

AVALIAÇÃO DO BENEFICIAMENTO POR MÉTODOS FÍSICOS DE LATERITAS  
NIQUELÍFERAS LIMONÍTICAS DO VERMELHO-CARAJÁS (PARÁ)

Elbert Valdiviezo Viera (1)  
Oscar Delgado Cuéllar (2)

RESUMO

Pela aplicação de técnicas de difração e fluorescência de raios-x, análise térmica diferencial e termogravimétrica, microscopia eletrônica, análise química e microscopia ótica realizadas em amostras provenientes dos produtos de concentração gravítica e magnética de lateritas niquelíferas limoníticas do Vermelho-Carajás (Pará), verificou-se que devido à natureza complexa do minério c, principalmente, pela disseminação do níquel e do cobalto em mais de uma espécie mineral, os métodos de concentração estudados não possibilitaram atingir concentrações satisfatórias do níquel e do cobalto, inviabilizando sua implementação como um tratamento prévio aos processos pirometalúrgicos ou hidrometalúrgicos.

ABSTRACT

X-ray diffraction and fluorescence, differential thermal analysis with gravimetric change, scanning electron microscopy, chemical analysis and optical microscopy techniques were conducted on samples obtained during the concentration tests of limonitic niqueliferous laterites of the Vermelho - Carajás, State of Pará (Brazil). As a consequence of the complex nature of the ore, and especially since nickel and cobalt are finely disseminated in the mineral species, the results showed that for the laterite type studied, it is not possible to apply the physical concentration methods as a first step in the production of nickel and cobalt concentrates before hydrometallurgical or pyrometallurgical processes.

(1) Engº de Minas, M.Sc. UFRGS, Porto Alegre, RS.

(2) Prof. do PEMM/COPPE/UFRJ, Caixa Postal 68505, 21945 - Rio de Janeiro, RJ.

## 1. INTRODUÇÃO

As lateritas são importantes fontes de níquel e cobalto. Nos últimos vinte anos, ocorreu um notável incremento na obtenção de níquel refinado, a partir de lateritas [1,2]. Este fato é decorrente de que as reservas mundiais de lateritas estimadas constituíram mais de 80% do total de reservas de minérios de níquel [3]. Os depósitos mais importantes de lateritas estão localizados em Cuba, Nova Caledônia, União Soviética, Brasil, Estados Unidos e na Austrália. O Brasil possui importantes reservas de lateritas, que atingem 456,4 milhões de toneladas, sendo que os maiores depósitos se encontram em Goiás, onde as reservas são calculadas em 367,8 milhões de toneladas com um conteúdo de 0,69-1,8% de níquel [4-5].

Na atualidade, as lateritas niquelíferas são diretamente submetidas sem prévia concentração a processos pirometalúrgico (redução-ustulação), hidrometalúrgico (lixiviação amoniacal-lixiviação sulfúrica), extração por solvente e eletrorefino como operações unitárias para a obtenção de níquel e cobalto metálico [6,7].

Este trabalho constitui o começo da linha de pesquisa que ora se realiza na COPPE/UFRJ, na área de tratamento de minérios, estudando-se a caracterização química e mineralógica e seu beneficiamento por métodos físicos, visando a obtenção de produtos enriquecidos em níquel e cobalto em condições favoráveis.

## 2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 2.1 - Minério de níquel

Uma amostra de 60 kg do minério foi fornecida pela Rio Doce Geologia e Mineração S.A., proveniente da camada limonítica do Vermelho-Carajás (Pará) que se estende até a profundidade de 4m da superfície. Tal como foi recebida sua cor varia de vermelho-escuro até marrom; apresentava uma grande quantidade de partículas finas, pois

70% passavam em peneira 200 malhas Tyler, sua umidade original era 20% (em peso) e a massa específica 3,05 g/cm<sup>3</sup>.

As análises químicas por absorção atômica apresentaram os seguintes resultados: 1,42% Ni, 0,085% Co; 37,4% Fe; 1,12 Cr; 24,6% SiO<sub>2</sub>; 5,8% MgO; 2,3% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; e 0,47% MnO.

