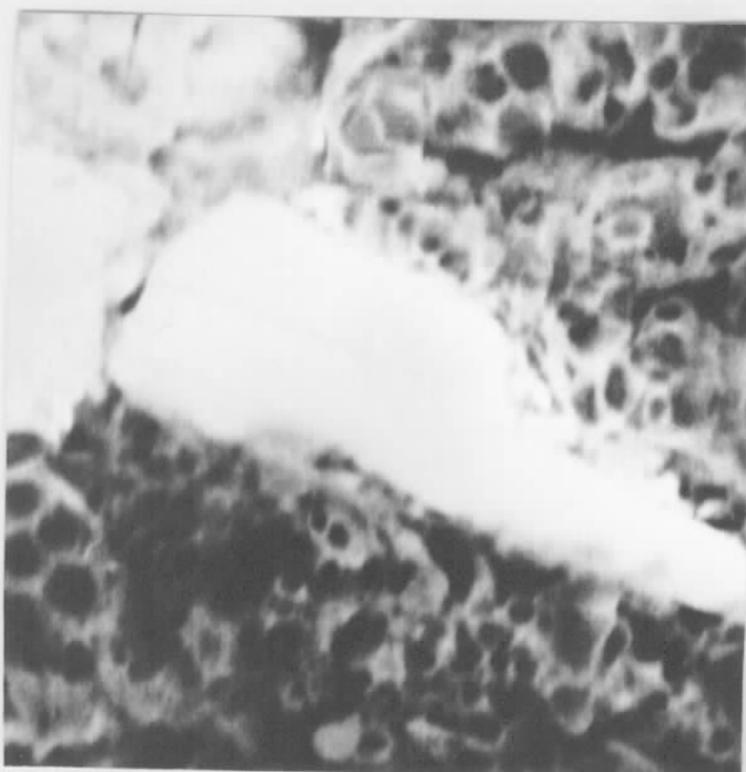


Fig. 27 Imagem Eletrônica (+)  
E. Retroespalhados  
200 x 200  $\mu m$

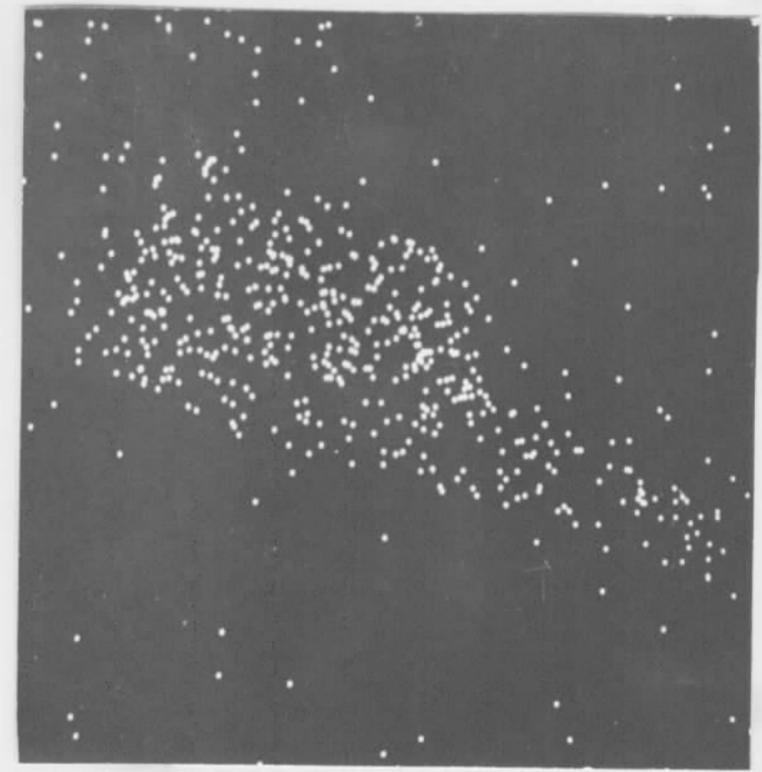


Fig. 28 Mesma Zona da Fig. 27  
Imagem "X"  $NiK\alpha_1$

