


MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA  
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL  
CONVÊNIO DNPM - CPRM

**PROJETO  
FLOTACÃO DE CIANITA  
DE MINAS GERAIS**  
**RELATÓRIO FINAL**

PHL 13341

 CPRM	<b>SUREMI</b> SEDOTE
ARQUIVO TÉCNICO	
Relatório n.º	632.5
N.º de Volumes:	1 V.º

*Tulio H. Araya, Luco  
Ivan Q. de C. Masson*



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS  
DIRETORIA DA AREA DE PESQUISAS  
SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS MINERAIS  
DEPARTAMENTO DE PESQUISA MINERAL  
DIVISÃO DE TECNOLOGIA MINERAL  
RIO DE JANEIRO - R.J

1977

# PROJETO FLOTAÇÃO DE CIANITA DE MINAS GERAIS

**Coordenador do Projeto**

*Tulio H. Araya Luco*

**Chefe do Projeto**

*Ivan O. de C. Masson*

**Equipe Executora**

*Ivan O. de C. Masson*

*Tulio H. Araya. Luco*

**Colaboração Especial**

*Fernando F. Lins*

*José Farias de Oliveira*

*Ney H. Porphirio*

# PROJETO FLOTAÇÃO DE CIANITA DE MINAS GERAIS

## RELATÓRIO FINAL

### ÍNDICE DO VOLUME

	Pág.
I - INTRODUÇÃO	1
II - REVISÃO DA LITERATURA	3
III - OBSERVAÇÕES PETROGRÁFICAS	5
IV - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA	9
1. Composição Mineralógica	
2. Composição Química	
3. Estudo de Liberação	
4. Estudo de Moagem	
5. Distribuição da Cianita	
V - TESTES DE BENEFICIAMENTO	20
1. Flotação	
2. Meio Denso	
3. Mesagem	
VI - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	31
1. Flotação	
2. Meio Denso	
3. Mesagem	
VII - CONCLUSÕES	71
VIII - RECOMENDAÇÕES	73
IX - BIBLIOGRAFIA	74
X - ANEXO	76
1. Fotomicrografias das lâminas delgadas	



RESUMO

## RESUMO

Para a execução do Projeto, foram coletadas amostras de minérios nos Municípios de Mateus Leme (Fazenda Boa Esperança e Fazenda Taquaral) e Diamantina (Caxambu e Quinta de Santana). Após estudos petrográficos iniciais, escolheu-se o minério da Fazenda Boa Esperança para ensaios de caracterização tecnológica e de beneficiamento, envolvendo as técnicas de concentração por mesagem, meio denso e flotação.

O minério escolhido, apresentando um teor de cianita de 54 % e tendo como impurezas principais pirofilita, talco, mica e quartzo, foi submetido a estudos de moagem e liberação que indicaram que a cianita está liberada em 35 malhas; por outro lado, determinou-se que a classificação em 200 malhas, após moagem, permitiria elevar o teor da cianita na fração + 200 malhas, para 69 %.

As técnicas de beneficiamento por mesagem e meio denso mostraram-se inadequadas, bem como a flotação direta da cianita em circuitos ácido e alcalino,

A técnica de flotação inversa, flotar a ganga no sentido de purificar a cianita remanescente, apresentou-se como uma alternativa tecnicamente viável, sendo portanto adotada. Foram testados diversos tipos de coletores, modificadores de pH e espumantes, em distintos valores de pH de flotação e densidade de polpa.

Os melhores resultados foram obtidos utilizando-se um sistema de reagentes composto por acetato de dodecil-amina e óleo diesel

como coletores, CaO como modificador de pH e Dow Froth 250 como espumante.

Em testes de flotação cruzada, simulando um circuito contínuo, realizados em pH = 10,5, obteve-se um concentrado com teor de 97% de cianita e 71% de recuperação. O cone pirométrico equivalente (PCE) do produto correspondeu ao cone Orton nº 37 (1820º C).

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 - Distribuição granulométrica do minério em função do tempo de moagem.	14
FIGURA 2 - Distribuição da cianita em função do tempo de moagem.	17
FIGURA 3 - Grau de liberação da cianita em função do tempo de moagem. Distribuição da cianita, na fração -200 malhas, em função do tempo de moagem.	19
FIGURA 4 - Fluxograma da flotação da ganga em etapas.	25
FIGURA 5 - Fluxograma da flotação da ganga, simulando um circuito contínuo, utilizando CaO como modificador de pH.	29
FIGURA 6 - Fluxograma da flotação da ganga, simulando um circuito contínuo, utilizando $\text{Na}_2\text{CO}_3$ como modificador de pH.	30
FIGURA 7 - Relação entre teor do concentrado e recuperação da cianita, utilizando $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ e ácido láctico como depressor da ganga.	44
FIGURA 8 - Relação entre teor do concentrado e recuperação da cianita, na flotação da ganga usando diversos espumantes.	47
FIGURA 9 - Relação entre teor do concentrado e recuperação da cianita, em função do tempo de flotação (flotação sequencial).	51

- FIGURA 10 - Relação entre teor do concentrado e recuperação da cianita, em função do tempo de flotação, utilizando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como modificador de pH. 52
- FIGURA 11 - Relação entre teor do concentrado, rejeito e recuperação em função das etapas de concentração e quantidades de reagentes adicionados, utilizando CaO e 14% de sólidos na flotação. 57
- FIGURA 12 - Relação entre o teor do concentrado, rejeito e recuperação em função das etapas de concentração e quantidades de reagentes adicionados, utilizando CaO e 28% de sólidos na flotação. 58
- FIGURA 13 - Relação entre o teor do concentrado, rejeito e recuperação em função das etapas de concentração e quantidades de reagentes adicionados, usando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e 14% de sólidos na flotação. 59
- FIGURA 14 - Relação entre o teor do concentrado, rejeito e recuperação em função das etapas de concentração e quantidades de reagentes adicionados, usando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e 28% de sólidos na flotação. 60
- FIGURA 15 - Balanço de massa do beneficiamento da cianita por flotação, utilizando CaO como modificador de pH. 63



- FIGURA 16 - Balanço de massa do beneficiamento da cianita por flo  
tação, utilizando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como modificador de pH. 64
- FIGURA 17 - Concentração por meio denso. Relação entre os teores  
da alimentação e concentrados e recuperação parcial e  
total da cianita. 68
- FIGURA 18 - Balanço de massa do beneficiamento da cianita por meio  
denso. 69
- FIGURA 19 - Balanço de massa do beneficiamento da cianita por mesa  
gem. 70