## 2.2 - Caracterização mineralógica

As espécies identificadas por difração de raios-x foram goethita, serpentina, clorita, quartzo, cronita, sendo a fase predominante a goethita. Por fluorescência de raios-x identificou-se o ferro como elemento principal; e níquel, cobalto, cromo e manganês como elementos menores, assim como traços de Cu, Zn, Ti, Zr, Pb, Th, Co, V, As, Ga e U. Através de análises térmica diferencial e termogravimétrica determinam-se que a serpentina é do tipo antigorita, assim como detectou-se também a presença de goethita e magnetita. Com a utilização da microscopia eletrônica de varredura verificou-se que o níquel encontra-se associado à goethita, serpentina e clorita, sendo que os seus maiores teores ocorreram na serpentina, enquanto que a goethita contém os maiores teores de cobalto, assim como menores teores de níquel [8].

## 3. CONCENTRAÇÃO DO MINÉRIO

Tentou-se concentrar o minério limonítico do Vermelho pela realização de ensaios de separação em meio denso, mesa oscilatória e separação magnética a baixa e alta intensidade de campo magnético por via úmida.

### 3.1 - Separação em meio denso

A metodologia consistiu em submeter à separação em meio denso cada faixa granulométrica do minério previamente classificado em peneiras da série Tyler, compreendidas entre 10 e 200 malhas. Utili-

zou-se 5g do minério seco, dentro de um funil de separação, contendo tetrabromoetano (líquido denso com massa específica  $2,96 \text{ g/cm}^3$ ) e foram obtidas duas fases: uma composta por partículas da região de densidade menor que  $2,96 \text{ g/cm}^3$ , denominada "produto leve", e outra obtida na região de densidade maior que  $2,96 \text{ g/cm}^3$ , denominado "produto pesado".

### 3.2 - Separação magnética em tubo Davies

O procedimento consistiu em processar cada faixa granulométrica proveniente da classificação em peneiras compreendidas entre 14 e 200 malhas, bem como os "produtos pesados" obtidos na separação em meio denso nas faixas granulométricas compreendidas entre 20 e 200 malhas, utilizando um tubo Davies.

As condições de operação foram: Intensidade de campo magnético = 4000 G, fluxo de água de lavagem =  $400 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , ângulo de inclinação do tubo = 45 graus, número de oscilações por minuto = 90, massa de amostra 10 g, tempo de operação = 10 minutos.

### 3.3 - Concentração em mesa oscilatória

A metodologia utilizada para a concentração em mesa oscilatória consistiu da preparação mecânica do minério para obter um produto com granulometria - 1/8". Em seguida foi realizada uma classificação para obter dois produtos: fração - 200 malhas e fração - 1/8" + 200 malhas, conforme o esquema da figura I.

A fração - 1/8" + 200 malhas foi por sua vez moída num moinho de barras (14" x 8 1/2" de diâmetro) para obter um produto na faixa granulométrica - 150 + 200 malhas. Estas duas frações foram processadas separadamente numa mesa oscilatória "Wilfley" de 32,5cm de largura por 102cm de comprimento, com ripas de 5,5 x 4,5mm de seção transversal, e com espaçamento interno entre ripas de 13,5mm. Para controlar as vazões de alimentação da polpa e da água de lavagem, fo

ram incorporadas ao equipamento duas bombas peristálticas. Os produtos obtidos foram coletados com o uso de um cortador de amostras, composto de 21 compartimentos; conseqüentemente em cada ensaio de concentração foram recolhidos 21 produtos. A figura II, apresenta o esquema da disposição dos compartimentos do cortador de amostras, bem como o critério adotado para agrupá-los em 4 produtos.

#### 3.4 - Concentração magnética a baixa e alta intensidade de campo magnético

Para a concentração magnética, o procedimento adotado consistiu em processar os produtos 1 e 2 obtidos na concentração em mesa oscilatória, como pode ser visto na figura I, num separador magnético de baixa intensidade (tubo Davies) operando a 4000 G. Enquanto que os produtos 3 e 4 foram processados num separador magnético de alta intensidade "Carpc" modelo WHIMS 3 x 4L, operando a 6000 e 9000 G.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de níquel e cobalto resultantes da separação em meio denso, mostrados na tabela I, permitiram verificar que o níquel atingiu maiores teores na região de densidade menor que  $2,96 \text{ g.cm}^{-3}$  (produtos leves), sendo que para os menores tamanhos de partícula, o teor de níquel obtido foi maior, enquanto que mais de 80% em peso do cobalto total, distribuiu-se na região de densidade maior que  $2,96 \text{ g.cm}^{-3}$  (produtos pesados), atingindo maiores teores nas granulometrias grossas.