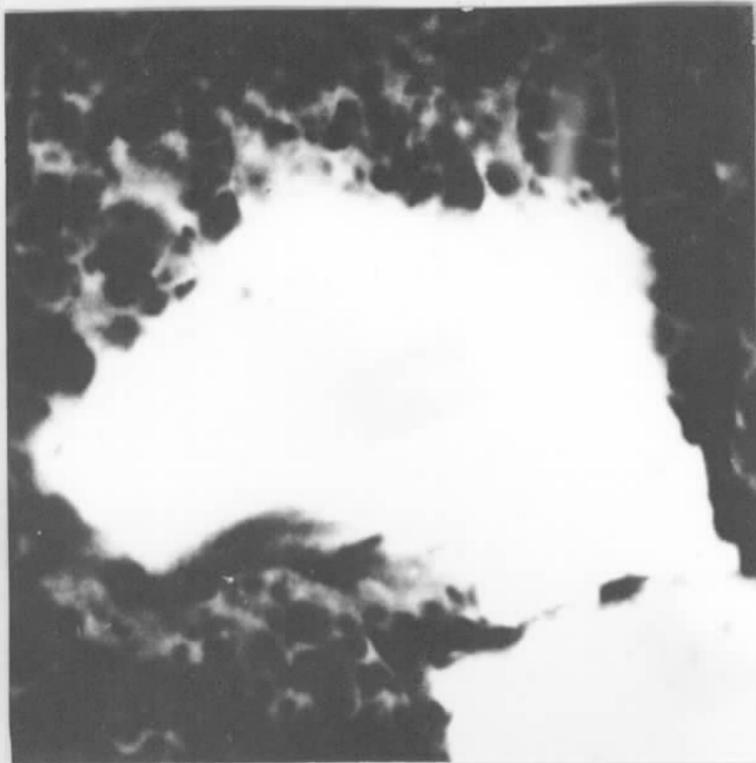


Fig. 29 Imagem Eletrônica (+)  
E.Retroespalhados  
100 x 100  $\mu\text{m}$

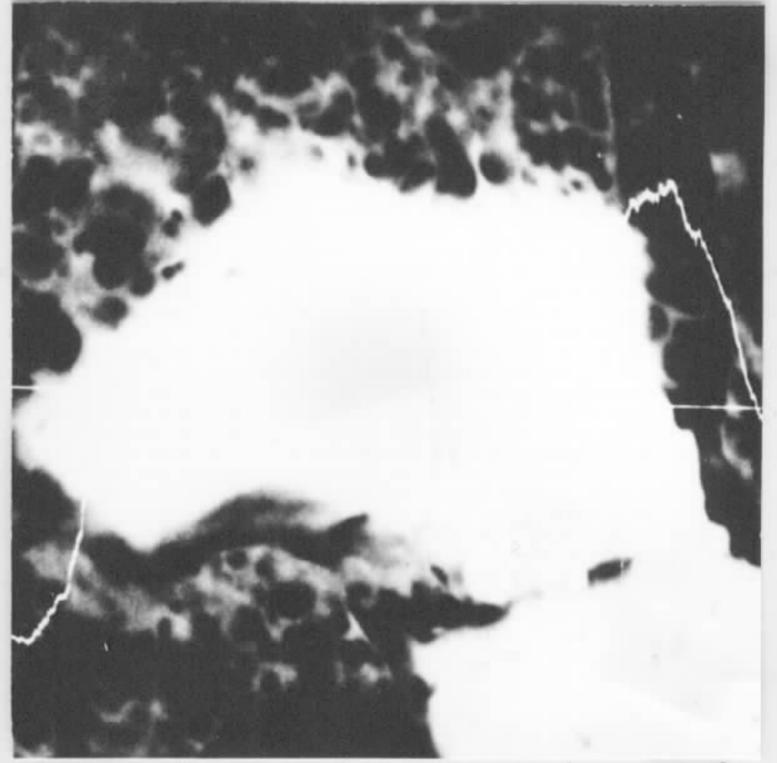


Fig. 30 Mesma Zona da Fig. 29  
Perfil de Concentração  