LISTA DE TABELAS

	Pág.
TABELA 1 - Composição mineralógica do minério estudado.	09
TABELA 2 - Composição química do minério.	10
TABELA 3 - Distribuição do minério em função do tempo de moagem.	13
TABELA 4 - Distribuição da cianita em função do tempo de moagem.	16
TABELA 5 - Flotação da cianita, com oleato de sódio e MIBC, após prévia lavagem com atrição em meio alcalino.	42
TABELA 6 - Flotação da cianita, com TRO e MIBC, após prévia lavagem com atrição em meio ácido.	42
TABELA 7 - Flotação da cianita, com $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ como depressor da ganga, após prévia lavagem com atrição em meio ácido.	43
TABELA 8 - Flotação da cianita, com ácido láctico como depressor da ganga, após prévia lavagem com atrição em meio ácido.	45
TABELA 9 - Flotação inversa com diversos espumantes.	46
TABELA 10 - Flotação com acetato de dodecil amina (D.A.A.), em diversos pH.	48
TABELA 11 - Flotação sequencial da ganga com D.A.A., CaO e sólidos na flotação de 14 e 28 %.	49

TABELA 12 - Flotação sequencial da ganga com D.A.A., $\text{Na}_2\text{CO}_3$ e sólidos na flotação 14 e 28 %.	50
TABELA 13 - Flotação inversa por etapas, em testes de bancada. Percentagem de sólidos na flotação 14 % e CaO como <u>mo</u> dificador de pH.	53
TABELA 14 - Flotação inversa por etapas, em testes de bancada. Percentagem de sólidos na flotação 28 % e CaO como <u>mo</u> dificador de pH.	54
TABELA 15 - Flotação inversa por etapas, em testes de bancada, com 14 % de sólidos na flotação e $\text{Na}_2\text{CO}_3$ como <u>modifi</u> cador de pH.	55
TABELA 16 - Flotação inversa por etapas, em testes de bancada, com 28 % de sólidos na flotação e $\text{Na}_2\text{CO}_3$ como <u>modifi</u> cador de pH.	56
TABELA 17 - Flotação da ganga, simulando um circuito contínuo, com 14 % de sólidos na flotação e CaO como modifica- dor de pH.	61
TABELA 18 - Flotação da ganga, simulando um circuito contínuo, com 14 % de sólidos na flotação e $\text{Na}_2\text{CO}_3$ como <u>modifi</u> cador de pH.	62
TABELA 19 - Composição química do concentrado final.	38
TABELA 20 - Concentração da cianita por meio denso.	65

	Pág.
TABELA 21 - Concentração da cianita por mensagem.	66
TABELA 22 - Resumo dos dados de concentração por meio denso.	67
TABELA 23 - Resumo dos dados de concentração por mensagem.	67

I - INTRODUÇÃO

## I - INTRODUÇÃO

As principais reservas de cianita existentes no Brasil encontram-se localizadas no Estado de Minas Gerais; constituem-se de jazimentos relativamente pequenos em que a cianita apresenta-se, predominantemente, com impurezas disseminadas.

Atualmente, o aproveitamento da cianita, é feito através de lavra rudimentar, sendo o beneficiamento executado apenas por seleção manual dos blocos em que a cianita se apresenta relativamente pura. A utilização destas técnicas inadequadas acarreta altas perdas e implica, consequentemente, no esgotamento prematuro das reservas deste bem mineral.

A produção atual de cianita não chega a atender metade do consumo interno, obrigando as indústrias dos setores de cerâmica, refratários e vidros a ter, como alternativa, que realizar sucessivas e crescentes importações ou retirar de suas linhas de produção regular materiais à base de cianita.

Embora o País não disponha de grandes reservas deste mineral, é imperioso que um processo de concentração de cianita seja definido, de modo a justificar investimentos no sentido de mecanização da lavra. Assim, a exploração racional dos jazimentos conhecidos permitiria, de imediato, suprir a demanda interna e economizar divisas para o País.

Com esta finalidade o Departamento Nacional da Produção Mineral solicitou à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais a execução de

estudos de viabilidade técnica do aproveitamento de minérios de cianita existentes no Estado de Minas Gerais.

Os trabalhos foram desenvolvidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, através da Divisão de Tecnologia Mineral, que para tal objetivo coletou amostras de minérios de cianita existentes nas localidades de Fazenda Boa Esperança, Fazenda Taquaral, Quinta de Santana e Fazenda Caxambu; situando-se as duas primeiras no Município de Mateus Leme e as duas últimas no Distrito de Gouveia, Município de Diamantina.

Após caracterização mineralógica das amostras coletadas, optou-se por desenvolver estudos de beneficiamento do minério de cianita da localidade da Fazenda Boa Esperança, por suas características mineralógicas peculiares, não constando na literatura técnica nenhum estudo de beneficiamento de minério com ganga formada principalmente por pirofilita e talco.

Os estudos de beneficiamento visaram à obtenção de concentrados de cianita com as especificações exigidas pelo mercado consumidor.

II - REVISÃO DA LITERATURA



## II - REVISÃO DA LITERATURA

A maior parte da cianita produzida no mundo é utilizada para a produção de mullita sintética, material este que por ter excelentes propriedades refratárias é empregado como revestimento de fornos nas indústrias metalúrgica, vítrea e cerâmica, sendo, no último caso, usada também na fabricação de moldes e outras peças à base de mullita. Pequenas quantidades de cianita são utilizadas como fonte de alumina, na manufatura de vidros, porcelanas elétrica e química, tubos pirométricos e para aumentar o teor de alumina de argilas refratárias; sendo usada também para melhorar a trabalhabilidade, aumentar a resistência e compensar contrações em peças cerâmicas.

Uma revisão na literatura específica sobre o assunto, indica que para fins de produção de concentrados de cianita a flotação é o processamento mais comum, uma vez que os minérios de cianita apresentam-se, com impurezas disseminadas, implicando numa liberação em granulometria relativamente fina.

Observa-se contudo que os tipos de minério de cianita comumente processados são aqueles cuja genga consiste principalmente de quartzo. Estes minérios têm, portanto, recebido grande atenção, e parece não constituir maiores problemas o seu beneficiamento. Minérios quartzíticos de cianita têm sido concentrados por flotação, tanto em circuito ácido como alcalino. O emprego de hidrociclone com meio denso tem sido proposto para a obtenção de concentrados de cianita de elevado teor.

Estudando a recuperação da cianita e da sillimanita, a partir de rejeitos de usinas de beneficiamento de zircônio - constituídos por cianita, sillimanita, zircônio quartzo - Browning, Clemons e McVay<sup>(13)</sup>, alcançaram resultados promissores. Em circuito alcalino, usando ácido oleico e silicato de sódio, obtiveram concentrado com 93 % de teor e recuperação de 71 %; a utilização de um circuito ácido, envolvendo Petroblend 562 e ácido fluorídrico, resultou num concentrado um teor de 95 % e recuperação de 80 %.