Na separação magnética em tubo Davies (tabela II) verificou-se que nas granulometrias menores que 14 malhas, os teores de níquel dos produtos não magnéticos são ligeiramente maiores que os correspondentes dos produtos magnéticos: enquanto que o cobalto atinge maiores teores nos produtos magnéticos.

A concentração em mesa oscilatória da fração -150 + 200 malhas, efetuada de acordo com o fluxograma contido na figura I, permitiu obter produtos com maiores teores de níquel e cobalto, operando com uma frequência de oscilações de 500 R.P.M. e uma amplitude de oscilações de 5 mm.

Verificou-se que na alimentação que ingressa na mesa oscilatória, 21,2% em peso, corresponde ao produto 1 que contém 0,71% de níquel e 0,151% de cobalto. Sua comparação com os teores da alimentação revelam um enriquecimento do teor de cobalto, com a queda do conteúdo de níquel, verificando-se também, que o produto 4 continha 11,3% em peso dos produtos obtidos, com 1,59% de níquel e uma ligeira redução do conteúdo de cobalto para 0,133% com relação ao produto 1, conforme pode ser visto na tabela III.

Os produtos pesados provenientes desta mensagem foram submetidos à separação magnética em baixa intensidade, bem como os produtos leves sob alta intensidade.

A tabela IV apresenta os resultados de teores de níquel e cobalto obtidos na separação magnética em baixa intensidade, realizado com os produtos provenientes da mensagem. No produto magnético 4, obteve-se 1,73% de níquel, assim como 0,200% de cobalto no produto magnético 2.

A tabela V apresenta os resultados obtidos na concentração em mesa oscilatória, da fração menor que 200 malhas, conforme o fluxograma exposto na figura I. Verificou-se que 24,0% em peso da alimentação corresponde ao produto 4, que contém 2,12% de níquel e 0,055% de cobalto; sua comparação com os teores da alimentação, revelam um enriquecimento de níquel com uma ligeira queda do conteúdo de cobalto; enquanto que o produto 1, contém 38,0% em peso dos produtos obtidos, indicando um ligeiro enriquecimento do cobalto para 0,074%, e uma queda do teor de níquel para 1,57%.

As características dos produtos obtidos na concentração em mesa oscilatória da fração menor que 200 malhas, submetidos a concentração magnética em baixa e sob alta intensidades são apresentados na tabela VI; verificando-se que houve um ligeiro aumento no teor de níquel nos produtos não magnéticos e também do teor de cobalto nos produtos magnéticos.

## 5. CONCLUSÕES

Os procedimentos de concentração em meio denso e em mesa oscilatória, bem como a concentração magnética em baixa e sob alta intensidade de campo magnético, aplicados ao processamento de lateritas níquelíferas limoníticas do Vermelho-Carajás (Pará), permitem obter produtos enriquecidos em níquel e cobalto; porém, as naturezas dos concentrados não viabilizam a implementação dos métodos físicos de concentração, como o tratamento adequado para o minério estudado, devido à natureza complexa do minério e principalmente pela disseminação do níquel e cobalto em mais de uma espécie mineral.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COPPE, CNPq e FINEP, pelo apoio financeiro concedido para a realização do presente trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- PEARCE, M.O., Nickel: an industry in transition, Int. Journal of Min. Process., v. 19, pp. 5-14, 1987.
- 2- ISHIL, K., Development of Ferro Nickel Smelting from Laterite in Japan, Int. Journal of Min. Process., v. 19, pp. 15-24, 1987.
- 3- BALDESSARI, B.M., Nickel Resource Analysis, Mining Mag., v. 45, pp. 61-66, 1982.
- 4- Sumário Mineral, M.M.E., Rio de Janeiro, 1988.
- 5- Balanço Mineral Brasileiro, M.M.E., Rio de Janeiro, 1987.
- 6- HUNDLEY, G.L. & SIEMENS, R.E., Solid-Liquid Separations in Processing Domestic Laterites, Report of Investigations 8840, Bureau of Mines, 1984.