de Níquel

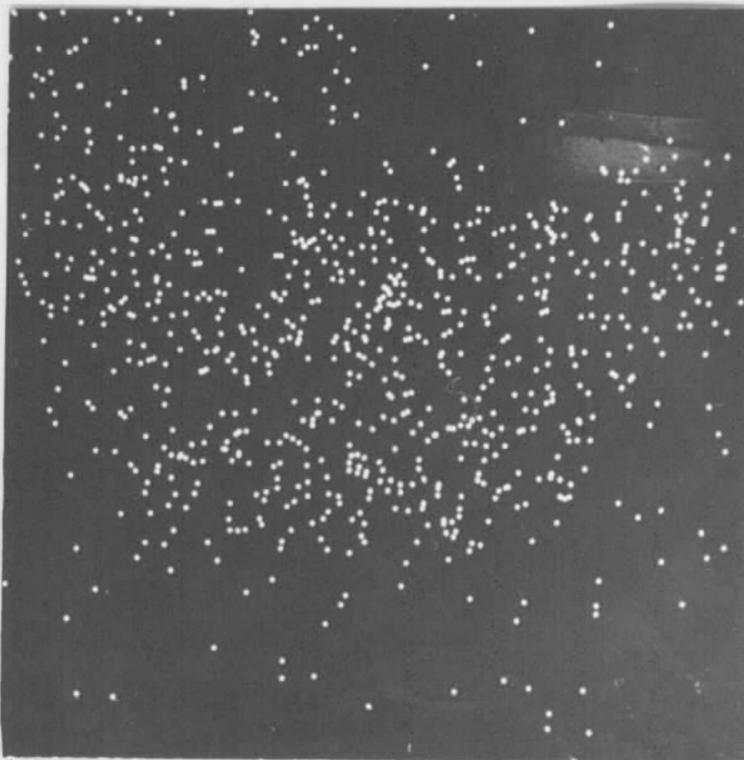


Fig. 31 Mesma Zona da Fig. 29  
Imagem "X"  $\text{NiK}\alpha_1$

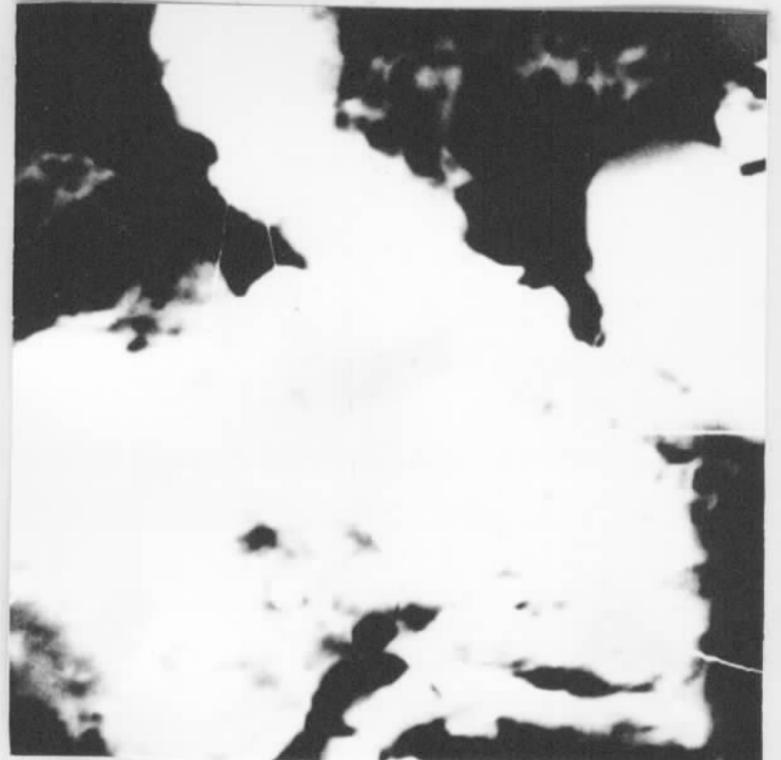


Fig. 32 Imagem Eletrônica (+)  
E.Retroespalhados  