Em testes de flotação contínua, em escala piloto, Browning e Bennett<sup>(17)</sup> determinaram ser tecnicamente viável a concentração da cianita a partir de minérios quartzíticos de cianita, constituídos basicamente por cianita, quartzo e argilas. Ácido sulfúrico e um sulfonato de petróleo foram os reagentes utilizados; o teor do concentrado obtido e a recuperação alcançada foram, respectivamente, 95 % e 87 %.

Combinando circuitos de concentração gravimétrica e de flotação, Rule e McClain<sup>(18)</sup> beneficiaram minérios quartzíticos com 21 % de cianita. O circuito de flotação envolveu a utilização de ácido láctico e uma emulsão de ácido oleico, óleo combustível e um sulfonato de petróleo; o concentrado apresentou um teor de até 90 % de cianita e uma correspondente recuperação de 63 %.

Concentrados com teores de até 99 % de cianita e recuperações elevadas, em torno de 97 %, foram conseguidos por Llewelly e Browning<sup>(19)</sup>, a partir de minérios constituídos principalmente por cianita e quartzo, com o emprego de hidrociclone com meio denso (tetrabromoetano).

III - OBSERVAÇÕES PETROGRÁFICAS

### III - OBSERVAÇÕES PETROGRÁFICAS

As quatro amostras coletadas foram analisadas macroscópica e microscopicamente apresentando os seguintes resultados:

#### 1. Minério de cianita de Quinta de Santana, Diamantina

Examinando as amostras macroscopicamente, verificou-se que são constituídas quase que exclusivamente de cristais prismáticos e alongados de cianita, formando feixes de forma mais ou menos triangulares, ocorrendo nos interstícios cristais aglomerados de quartzo. Em quantidades muito pequenas aparecem aglomerados maciços de pirofilita associado ao talco e com inclusões granulares de óxido de ferro (magnetita).

Nas lâminas delgadas de grão, observou-se ao microscópio a presença de cristais prismáticos de cianita, pleocróicos e com clivagens características, lamelas micáceas brancas associadas aos opacos (magnetita e limonita). Mais raramente foram encontrados microcristais automórficos de turmalina.

#### 2. Minério de cianita de Caxambu, Diamantina

As amostras provenientes de Caxambu são bastante semelhantes as de Quinta de Santana, salientando-se apenas uma maior quantidade

de quartzo, que em geral ocorre em aglomerados intersticiais.

Nestas amostras assinalam-se trechos onde os cristais de quartzo estão impregnados por minerais de óxido de ferro, provavelmente hematita, bem como aglomerado pirofilíticos; talco e grãos de opacos (magnetita) são escassos.

### 3. Minério de cianita de Taquaral, Mateus Leme.

Observação macroscópica mostra a cianita em cristais prismáticos e azulados, de tamanhos variados e distribuídos em direções diversas.

Em lâmina delgada vê-se uma textura hetero-granuloblástica, com algumas feições de ter sofrido esforços dinâmicos, ocorrendo os cristais de cianita prismáticos e bem desenvolvidos, às vezes evidenciando alterações para microaglomerados pirofilíticos ao longo de suas fraturas. Mais raramente a cianita exhibe inclusões de grãos de opacos.

O quartzo mostra-se em cristais xenomórficos; observa-se a presença de alguns aglomerados de formas irregulares de grãos de quartzo, associados a microlamelas orientadas de mica branca e com inclusões de diminutos grãos de rutilo. Assinala-se o aparecimento de cristais disformes, provavelmente de feldspato, não geminados, exibindo inúmeras micro-inclusões de lamelas micáceas incolores. Em quantidades muito pequenas são encontrados aglomerados muscovíticos, às vezes parcialmente cloritizados.

#### 4. Minério de cianita de Boa Esperança, Mateus Leme.

Macroscopicamente apresenta cristais desenvolvidos de cianita, bandas escuras e irregulares de turmalina, aglomerados de pirofilita e, mais raramente, de quartzo. Ao microscópio, são vistos cristais prismáticos de cianita, um pouco fragmentados e em geral constituindo aglomerados sob a forma de feixes, em cujos interstícios assinalam-se a presença de aglomerados pirofilíticos; observa-se, em alguns cristais de cianita, boas evidências de alterações para pirofilita e, com menos frequência, para muscovita. A cianita exhibe inclusões de diminutos grãos de rutilo. O quartzo apresenta-se ora como cristais xenomórficos isolados e ora como aglomerados intersticiais de formas irregulares. Em pequenas quantidades são vistos grãos de minerais opacos.

As fotomicrografias das lâminas delgadas (Anexo, pág. 76) tomadas com aumento 15,62 X, mostram em forma clara a constituição mineralógica do minério.

Ao microscópio são observados cristais prismáticos de cianita (foto 1), um pouco fragmentados e em geral constituindo aglomerados sob a forma de feixes, observando-se ainda, nestes cristais de cianita, boas evidências de alterações periféricas para aglomerados microlamelares pirofilíticos e, com menos frequência, para cristais lamelares de muscovita. Assinala-se ainda aglomerados quartzosos de cristais xenomórficos e com extinção ondulante acentuada.

Muitos dos cristais de cianita exibem inúmeras inclu-

ões microgranulares de rutilo em cor amarronzada escura (foto 2).

Nos interstícios deixados pelos cristais desenvolvidos de cianita são encontrados aglomerados pirofilíticos (foto 3) e aglomerados maciços de talco lamelar (foto 4).

O quartzo apresenta-se ora como cristais disformes isolados (fotos 3 e 4) e ora como aglomerados intersticiais de formas irregulares. Observa-se ainda, a presença de turmalina, ocorrendo em determinadas áreas da amostra, sob a forma de aglomerados associados as lamelas de talco secundário (foto 4). Em pequena quantidade observa-se grãos de minerais opacos.

As análises de cianita, determinadas por separação em líquido denso das quatro amostras coletadas, apresentaram os seguintes resultados:

Minério	Teor de Cianita ( % )
Quinta de Santana .....	62,2
Caxambu .....	63,7
Taquaral .....	53,3
Boa Esperança .....	56,3

#### IV - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Com vistas aos estudos de beneficiamento, da etapa subseqüente, procedeu-se a uma caracterização tecnológica do minério de Mateus Leme (Boa Esperança), incluindo a determinação da composição mineralógica percentual, análise química completa, estudos da liberação, moagem e distribuição da cianita nas diversas frações granulométricas.

##### 1. Composição Mineralógica

A tabela nº 1, abaixo, apresenta a composição mineralógica do minério em questão, estimada a partir dos resultados obtidos através de separação em líquido denso, contagem microscópica e análise química.