7- LAKCHVITZ, A. & ALMEIDA, A.L., Processo de Segregação Aplicado às Lateritas Niquelíferas, Metalurgia-ABM, v. 32, nº 225, pp. 531-535, 1976.

8- VIERA, E.V., Concentração por Métodos Físicos de Lateritas Niquelíferas Limoníticas do Vermelho-Carajás (Pará), Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, abril, pp. 1-129, 1989.



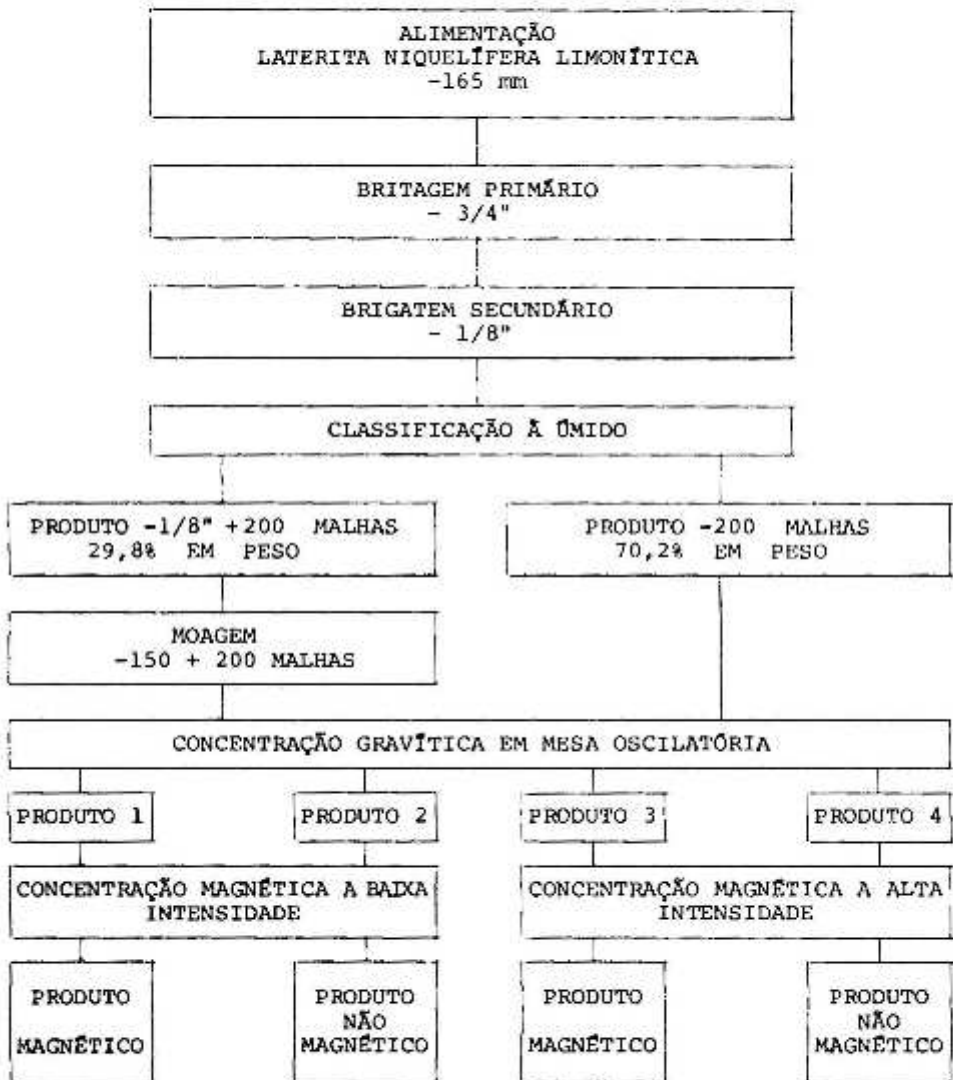


Figura I - Esquema das operações de preparação mecânica e concentração da laterita niquelífera do vermelho