100 x 100  $\mu\text{m}$

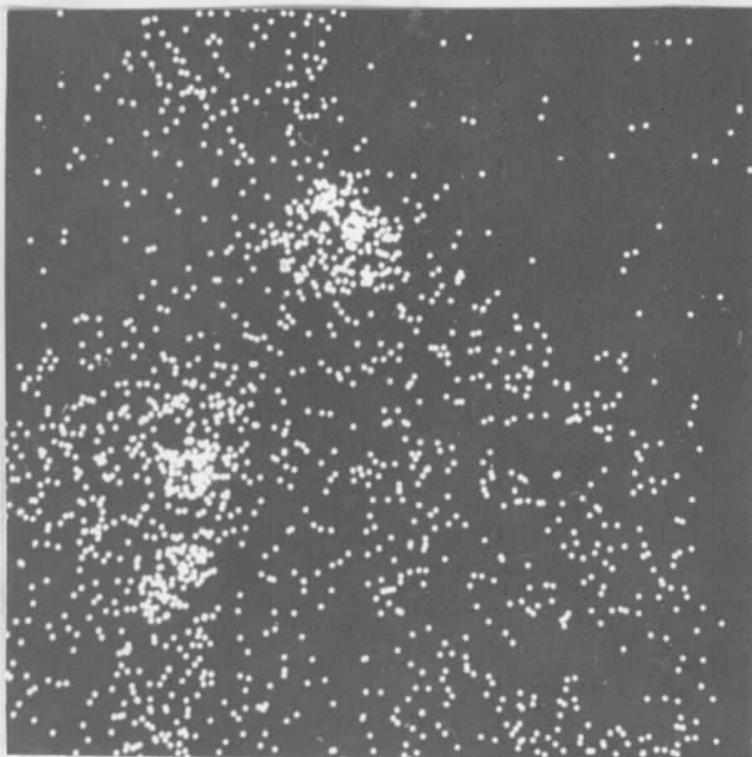


Fig. 33 Mesma Zona da Fig. 32  
Imagem "X" NiK $\alpha_1$

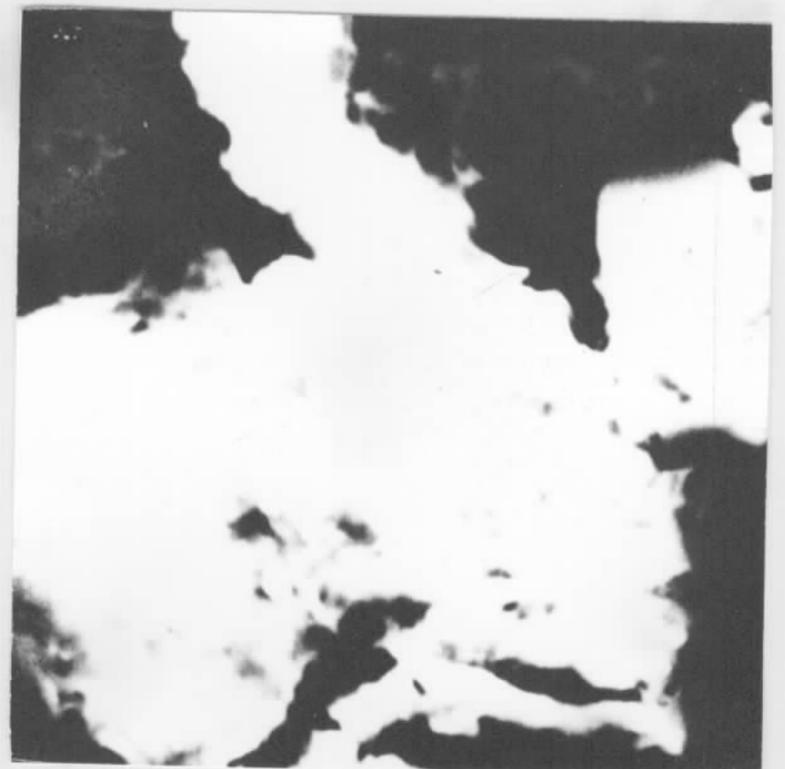


Fig. 34 Mesma Zona da Fig. 32  
Perfil de concentração  