Minerais	% em peso
Cianita .....	54,0
Pirofilita + Talco + Muscovita .....	21,5
Quartzo .....	15,0
Turmalina .....	2,1
Rutilo .....	2,9
Hematita .....	1,4
Outros .....	3,1

Tabela nº 1 - Composição mineralógica da amostra.



Observa-se que a cianita representa mais de 50 % da amostra, em peso, e a ganga é formada por pirofilita, talco, mica, quartzo e, em menor quantidade, turmalina, rutilo, hematita e outros.

## 2. Composição Química

Uma análise química completa da amostra apresentou os resultados expostos na tabela nº 2, abaixo.

Compostos	% em peso
SiO <sub>2</sub> .....	50,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	39,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	1,4
TiO <sub>2</sub> .....	2,9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,34
Na <sub>2</sub> O .....	0,57
K <sub>2</sub> O .....	1,78
CaO .....	0,6
MgO .....	0,5
Perda ao fogo .....	1,9
Outros .....	1,82

Tabela nº 2. - Composição química da amostra.

Devido às características do minério, onde todos os minerais identificados, à excessão do rutilo e da hematita, são compostos silicatados, e mais ainda, alguns deles, tais como cianita e a pirofilita são alumínio-silicatados, a execução apenas de análises químicas quantitativas é insuficiente para a determinação tanto do teor da cianita como dos minerais da ganga.

Assim sendo, com base na diferença de peso específico existente entre esses distintos minerais, adotou-se a técnica de separação dos mesmos em líquido denso, de modo a estimar os seus teores. Os resultados assim obtidos, combinados com aqueles oriundos das análises químicas, permitiram determinar a composição mineralógica da amostra.

Para fins de caracterização mineralógica, a separação em líquido denso foi feita utilizando a técnica de separação em gradiente de densidade a partir dos reagentes iodeto de metileno e N-N-dimetil-formamaida. Quando dos testes de beneficiamento, o teor da cianita nos diversos produtos obtidos foi determinado apenas pela técnica de separar a cianita da ganga em iodeto de metileno ( $d = 3,31$ ).

Deste modo, não se levou em consideração as diminutas quantidades de rutilo, que por estar incluso na cianita de forma finamente disseminada ou por apresentar peso específico maior que a cianita, vai tembém para a fração afundada.

Apesar desta limitação, o método mostrou-se eficiente. Análises químicas realizadas, permitiram estimar-se em 1 a 2 % o erro do método na dosagem dos concentrados finais.

### 3. Estudo de Liberação

A partir de exames microscópicos de lâminas de grãos, determinou-se a liberação da cianita na amostra. Abaixo de 35 malhas encontra-se praticamente liberada da ganga, com exceção de parte do rutilo que permanece como inclusão, mesmo em granulometria inferior a 200 malhas; rutilo e minerais opacos tendem a concentrar-se nas frações mais finas.

### 4. Estudo de Moagem

Objetivando determinar o tempo de moagem necessário para atingir a malha de liberação, foram executados quatro testes de moagem em escala de laboratório e realizadas análises granulométricas dos produtos obtidos. A tabela nº 3 (pág. 13), apresenta a percentagem de passante do minério britado a menos de 10 malhas, utilizado como alimentação nos testes de moagem, bem como a dos produtos obtidos em distintos tempos de moagem.

A figura nº 1 (pág. 14), elaborada com base nos valores da tabela nº 3 (pág. 13), mostram, em escala log-log, a relação entre a percentagem de passante das distintas malhas e o tempo de moagem. Este gráfico é muito útil, pois com ele se pode determinar o tempo de moagem necessário para obter um produto de granulometria desejada.

	Malhas	Tempo de Moagem (minutos)				
		0	4	6	8	10
Porcentagem de Minério Passante	200	15,03	28,00	32,11	35,82	41,80
	150	19,09	35,27	40,95	44,93	52,50
	100	23,72	44,03	51,11	56,62	65,22
	65	31,16	58,31	66,77	75,26	84,28
	48	37,97	73,04	81,58	88,31	94,14
	35	45,85	87,07	92,83	96,25	98,36
	28	56,93	96,86	98,42	99,21	99,55
	20	67,83	99,51	99,70	100,00	100,00
	14	81,44	100,00	-	-	-
	10	97,32	100,00	-	-	-

Tabela nº 3 - Resultados obtidos nos testes de moagem. O tempo zero de moagem, refere-se ao minério britado abaixo de 10 malhas e utilizado como alimentação nos testes de moagem.