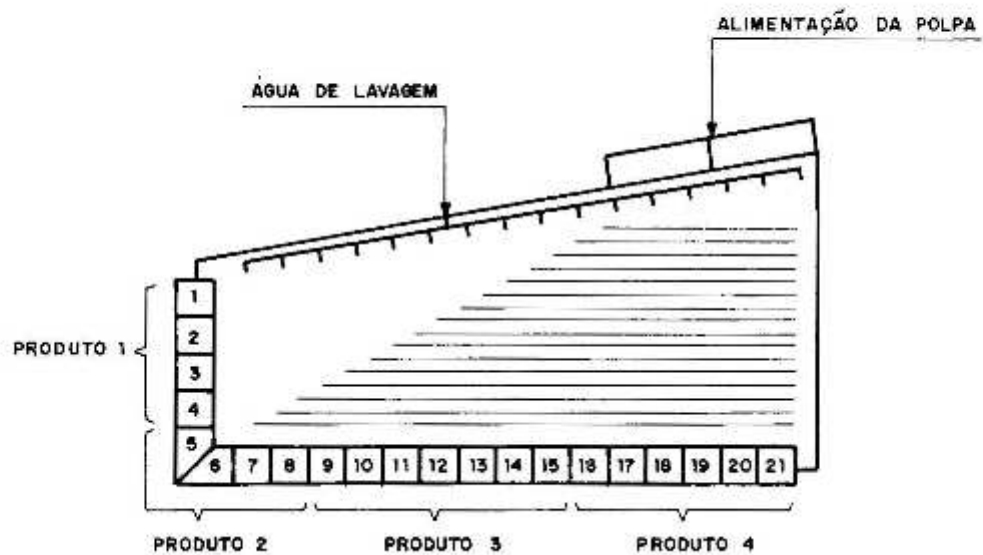


Figura II— Esquema da mesa oscilatória mostrando a disposição dos compartimentos do cortador de amostra

Tabela I - Resultados de separação em meio denso (tetrabromoetano)  
da laterita niquelífera limonítica do Vermelho-Carajás

Simbologia:

Pesado = fração com densidade maior que  $2,96 \text{ g.cm}^{-3}$

Leve = fração com densidade menor que  $2,96 \text{ g.cm}^{-3}$

Dist.% = Distribuição, em % em peso

MALHAS TYLER	PRODUTO		NIQUEL TOTAL		COBALTO TOTAL	
	DENOM.	% PESO	TEOR %	DIST. %	TEOR %	DIST. %
-10 + 14	PESADO	32,9	0,66	25,4	0,259	79,4
	LEVE	67,1	0,95	74,6	0,033	20,6
	TOTAL	100,0	0,85	100,0	0,107	100,0
-14 + 20	PESADO	43,9	0,80	39,2	0,367	84,7
	LEVE	56,1	0,97	60,8	0,053	15,3
	TOTAL	100,0	0,90	100,0	0,190	100,0
- 20 + 28	PESADO	43,7	0,68	33,9	0,267	86,6
	LEVE	56,3	1,03	66,1	0,032	13,4
	TOTAL	100,0	0,88	100,0	0,134	100,0
- 28 + 35	PESADO	43,5	0,70	34,7	0,211	82,7
	LEVE	56,5	1,01	65,3	0,035	17,3
	TOTAL	100,0	0,88	100,0	0,110	100,0
- 35 + 48	PESADO	59,5	0,88	51,5	0,136	87,1
	LEVE	40,5	1,22	48,5	0,030	12,9
	TOTAL	100,0	1,02	100,0	0,093	100,0
- 48 + 65	PESADO	69,5	1,04	60,7	0,118	89,1
	LEVE	30,5	1,54	39,3	0,034	10,9
	TOTAL	100,0	1,19	100,0	0,092	100,0
- 65 + 100	PESADO	77,0	1,39	73,6	0,097	91,5
	LEVE	23,0	1,68	26,4	0,031	8,5
	TOTAL	100,0	1,46	100,0	0,082	100,0
- 100 + 150	PESADO	82,9	1,38	76,9	0,082	91,9
	LEVE	17,1	2,01	23,1	0,035	8,1
	TOTAL	100,0	1,49	100,0	0,074	100,0
- 150 + 200	PESADO	81,4	1,51	75,2	0,074	89,6
	LEVE	18,6	2,18	24,8	0,040	10,4
	TOTAL	100,0	1,64	100,0	0,067	100,0

Tabela II - Resultados de separação magnética a baixa intensidade  
(4000 G) em tubo Davies da laterita niquelífera do Ver  
melho-Carajás

Simbologia:

