

**TIPOLOGIA DO MINÉRIO DE TITÂNIO DE TAPIRA (MG)
SEGUNDO UMA ABORDAGEM GEOMETALÚRGICA**

NOMES DOS AUTORES

Sérgio Alves Pereira(1), Ronaldo de Moreira Horta(2), Amílcar Souto Jorge(3), Belônio Kenji Hashizume(4), Bruno Veloso da Silveira(5), José Eustáquio Gracioso(6), Paulo de Oliveira Luz(7), Porfírio Cabaleiro Rodriguez(8).

RESUMO

Uma abordagem geometalúrgica visa entre outros objetivos, a identificação e a regionalização dos vários tipos de minério de um dado depósito, frente a um dado processo. Esta metodologia foi aplicada ao minério de titânio da CVRD, em Tapira(MG), onde foram identificados e confirmados os diferentes tipos de minérios perante o processo adotado e em operação na planta-piloto instalada junto à mina. Através do conhecimento desta tipologia, pode-se hoje definir melhor a alimentação da usina.

ABSTRACT

Besides other purposes, a geometallurgical approach looks for an identification and regionalization of several types of ore in a mineral deposit, considering their behavior within a given process. This methodology was applied to Tapira CVRD Titanium ore, where different types of ores were identified and confirmed according to the process, that is operating in a installed pilot plant near the mine. Through this knowledge about this typology, it is possible now to define and improve the pilot plant feed conditions.

- (1) Engº Químico Gerente do Deptº de Produção de Anatásio/CVRD.,
- (2) Engº de Minas.Gerente da Divisão de Controle de Qualidade/CVRD.,
- (3) Geólogo.Gerente de Divisão de Mineração e Geologia/CVRD.,
- (4) Geólogo.Gerente do Setor de Planejamento e Controle de Mina/CVRD.
- (5) Engº de Minas - EPC.,
- (6) Engº Químico - EPC.,
- (7) Engº de Minas - EPC.,
- (8) Engº de Minas - EPC.,

1. INTRODUÇÃO

Os depósitos minerais usualmente apresentam tipos de minérios de características distintas e respostas metalúrgicas (rendimento, recuperações e qualidade de produto) variáveis, perante um dado processo, e que precisam ser bem conhecidas e quantificados, tornando-se tão ou mais importantes que variáveis geralmente utilizadas, como por exemplo o teor "in situ", no estudo destes depósitos, nas curvas de parametrização, etc.

Um estudo de caracterização tipológica baseado na geometalurgia (definida como a regionalização das variáveis geometalúrgicas), abrangendo e integrando processo, geoestatística/geologia, planejamento de lavra, busca manter as variáveis geometalúrgicas com variâncias mínimas, e garantir a qualidade da jazida e do produto.

Entende-se por variáveis geometalúrgicas as diversas respostas dos minérios a um dado processo, podendo ser quantitativas (rendimento, recuperações metalúrgicas e mineralógicas), quantitativos (teores e propriedades físico-químicas dos produtos finais), de impacto ao meio ambiente, de aspectos econômicos (consumos específicos de insumos), etc.

A partir destas variáveis geometalúrgicas é que é feita a separação dos tipos de minério, considerando-se as semelhanças entre os elementos, chegando-se então a uma tipologia baseada num espaço n-dimensional (multi-variáveis).

Pode-se então, através da abordagem geometalúrgica, se chegar a um melhor conhecimento das características físicas, químicas e mineralógicas dos minérios, estacionarização da alimentação da usina, identificação e regionalização dos fatores deletérios da qualidade do produto, parametrização das jazidas com base em variáveis geometalúrgicas, melhor compreensão do comportamento de cada tipo de minério frente às operações unitárias, integração mina-usina, etc.

Esta metodologia, aplicada ao minério de titânio da CVRD, em Tapira MG, permitiu identificar seis tipos de minério perante o processo adotado na planta piloto instalada junto à mina.