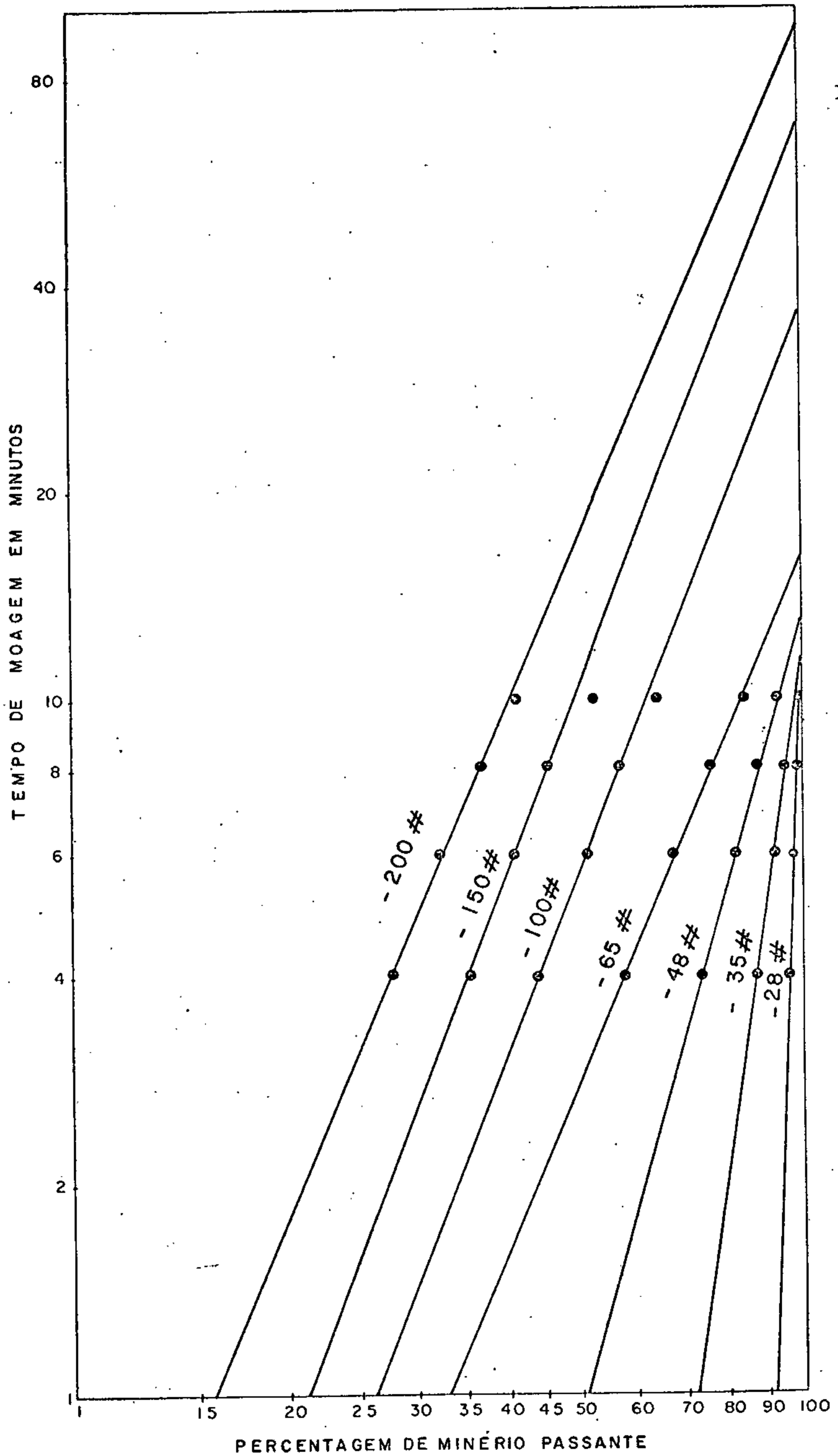


Fig. N<sup>o</sup> 1 : Distribuição do minério de cianita em função do tempo de moagem

IV - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Cada teste de moagem foi executado com uma carga de 500 gramas de minério, já britado a menos 10 malhas, em um moinho de barras de laboratório, confeccionado em aço. Os tempos de moagem escolhidos foram de 4, 6, 8 e 10 minutos.

As características do moinho e as condições adotadas nos testes foram as seguintes.

Dimensões internas do moinho (cm): .....	15,5 x 30,6
Dimensões das barras (cm): .....	2,4 x 29,5
Número de barras: .....	6
Percentagem de sólidos na moagem: .....	66
Velocidade de rotação do moinho ( r. p. m. ): .....	87

### 5. Distribuição da Cianita

Assim após a moagem, os produtos obtidos foram classificados em diversas faixas granulométricas e o teor de cianita determinado por separação em meio de líquido denso (I. M.,  $d = 3,3$ ), sendo a seguir calculada a distribuição da cianita, tabela nº 4. (pág.16 ). Foram consideradas as frações 10/28, 28/65, 65/200 e menos 200 malhas, obtidas com diferentes tempos de moagem. Estes resultados são apresentados de forma gráfica na figura nº 2 (pág. 17), que representa a distribuição da cianita em função da granulometria e de acordo com tempo de moagem.

Observa-se que um aumento no tempo de moagem resulta em maior quantidade de cianita na fração - 200 malhas; figura nº 3, curva

Moagem	Faixa Granulométrica				Alimentação
	10/28	28/65	65/200	- 200	
Minutos: 4					
Peso %	3,97	35,77	32,15	28,11	100,00
Teor	95,00	76,50	62,50	18,80	56,50
Distribuição %	6,68	48,43	35,56	9,33	100,00
Moagem					
Minutos: 6					
Peso %	1,43	27,43	38,87	32,27	100,00
Teor	99,00	80,03	70,00	18,38	56,50
Distribuição %	2,51	38,84	48,16	10,49	100,00
Moagem					
Minutos: 8					
Peso %	0,59	18,87	43,92	36,62	100,00
Teor	99,00	98,50	70,50	20,40	56,50
Distribuição	1,04	31,90	54,80	12,26	100,00
Moagem					
Minutos: 10					
Peso %	0,26	12,09	45,36	42,29	100,00
Teor	100,00	99,00	70,10	29,60	56,50
Distribuição	0,46	21,18	56,20	22,16	100,00

Tabela nº 4 - Distribuição parcial da cianita. A alimentação refere-se ao minério britado abaixo de 10 malhas.