de Niquel

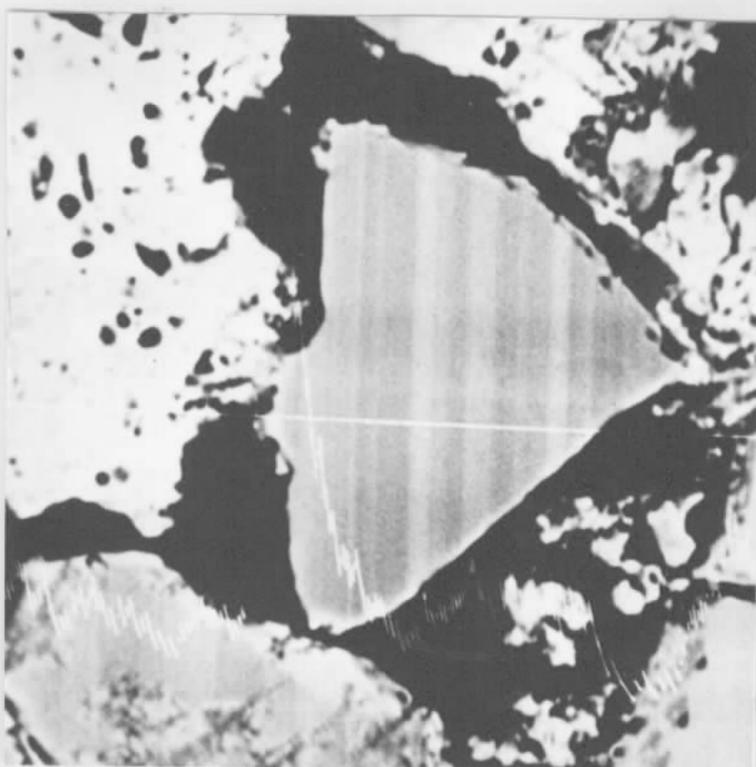


Fig. 35 Imagem Eletrônica (+)  
E. Retroespalhados  
200 x 200  $\mu\text{m}$

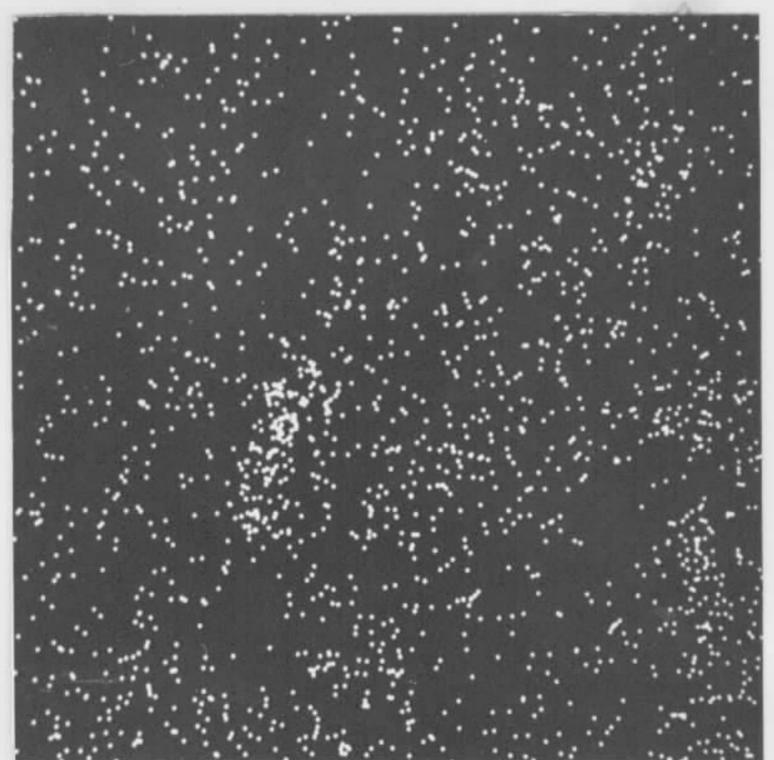


Fig. 36 Mesma Zona da Fig. 35  
Imagem "X" NiK $\alpha_1$