Este conhecimento vem permitindo definir melhor a alimentação da planta, baseando-se nas características geometalúrgicas dos "blendings" pré-determinados, a obter amostras mais adequadas ao desenvolvimento, e ajustamentos de processo, e a estocagem dos minérios de uma forma planejada, visando sua retomada para a alimentação da unidade industrial.

2. A JAZIDA DE TAPIRA

O modelo geológico de Tapira é de um complexo carbonatítico onde depósitos de fosfato, titânio e nióbio foram formados em ambiente de intemperismo.

O manto de intemperismo foi dividido em quatro zonas descendentes, com relação à mineralização a titânio e fosfato: estéril, mineralização a titânio, mineralização a fosfato com titânio, mineralização a fosfato (figura I). Pode ocorrer que em certas partes, uma ou mais zonas estejam ausentes do perfil, ou ainda que, ocasionalmente alguma zona apareça em posição não ideal.

As diferentes características químicas e mineralógicas das citadas zonas, são correlacionadas ao ambiente de intemperismo em que foram formadas as jazidas de fosfato e titânio do diatrema de Tapira.

Os trabalhos desenvolvidos se referem à zona mineralizada a Titânio, sendo considerado anatásio como o mineral minério, dentro dos limites dos denominados Alvo 1 e Alvo 2 do diatrema de Tapira, conforme figura II.

A lavra do minério de titânio é efetuado como o decapeamento da jazida de fosfato de propriedade da Fosfértil - Fertilizantes Fosfatados, e estocado em grandes pilhas, pelo sistema de "ponta de aterro", que passam a ser controladas pela Cia. Vale do Rio Doce.

A CVRD instalou no local uma usina piloto que trata o minério proveniente, principalmente, destas pilhas com o objetivo de obter concentrados de anatásio a serem absorvidos pelo mercado mundial, e determinar parâmetros para a Usina Industrial que em breve será instalada na região.

O processo de concentração usado pela planta-piloto é conhecido como OP-5 e segue o fluxograma mostrado na figura III.

Consiste basicamente de cinco etapas básicas:

- . Preparação, com descarte das lamas e da magnetita, seguida de pilha de homogeneização.
- . Moagem, com redução do material a -1mm e descarte de magnéticos finos.
- . Pirometalurgia, onde o material é calcinado (700°C) e reduzido em leitos fluidizados.
- . Separação magnética, em duas etapas (baixa e alta intensidade).
- . Lixiviação, feita com ácido clorídrico, em tanques com agitação.

Durante a fase de processamento piloto destes minérios, uma grande variabilidade dos produtos gerou a contratação da Paulo Abib Engenharia para uma melhor caracterização dos tipos de minério existentes na jazida, e a estocagem controlada de cada tipo encontrado.

3. ETAPAS DA ABORDAGEM GEOMETALÚRGICA

A figura IV ilustra as etapas que compõe a abordagem geometalúrgica. Os itens seguintes descrevem como cada etapa desta abordagem foi efetuada, e seus resultados, quando aplicada ao minério de Titânio da jazida de Tapira.

3.1 Catalogação dos Conhecimentos

Foi reunida e organizada toda a informação sobre a jazida, desde os primeiros relatórios de prospecção efetuados, até os relatórios de controle e produção da Usina Piloto.

Uma vez a literatura disponível reunida, a equipe envolvida pode nivelar seus conhecimentos sobre o projeto como um todo, ou seja, geologia, lavra e beneficiamento.

3.2 Seleção de Amostras

A jazida de Tapira pode ser dividida, de acordo com suas frentes de lavra, em seis setores denominados de Espigão 1, Espigão 2, Espigão 3, Espigão 4, Espigão 5 e Espigão 6.

Os estudos foram centrados especialmente nos Espigões 1, 2 e 4, alvos da programação presente de lavra da Fosfertil.

Sobre cada nível de lavra foi considerada a zona mineralizada e separadas as amostras que seriam processadas no denominado Teste Padrão.

3.3 Elaboração e Aplicação do Teste Padrão

Para a medição das variáveis de processo que podem definir os tipos de minério, foi montado nas instalações da CVRD, em Tapira, um laboratório de ensaios químico-metalúrgico, que simula o comportamento do minério frente as várias operações do beneficiamento.