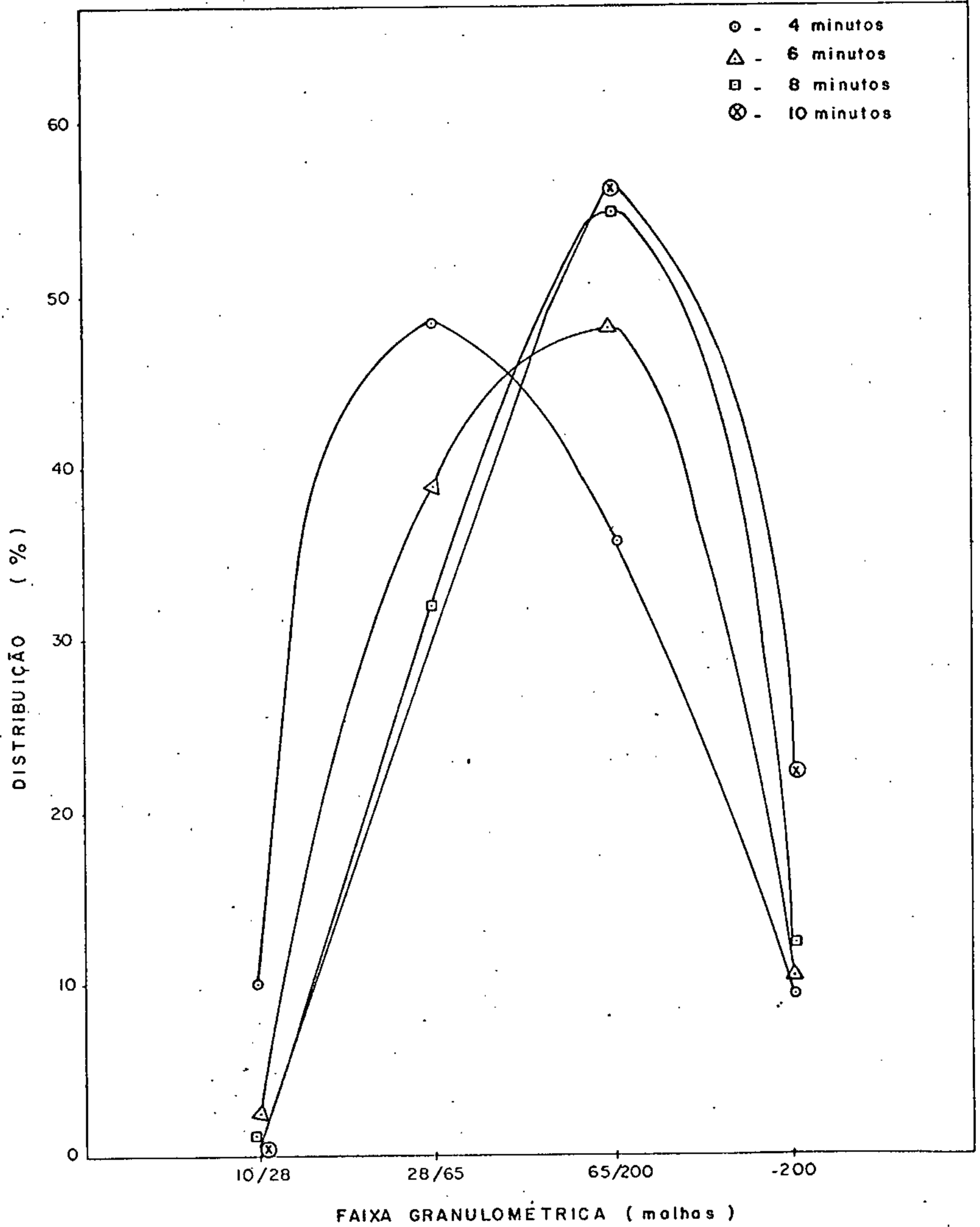


Fig. N<sup>o</sup> 2 : Distribuição parcial da cianita em função do tempo de moagem

II (pág.19). A curva I do mesmo gráfico relaciona a percentagem de material - 35 malhas com o tempo de moagem, e deste modo o grau de liberação da cianita, uma vez que de acordo com os estudos de caracterização mineralógica, a liberação da cianita é obtida abaixo de 35 malhas.

A composição mineralógica do minério, indica que entre os principais constituintes da ganga encontram-se pirofilita, talco e micas, cujas propriedades físicas, de dureza e peso específico, diferem muito daquelas da cianita; enquanto a cianita apresenta faixa de dureza de 4 a 7, aqueles possuem de 1 a 1,5. Quanto aos pesos específicos tem-se 3,6 para cianita e 2,8 para a ganga.

Esta diferença de propriedades implica numa fragmentação diferencial destes minerais quando submetidos à moagem, acarretando a segregação da maior parte da pirofilita, talco e mica para as faixas granulométricas mais finas, por conseguinte, concentrando a cianita nas frações mais grossas.

Tendo em vista a obtenção de alimentações adequadas aos testes de flotação, optou-se por um tempo de moagem de 6 minutos, de modo a ter-se cerca de 93 % do minério abaixo de 35 malhas, o que corresponde a aproximadamente 10 % da cianita na fração abaixo de 200 malhas, cujo teor se eleva de 56 % para cerca de 70 %.

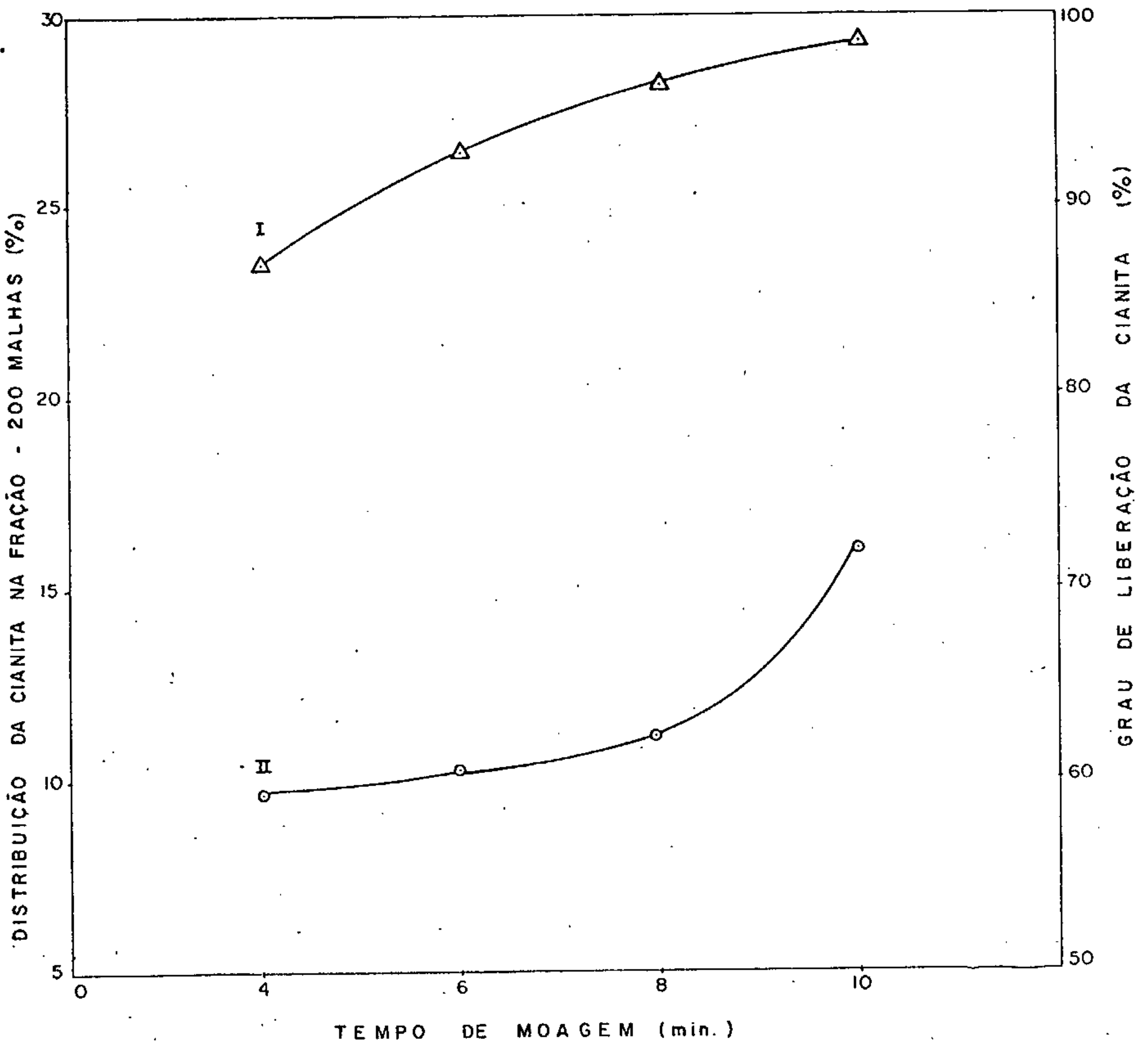


Fig. N° 3: Curva I - Grau de liberação da cianita em função do tempo de moagem.

Curva II - Distribuição da cianita na fração - 200 malhas, em função do tempo de moagem.