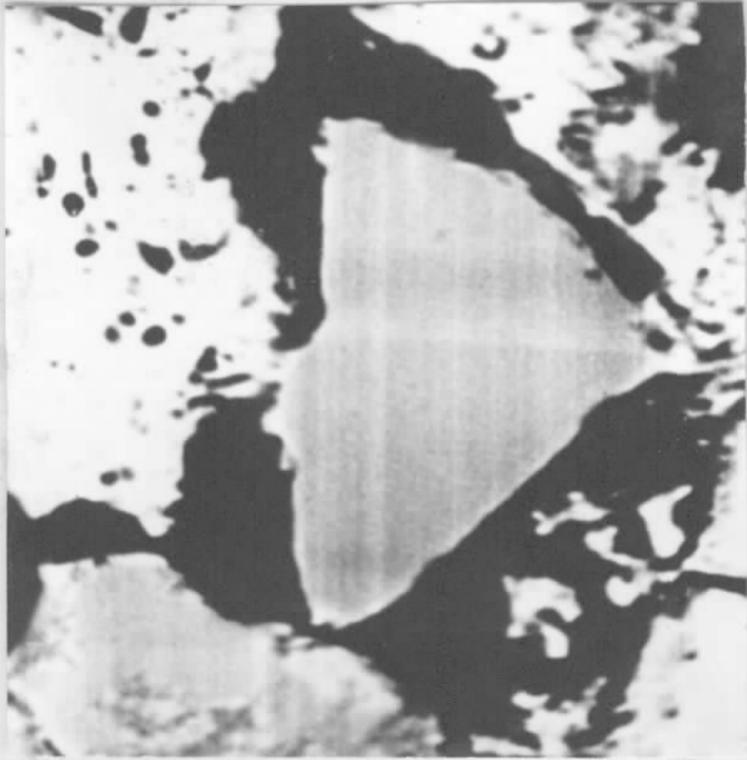


Fig. 37 Mesma Zona da Fig. 35  
Perfil de Concentração  
de Niquel

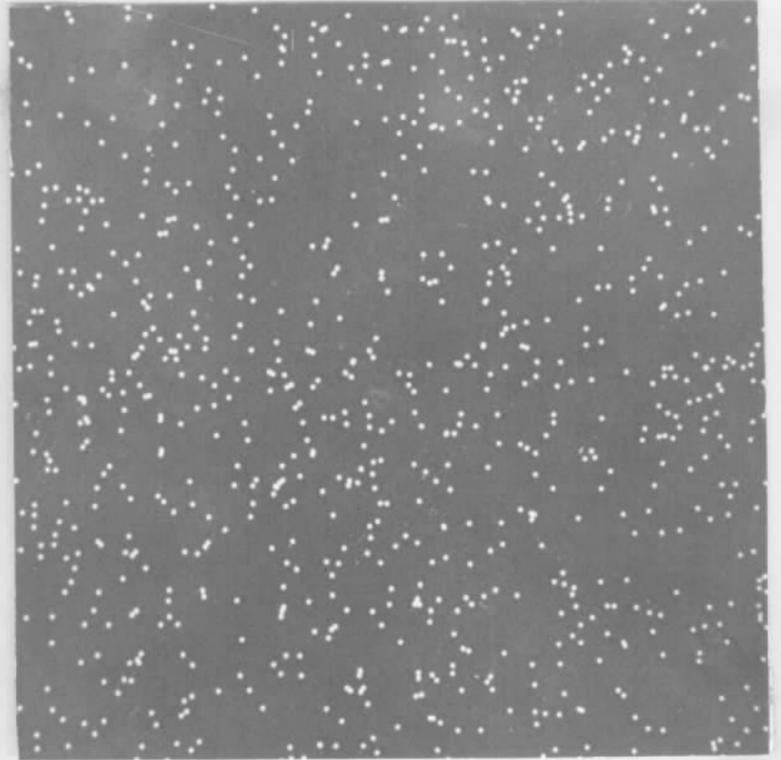


Fig. 38 Mesma Zona da Fig. 35  
Imagem "X"  $\text{CuK}\alpha_1$