A figura V mostra o fluxograma do teste padrão elaborado, com suas operações unitárias, pontos de amostragem e análises químicas requeridas.

O teste padrão foi aplicado em cerca de 140 amostras e os resultados foram implantados em um banco de dados informatizado, onde cada registro de amostra continha 110 informações entre coordenadas, análises químicas e mineralógicas.

3.4 Seleção de Variáveis e Definição da Tipologia

O tratamento dos dados disponíveis, de uma forma iterativa; análise de correlação - análise grupal - análise de processo, permitiu selecionar aquelas variáveis mais importantes para a identificação

e separação dos tipos de minérios, dentro dos aspectos quantidade e qualidade:

. A soma % TiO_2 + % Fe_2O_3 (STIFE) do concentrado físico (deslamado e passante da separação magnética), se mostrou fundamental, uma vez que o seu complemento trata-se de teores (minerais) deletérios e diluentes, tais como SiO_2 (quartzo e silicatos), P_2O_5 (apatita e fosfatos secundários), CaO (apatita e fosfatos secundários), Al_2O_3 (argilas) e que acima de um certo valor (40%) o processo estabelecido não consegue reduzir suficientemente.

. A relação % TiO_2 / % Fe_2O_3 (RTIFE) no concentrado físico também se apresentou como importante, uma vez que depende (inversamente) desta relação a quantidade relativa da magnetita sintética (FERVALE) produzida na etapa de redução, afetando o rendimento mássico do concentrado final.

. A % MgO (MGOC) no concentrado final, mostrou forte correlação com a presença de ilmenita (é forte a presença de magnésio nas ilmenitas das chaminés alcalinas), tendo-se adotado esta variável como identificadora do minério ilmenítico. A ilmenita acompanha o anatásio em todo processamento, vindo diluir o concentrado final com teores mais elevados de FeO .

. Finalmente o % TiO_2 (TIO2C) no concentrado final como uma medida direta da qualidade do produto.

A separação dos tipos de minério pela ferramenta estatística de análise grupal obedeceu os seguintes critérios:

- Separação das amostras com o valor da variável STIFE abaixo de 60%, consideradas, para efeito de classificação, como tipo E.
- Separação das amostras em três grupos, considerando-se as variáveis RTIFE e TIO2C.

- 1º Grupo - com TIO2C menor que 77, tipo I
- 2º Grupo - com TIO2C maior que 77 e RTIFE maior que 2,5 - tipo B.
- 3º Grupo - TIO2C maior que 77 e RTIFE menor que 2,5.

- Separação em quatro tipos, o 3º grupo obtido da separação anterior, utilizando-se as variáveis MGOC e RTIFE.

1º Tipo - com MGOC maior que 0,17 e RTIFE maior que 1,35 - Tipo Y.

2º Tipo - com MGOC maior que 0,17 e RTIFE menor que 1,35 - Tipo Z.

3º Tipo - com MGOC menor que 0,17 e RTIFE maior que 0,92 - Tipo F.

4º Tipo - com MGOC menor que 0,17 e RTIFE menor que 0,92 - Tipo L.

Em resumo, os tipos separados e suas principais características foram:

- Tipo E - Estéril - baixo teor de concentrado e/ou baixo rendimento

- Tipo I - Ilmeníticos - baixo teor de concentrado, rendimento médio e presença marcante de Ilmenita.

- Tipo E - Bom - alto teor de concentrado, alto rendimento.

- Tipo Y - Fervale ilmenítico - bom teor de concentrado, rendimento médio, notável presença de ilmenita, e boa produção de magnetita sintética.

- Tipo Z - Limonítico ilmenítico - bom teor de concentrado, rendimento baixo, notável presença de ilmenita e alta produção de magnetita sintética.

- Tipo F - Fervale - alto teor de concentrado, rendimento médio e boa produção de magnetita sintética.