Magnet. = Fração magnética

Naomag. = Fração não magnética

Dist.% = Distribuição, em % em peso

MALHAS TYLER	PRODUTO		NÍQUEL TOTAL		COBALTO TOTAL	
	DENOM.	% PESO	TEOR %	DIST. %	TEOR %	DIST. %
- 10 + 14	MAGNET.	53,1	0,90	59,7	0,289	88,4
	NAOMAG.	46,9	0,69	43,3	0,043	11,6
	TOTAL	100,0	0,80	100,0	0,173	100,0
- 14 + 20	MAGNET.	56,2	0,86	56,0	0,243	86,2
	NAOMAG.	43,8	0,87	44,0	0,050	13,8
	TOTAL	100,0	0,86	100,0	0,159	100,0
- 20 + 28	MAGNET.	55,1	0,93	52,9	0,305	88,0
	NAOMAG.	44,9	1,02	47,1	0,052	12,0
	TOTAL	100,0	0,97	100,0	0,191	100,0
- 28 + 35	MAGNET.	51,1	0,85	51,5	0,248	84,6
	NAOMAG.	48,9	0,84	48,5	0,048	15,4
	TOTAL	100,0	0,85	100,0	0,150	100,0
- 35 + 48	MAGNET.	51,0	0,82	42,3	0,113	70,4
	NAOMAG.	49,0	1,16	57,7	0,050	29,6
	TOTAL	100,0	0,99	100,0	0,081	100,0
- 48 + 65	MAGNET.	47,8	0,93	36,9	0,204	78,2
	NAOMAG.	52,2	1,45	63,1	0,052	21,8
	TOTAL	100,0	1,20	100,0	0,124	100,0
- 65 + 100	MAGNET.	35,4	1,22	29,2	0,172	61,0
	NAOMAG.	64,6	1,61	70,8	0,060	39,0
	TOTAL	100,0	1,47	100,0	0,100	100,0
- 100 + 150	MAGNET.	29,6	0,99	20,3	0,110	41,8
	NAOMAG.	70,4	1,62	79,7	0,065	58,2
	TOTAL	100,0	1,43	100,0	0,079	100,0
- 150 + 200	MAGNET.	25,9	1,04	15,5	0,260	59,8
	NAOMAG.	74,1	1,98	84,5	0,061	40,2
	TOTAL	100,0	1,74	100,0	0,112	100,0
- 200	MAGNET.	10,8	1,15	6,5	0,210	31,1
	NAOMAG.	89,2	1,95	93,5	0,057	68,9
	TOTAL	100,0	1,86	100,0	0,074	100,0

Tabela III - Resultados da concentração gravítica em mesa oscilatória da laterita níquelífera limonítica do Vermelho na fração -150+200 malhas Tyler

Condições de Operação:

Ângulo de inclinação da mesa = zero graus

Vazão de água de lavagem = 4,2 l.min

Vazão de alimentação de sólidos = 49,1 g.min<sup>-1</sup>

Granulometria de alimentação = -150+200 malhas Tyler

Ensaio I

Frequência de oscilação = 500 R.P.M.

Amplitude de oscilação = 12mm

Tempo de corte das amostras = 5 min 30 s.

PRODUTO		NÍQUEL TOTAL		COBALTO TOTAL	
DENOM.	% PESO	TEOR %	DIST. %	TEOR %	DIST. %
1	30,9	0,67	19,6	0,133	38,8
2	36,3	1,00	34,4	0,074	25,8
3	6,0	1,30	7,4	0,100	5,4
4	26,8	1,53	38,6	0,120	30,0
TOTAL	100,0	1,06	100,0	0,106	100,0

Ensaio II

Frequência de oscilação = 500 R.P.M.

Amplitude de oscilação = 5mm

Tempo de corte das amostras = 5 min 30 s.