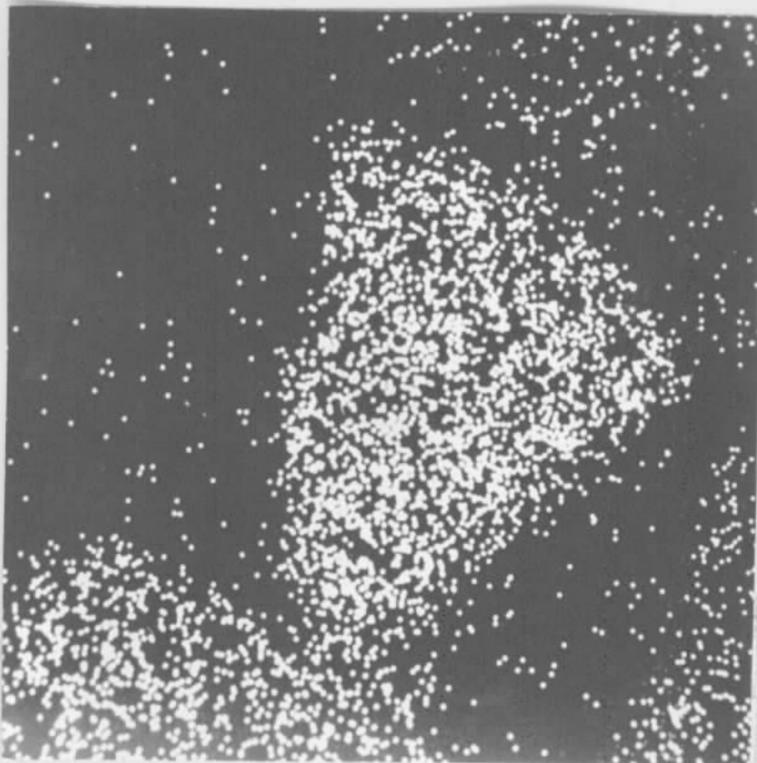


Fig. 39 Mesma Zona da Fig. 35  
Imagem "X"  $\text{CrK}\alpha_1$

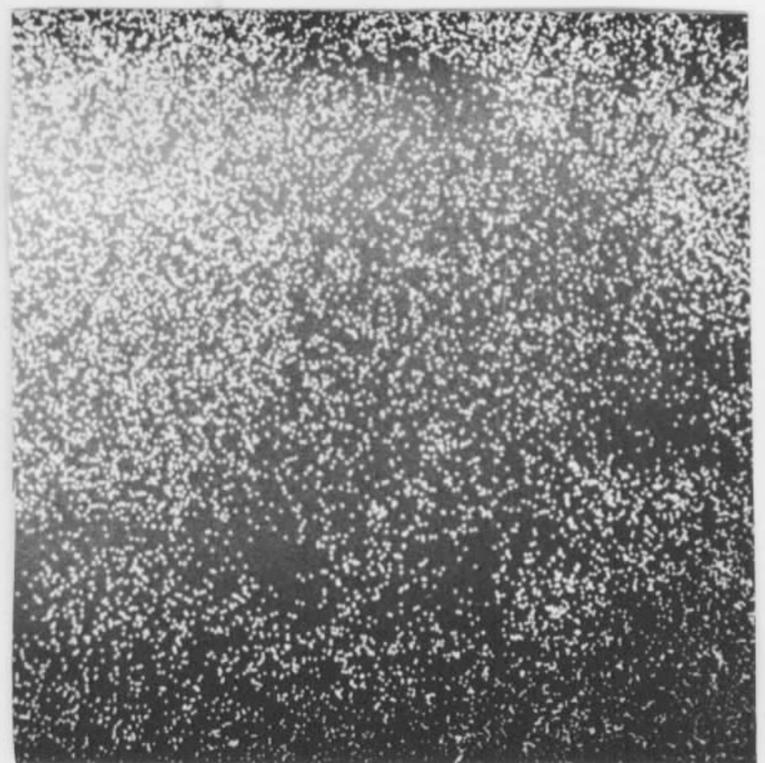


Fig. 40 Mesma Zona da Fig. 35  
Imagem "X"  $\text{FeK}\alpha_1$