- Tipo L - Limonítico - alto teor de concentrado, rendimento baixo e alta produção de magnetita sintética.

Em um perfil típico, figura VI, pode-se ver nos planos horizontais e verticais o zoneamento do minério, onde se percebe os tipos com presença de ilmenita nos Espigões 1 e 2 e os tipos sem ilmenita no Espigão 4 e ainda a clara relação entre rendimento e profundidade.

3.5 Comprovação da Tipologia em Planta Piloto

Uma vez conhecidos os tipos de minério, foi necessário comprová-los em escala contínua e trabalhando com amostras de maior suporte. Para tal, foi executado um programa de testes com os minérios individualizados, tendo-se tratado cerca de 3.000t para cada um deles, após um planejamento criterioso de amostragem de grandes volumes, por tipo. Além do objetivo principal de se verificar o comportamento de cada um dos seis tipos, aproveitou-se para a

coleta de grandes massas de amostras de vários pontos do circuito, visando ensaios complementares de caracterização e de processos.

Na tabela I são apresentadas as análises químicas da alimentação da planta e dos concentrados finais, por tipo. Como pode ser observado, não ocorreu variações acentuadas de teores entre os tipos, em se tratando da alimentação (ROM), contudo pode-se notar as diferenças entre os diversos concentrados obtidos, como teores de TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , MgO e Th .

Na tabela II são apresentadas as mineralogias semi-quantitativas (difratometria de raios-x) para a alimentação e concentrado final.

Observa-se a maior presença de fosfatos secundários nos tipos ilmeníticos, na alimentação, e a diluição dos concentrados finais pela ilmenita, nestes mesmos tipos.

Os teores de Fe_2O_3 e MgO mais elevados para os tipos I, Z e Y deve-se exatamente à presença deste mineral e os teores de Th mais altos nos tipos I e Z são decorrentes da presença de minerais outros portadores deste elemento, tais como calzirtita e zirconita, além dos fosfatos secundários (rabdofana, crandalita, etc).

Finalmente, na tabela III, é apresentado um resumo da Tipologia de Tapira, com as principais variáveis geometalúrgicas, mostrando o seu aspecto multi-variável.

4. CONCLUSÕES

Através da geometalurgia, chegou-se pois a uma tipologia para o minério de Titânio de Tapira, calcada em variáveis geometalúrgicas.

Esta tipologia vem servindo de base para estudos adicionais de processo e o controle da lavra e estocagem por tipo de minério, o que virá facilitar sobremaneira a retomada do minério destas pilhas para a alimentação da Usina Industrial.

Contudo os trabalhos, dentro da concepção da geometalurgia, estão tendo prosseguimento, pretendendo-se chegar à definição dos BDL's

(mina e pilhas), de acordo com as variáveis geometalúrgicas e à parametrização multi-variável para estabelecimento dos reais teores de corte.

Face aos bons resultados obtidos com a geometalurgia nos estudos do minério de Tapira, a CVRD, juntamente com a PAA, decidiu aplicar a mesma metodologia no estudo do depósito de anatásio da chaminé alcalina de Salitre.