V - TESTES DE BENEFICIAMENTO DA CIANITA

## V - TESTES DE BENEFICIAMENTO DA CIANITA

### Flotação Direta e Inversa

Dentro do planejamento estabelecido para os testes de flotação, com diversos tipos de coletores e depressores, verificou-se, de imediato, a necessidade da inclusão de uma operação de classificação anterior à flotação.

Assim, nos testes seguintes, o minério foi moído e classificado em 200 malhas, sendo a fração superior a 200 malhas utilizada como alimentação da flotação e a fração inferior a 200 malhas considerada rejeito. Contudo, a pouca sensibilidade da ganga em relação aos depressores testados mostrou a grande dificuldade de flotar diretamente a cianita.

Optou-se então por estudar a fundo a flotação inversa, isto é, a flotação da ganga no sentido de obter a purificação da cianita remanescente. Como nos testes anteriores, o minério foi sempre deslamado a 200 malhas.

Os estudos efetuados envolveram experimentos com vários tipos de coletores e espumantes, bem como dois tipos de modificadores de pH. O tempo ótimo de flotação, a quantidade de reagentes e o pH de flotação foram determinados.

Uma vez que a técnica da flotação inversa apresentou-se efetiva para a concentração da cianita, testes objetivando a obtenção de

um concentrado de alto teor de cianita foram executados. Finalmente, foram realizados testes de flotação cruzada, simulando um circuito contínuo de flotação.

Para a realização dos testes de flotação, nos quais se utilizou como alimentação apenas a fração com granulometria acima de 200 malhas, a seguinte sequência foi seguida:

Uma carga de 500 gramas do minério com granulometria a menos de 10 malhas, foi moída em moinho de barras, numa percentagem de sólido de 66 %, durante 6 minutos. O produto obtido foi classificado em 200 malhas, sendo a fração com granulometria inferior descartada; a perda de cianita nesta fração é da ordem de 10 %, com uma correspondente redução de massa da ordem de 30 %. A fração acima de 200 malhas, foi colocada numa célula de flotação, tipo Fagergreen, e diluída até alcançar o valor de densidade de polpa estabelecido para o teste; a seguir, após ajuste do pH, foi condicionada por um período entre 5 a 10 minutos com os reagentes de flotação. O tempo de flotação adotado foi de 6 minutos.

## 1. Flotação Direta

- 1.1 - Após lavagem com atrição (scrubbing) em meio ácido e alcalino e utilizando-se oleato de sódio e sulfonatos.

Estes testes visaram a verificar o efeito da operação de lavagem com atrição sobre a flotação da cianita. Nesta operação, a polpa do

minério, a 50 % de sólidos, foi condicionada, no caso do circuito ácido, com  $H_2SO_4$  em valor de pH em torno de 2,0 e com NaOH, ao se utilizar um circuito alcalino, em valor de pH de aproximadamente 14,0. Finda esta operação, para efeito de flotação, a polpa foi diluída a 14 % de sólidos e condicionada com os reagentes de flotação.

Para a flotação em circuito ácido, a polpa foi condicionada em pH 3,0. Silicato de sódio e metil isobutil carbinol (MIBC) foram utilizados, respectivamente, como depressor da ganga e espumante; como coletores da cianita, utilizou-se os reagentes comercialmente conhecidos por Red Oil Turkey (um óleo de castor sulfonado) e AC-825 (um sulfonato de petróleo).

Para o teste de flotação em circuito alcalino a polpa, após lavagem com NaOH, foi diluída a 14 % de sólidos e condicionada em pH 10,0. Os reagentes utilizados foram silicato de sódio, MIBC e oleato de sódio, respectivamente, depressor da ganga, espumante e coletor da cianita.

1.2 - Após lavagem com atrição e utilizando-se  $Na_2SiO_3$  e ácido láctico como depressores da ganga

Após lavagem com ácido sulfúrico a polpa, a seguir, foi condicionada em pH em torno de 3,0. Os reagentes utilizados foram  $Na_2SiO_3$  ou ácido láctico, Red Oil Turkey, AC-825 e o espumante óleo de pinho.

O silicato de sódio foi testado desde zero até 1,3 lb/t, e o ácido láctico desde 0,2 até 2,0 lb/t.

## 2. Flotação Inversa

### 2.1 - Utilizando-se somente espumantes

Uma vez verificada a inviabilidade técnica em flotar a cianita, realizou-se experimentos com diversos espumantes e querosene, tendo em vista a flotação da ganga. Os espumantes testados foram óleo de pinho, ácido cresílico, metil isobutil carbinol (MIBC) e Dow Froth 250 (DF 250). A quantidade utilizada foi 0,5 lb/t de espumante e 0,2 lb/t de querosene, pH 9,6 regulado com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , e percentagem de sólidos de 14 %.

Com base nos resultados obtidos, Dow Froth 250 foi escolhido como o espumante a ser utilizado nos testes subsequentes.

### 2.2 - Utilizando-se o coletor catiônico acetato de dodecil amina ( D. A. A. ).

Nesta etapa foram realizados testes em distintos valores de pH, sendo também variada a quantidade de coletor adicionada.

Os valores de pH testados foram de 6,6 (pH natural) até 10,5, sendo  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  utilizado como modificador do pH. Os coletores foram D. A. A. e querosene, o espumante DF 250. O querosene foi substituído por óleo diesel mais tarde.



### 2.3 - Flotação sequencial

Uma vez que o circuito de flotação inversa, envolvendo a utilização dos reagentes D. A. A. , óleo diesel e DF 250, apresentou bom de sempenho, foram realizados testes visando a determinar o tempo ótimo de flotação.

Estes foram executados em duas séries, uma regulando o pH em 9,6 com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e outra com CaO: em ambas as séries, utilizou-se percentagem de sólidos na polpa de 14 e 28 %, sendo o material coletado sequencialmente em intervalos de tempo de 1/2, 1, 2, 4 e 8 minutos de flotação.

### 2.4 - Com várias etapas de limpeza

Estes testes foram realizados objetivando determinar o número de estágios de limpeza necessários à obtenção de um concentrado de alto teor.

Foram realizados quatro testes, em escala de bancada, sem recirculação dos produtos intermediários, testando-se dois tipos de condicionadores de pH, CaO e  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , em dois níveis de percentagem de sólidos, 14 % e 28 %. Os reagentes de flotação foram adicionados em cada etapa de flotação.

O fluxograma, apresentado na figura nº 4 (pág. 25), mostra a sequência de operações executadas na realização dos testes.