PRODUTO		NÍQUEL TOTAL		COBALTO TOTAL	
DENOM.	% PESO	TEOR %	DIST. %	TEOR %	DIST. %
1	21,2	0,71	14,5	0,151	30,7
2	62,4	1,03	61,8	0,083	49,1
3	5,1	1,37	6,9	0,118	5,7
4	11,3	1,59	16,8	0,133	14,5
TOTAL	100,0	1,04	100,0	0,105	100,0

Tabela IV - Resultados da separação magnética a baixa intensidade em tubo Davies e a alta intensidade em separador magnético dos produtos provenientes na fração -150+200 malhas Tyler

Simbologia:

MAG = magnético

NMAG = não magnético

DIST.% = distribuição, em % em peso

VAL = vazão de água de lavagem, em  $l.min^{-1}$

PROCE- DÊNCIA	INTENSIDADE	VAL	PRODUTO		NÍQUEL TOTAL		COBALTO TOTAL	
			DENOM.	% PESO	TEOR %	DIST.%	TEOR %	DIST.%
PRODUTO 1	BAIXA (4000 G)	1	MAG 1	35,0	1,07	46,7	0,151	32,9
			NMAG 1	65,0	0,66	53,3	0,165	67,1
			TOTAL	100,0	0,80	100,0	0,160	100,0
PRODUTO 2	BAIXA (4000 G)	1	MAG 2	4,5	1,11	5,2	0,200	9,5
			NMAG 2	95,5	1,04	94,8	0,085	90,5
			TOTAL	100,0	1,05	100,0	0,090	100,0
PRODUTO 3	ALTA (6000 G)	2,1	MAG 3	50,1	1,39	49,6	0,135	56,6
			NMAG 3	49,9	1,41	50,4	0,104	43,4
			TOTAL	100,0	1,40	100,0	0,120	100,0
PRODUTO 4	ALTA (9000 G)	2,7	MAG 4	58,8	1,73	63,7	0,165	74,6
			NMAG 4	41,2	1,41	36,3	0,080	25,4
			TOTAL	100,0	1,60	100,0	0,130	100,0

Tabela V - Resultados da concentração gravítica em mesa oscilatória da laterita níquelífera limonítica do Vermelho na fração -200 malhas Tyler

Condições de Operação:

Freqüência de oscilação = 500 R.P.M.

Amplitude de oscilação = 5mm

Ângulo de inclinação da mesa = zero graus

Vazão de água de lavagem = 3,6 l.min<sup>-1</sup>

Vazão de alimentação da polpa = 0,7 l.min<sup>-1</sup>

Porcentagem de sólidos da polpa = 10%

Granulometria de alimentação = -200 malhas Tyler

Tempo de corte das amostras = 12 min 30 s.

PRODUTO		NÍQUEL TOTAL		COBALTO TOTAL	
DENOM.	% PESO	TEOR %	DIST. %	TEOR %	DIST. %
1	38,0	1,57	32,1	0,074	45,1
2	26,6	2,00	28,6	0,055	24,2
3	11,4	1,94	11,9	0,056	9,7
4	24,0	2,12	27,4	0,055	21,0
TOTAL	100,0	1,86	100,0	0,062	100,0

Tabela VI - Resultados da concentração magnética a baixa intensidade em tubo Davies e a alta intensidade em separador magnético dos produtos provenientes de concentração gravítica na fração -200 malhas Tyler

Simbologia:

MAG = magnético

NMAG = não magnético

DIST.% = distribuição, em % em peso

VAL = vazão de água de lavagem, em  $l.min^{-1}$

PROCE- DÊNCIA	INTENSIDADE	VAL	PRODUTO		NÍQUEL	TOTAL	COBALTO	TOTAL
			DENOM.	% PESO	TEOR %	DIST.%	TEOR %	DIST.%
PRODUTO 1	BAIXA (4000 G)	1	MAG 1	60,2	1,54	58,2	0,071	56,9
			NMAG 1	39,8	1,68	41,8	0,080	43,1
			TOTAL	100,0	1,60	100,0	0,075	100,0
PRODUTO 2	BAIXA (4000 G)	1	MAG 2	11,6	1,64	9,6	0,112	20,9
			NMAG 2	88,4	2,06	90,4	0,053	79,1
			TOTAL	100,0	2,01	100,0	0,060	100,0
PRODUTO 3	ALTA (6000 G)	2,5	MAG 3	76,0	1,85	73,2	0,058	79,2
			NMAG 3	24,0	2,15	26,8	0,046	20,8
			TOTAL	100,0	1,92	100,0	0,055	100,0
PRODUTO 4	ALTA (9000 G)	2,5	MAG 4	85,9	2,10	85,9	0,061	86,2
			NMAG 4	14,1	2,12	14,1	0,057	13,8
			TOTAL	100,0	2,11	100,0	0,060	100,0