TABELA I - ANÁLISES QUÍMICAS DA ALIMENTAÇÃO E CONCENTRADO FINAL, POR TIPO

TIPOS	I	Z	Y	F	L	B
<u>ALIMENTAÇÃO</u>						
TI02	18.47	19.37	26.60	23.97	19.06	26.78
FE203	49.34	51.36	43.17	50.33	49.95	49.01
FE0	2.92	4.01	5.68	3.52	2.14	6.08
SI02	3.20	3.81	2.16	3.14	5.53	3.89
AL203	9.57	9.12	8.72	7.88	10.40	6.24
CAO t	0.82	0.71	0.44	0.66	0.58	1.45
CAO s	0.22	0.23	0.23	0.40	0.27	1.13
P205 t	6.82	5.89	4.56	4.68	4.69	4.25
P205 s	1.96	1.70	1.84	2.88	2.07	2.23
MGO	0.45	0.54	0.85	0.75	0.42	0.97
BAO	1.33	1.49	0.77	0.80	0.92	0.18
CE02	0.83	0.78	0.70	0.60	0.41	0.54
LA203	0.45	0.43	0.37	0.32	0.23	0.30
Y203	490	460	320	400	520	320
NB205	0.27	0.26	0.25	0.24	0.19	0.23
ZR02	0.52	0.43	0.31	0.49	0.70	0.29
U	<80	<80	<80	<80	<80	<80
TH	410	380	220	180	130	140
PF	7.07	7.25	6.07	6.68	8.12	5.55
<u>CONCENTRADO</u>						
TI02	75.71	79.19	80.50	83.85	84.52	87.24
FE203	16.18	13.22	13.37	8.55	7.37	4.88
FE0	7.78	5.74	5.53	2.91	1.79	0.76
SI02	0.67	0.79	0.64	1.11	1.48	1.68
AL203	1.12	1.36	1.14	1.41	1.38	1.87
CAO t	0.39	0.36	0.15	0.16	0.59	0.32
CAO s	0.14	0.07	0.13	0.07	0.08	0.09
P205 t	1.52	1.62	1.51	1.64	1.79	1.98
P205 s	0.52	0.67	0.41	0.28	0.48	0.30
MGO	0.55	0.37	0.46	0.22	0.13	0.08
BAO	0.09	0.08	0.10	0.10	0.08	0.05
CE02	0.32	0.28	0.25	0.24	0.27	0.33
LA203	0.08	0.06	0.07	0.07	0.09	0.10
Y203	140	140	<100	120	230	100
NB205	1.10	1.18	0.76	1.09	1.30	1.03
ZR02	1.25	1.26	0.74	0.88	1.00	0.43
U	160	180	150	170	180	150
TH	500	440	270	260	250	310
PF	0.92	0.48	1.04	0.35	0.63	0.37

TABELA II - MINERALOGIAS DA ALIMENTAÇÃO E DO CONCENTRADO FINAL, POR TIPO (DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X)

ALIMENTAÇÃO

MINERAL	TIPO					
	I	Z	Y	F	L	B
ANATÁSIO	20	20	26	32	11	28
MAGNETITA	2	5	8	8	2	10
ILMENITA	6	7	10	6	3	5
GOETHITA	48	50	34	31	60	30
MARTITA/HEMAT.	3	2	7	7	6	6
APATITA	-	-	-	-	-	-
CRANDALITA	14	13	12	11	9	7
QUARTZO	-	-	-	-	<1	1
RUTILO	1	1	1	<1	-	<1
CAULINITA	4	1	-	2	6	2
SMECTITA	-	-	-	-	-	-

CONCENTRADO FINAL

MINERAL	TIPO					
	I	Z	Y	F	L	B
ANATASIO	67	73	75	87	87	95
MAGNETITA	4	4	2	1	4	1
ILMENITA	20	15	17	8	6	1
GOETHITA	-	-	-	-	-	-
MARTITA/HEMAT.	-	-	-	-	-	-
APATITA	-	-	-	-	-	-
CRANDALITA	-	-	-	-	-	-
QUARTZO	-	<1	<1	<1	-	<1
RUTILO	7	5	3	1	<1	-
CAULINITA	-	-	-	-	-	-
SMECTITA	-	-	-	-	-	-

TABELA III - RESUMO DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS GEOMETALÚRGICAS, POR TIPO (MULTI-VARIÁVEIS)

	I	Z	Y	F	L	B
Espigão	1,2	1,2	1,2	3,4	3,4	3,4
Nível	INF	SUP	MED	MED	SUP	INF
Presença significativa Ilmenita	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Rendimento Massa (%)	6,0	4,7	7,9	6,2	4,3	9,1
Rendimento Massa em relação ao (B) (%)	68	51	91	68	48	100
TiO ₂	75,7	79,2	80,5	83,9	84,5	87,2
MgO concentrado	0,55	0,37	0,46	0,22	0,13	0,08
(U + Th) concentrado	660	620	420	430	430	460
P ₂ O ₅ concentrado	1,52	1,62	1,51	1,64	1,79	1,98
Teor Anatásio no concentrado (%)	67	73	75	87	87	95
Rendimento Massa após retirada ILM + MAG (%)	4,6	3,8	6,4	5,7	3,9	8,9
Rendimento Massa em relação a (B)	52	43	72	64	44	100
Consumo de Ácido em relação a (B) (%)	145	160	140	122	145	100
Consumo de carvão em relação a (B) (%)	160	180	160	190	190	100
MINERAIS ACESSÓRIOS	Ilmenita FS(TR, Ba, Al, Sr) - Zircônita Calcirritita Rutilo	Ilmenita FS(TR, Ba, Al, Sr) - Zircônita Calcirritita Rutilo	Ilmenita FS(TR, Ba, Al, Sr) - Zircônita Calcirritita Rutilo	(Ilmenita) FS(TR, Ba, Al, Sr) - - - -	- FS(TR, Ba, Al, Sr) - - - -	- FS (TR) Apatita - - -

Figura I - Perfil típico da jazida de Tapira

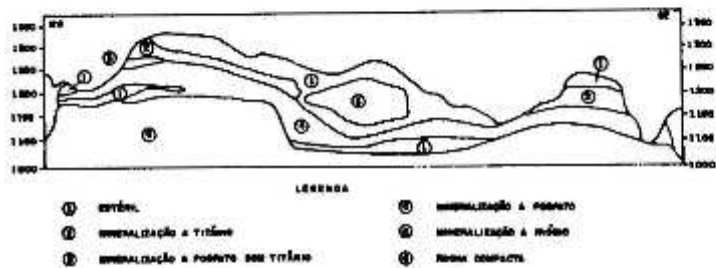
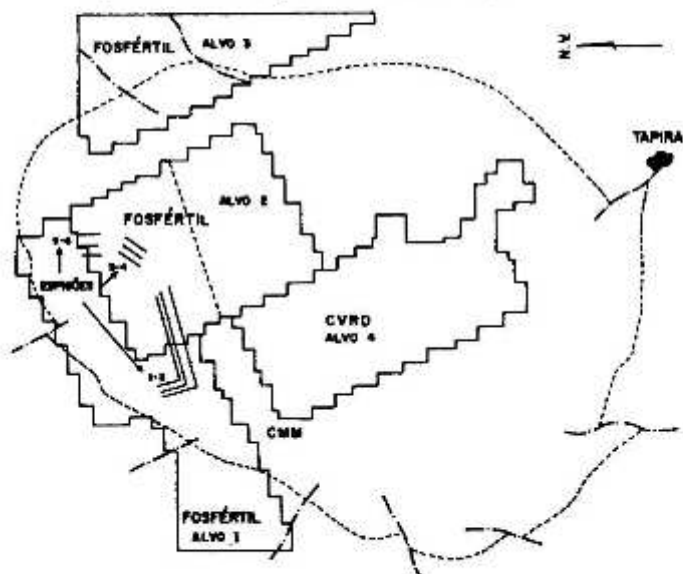


Figura II - Alvos Geológicos na Domo de Tapira



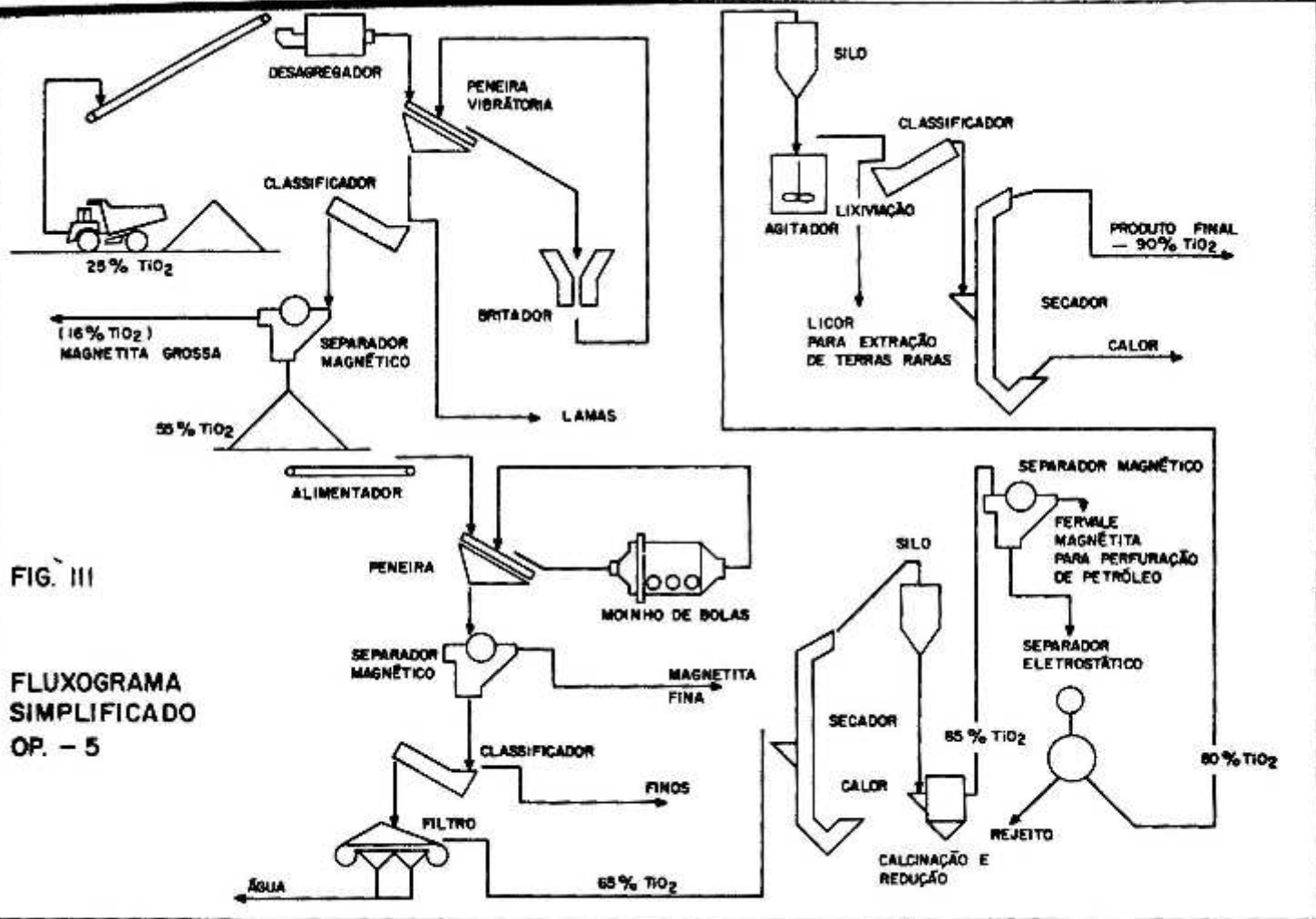


FIG. III
 FLUXOGRAMA
 SIMPLIFICADO
 OP. - 5

Figura IV - Sequência de etapas numa abordagem Geometalúrgica

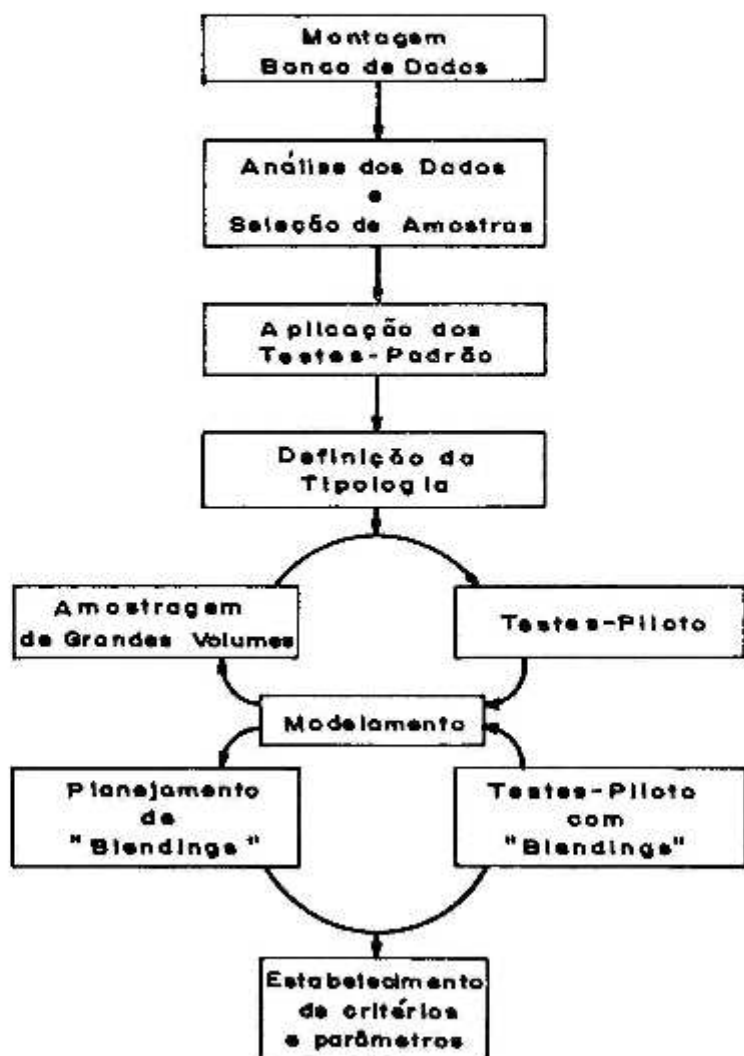


Figura V - Fluxograma esquemático para realização do TP (Teste Padrão)

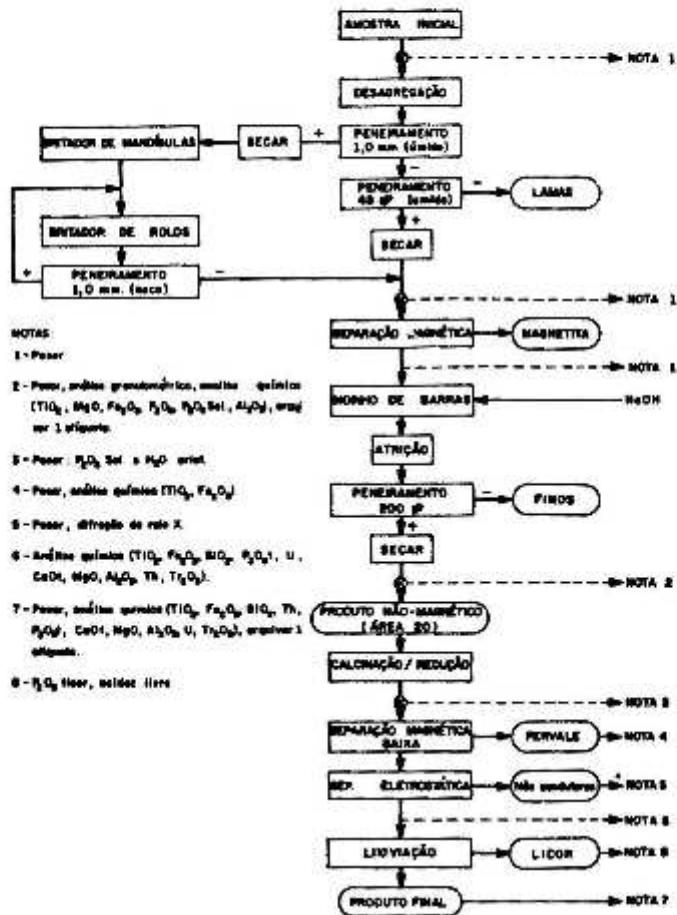


Figura VI - Perfil esquemático - Zona Titônio