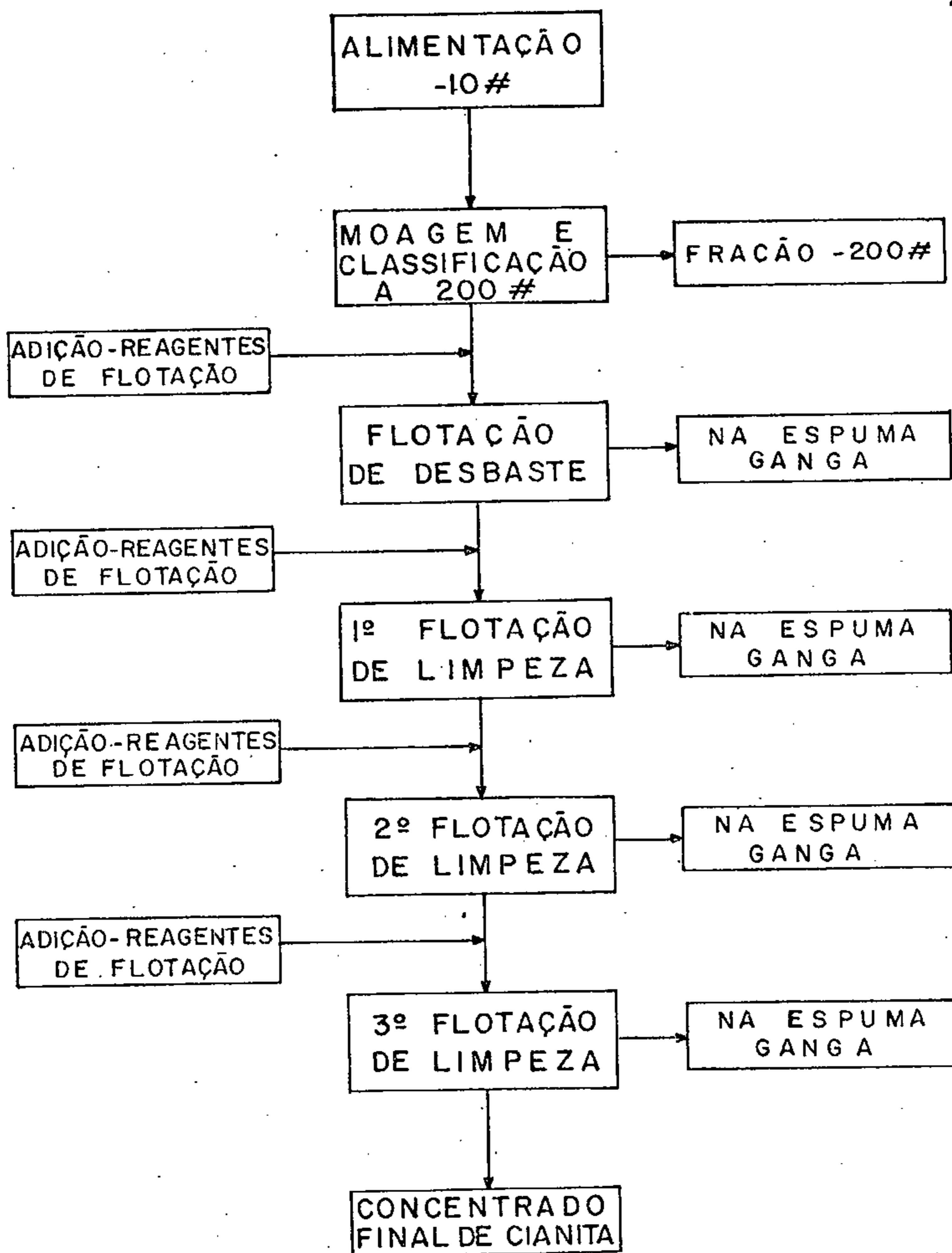


Fig. Nº 4 : Fluxograma da flotação da ganga em etapas, em testes de bancada.

## 2.5 - Flotação cruzada, simulando um circuito

O objetivo dos testes foi verificar o comportamento do circuito de flotação da ganga - viabilizado tecnicamente nos testes de batelada - quando operado em regime contínuo, com recirculação dos produtos intermediários.

Dois testes foram realizados usando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e  $\text{CaO}$  como modificador de pH, e 14 % de sólidos na polpa. Os reagentes de flotação, os mesmos dos testes anteriores, foram acetato de dodecil amina (D.A.A.), óleo diesel e Dow Froth 250; a flotação de desbaste foi executada em pH igual a 10,5 e os reagentes foram adicionados em cada etapa de flotação.

Para a execução de cada teste, preparou-se oito cargas de alimentação. A primeira carga foi flotada e o concentrado (cianita no rejeito) submetido a três etapas de flotação de limpeza, sendo os rejeitos produzidos nestas etapas (produtos recirculantes) adicionados à segunda carga, e flotado em seguida; esta operação, isto é, recircular os rejeitos das etapas de limpeza para a etapa de flotação de desbaste e de limpeza, foi realizada sucessivamente até a oitava carga. Os fluxogramas apresentados na figura nº 5 (pág.29) e nº 6 (pág. 30), mostram a sistemática adotada na realização dos testes.

Após o término de cada teste, envolvendo oito cargas, os produtos obtidos são, numa primeira aproximação, representativos de um circuito contínuo, considerando-se o efeito de recirculação dos produtos intermediários.

A utilização de oito cargas foi suficiente para se considerar o sistema em regime, sendo isto comprovado pela constância de peso apresentada pelo concentrado final obtido na terceira etapa de limpeza de cada carga flotada.

### 3. Teste de Concentração em Meio Denso

Para a execução destes testes, o minério foi britado abaixo de 1/2 polegada e classificado nas frações granulométricas 1/2" - 1/4", 1/4" - 8 malhas, 8/14, 14/28 e 28/48; de cada fração, após homogeneização em pilhas prismáticas, retirou-se amostras representativas a serem ensaiadas.

O meio denso utilizado foi iodeto de metileno e os testes de separação, para as amostras com granulometria superior a 8 malhas, foram realizados em bécheres com capacidade de 1.000 ml; para as frações de granulometria inferior a 8 malhas utilizou-se funil de separação com capacidade de 500 ml.

Após a separação, os produtos obtidos, afundado e flutuado, foram cuidadosamente lavados com acetona e secos em estufa, sendo a seguir moídos abaixo da malha de liberação da cianita (35 malhas), de modo a se estimar o teor de cianita.

### 4. Teste de Concentração por Mesagem

Para a execução destes testes, a amostra britada abaixo

de 10 malhas, foi moída por 6 minutos, de modo a ter-se em torno de 93 % da cianita liberada. O produto da moagem foi a seguir classificado nas faixas granulométricas de 10/28, 28/48, 48/100 e 100/200 malhas, sendo rejeitada a fração com granulometria inferior a 200 malhas.

Cada fração granulométrica foi testada em mesa vibratória Deister, na qual regulou-se previamente a inclinação e o fluxo de água.

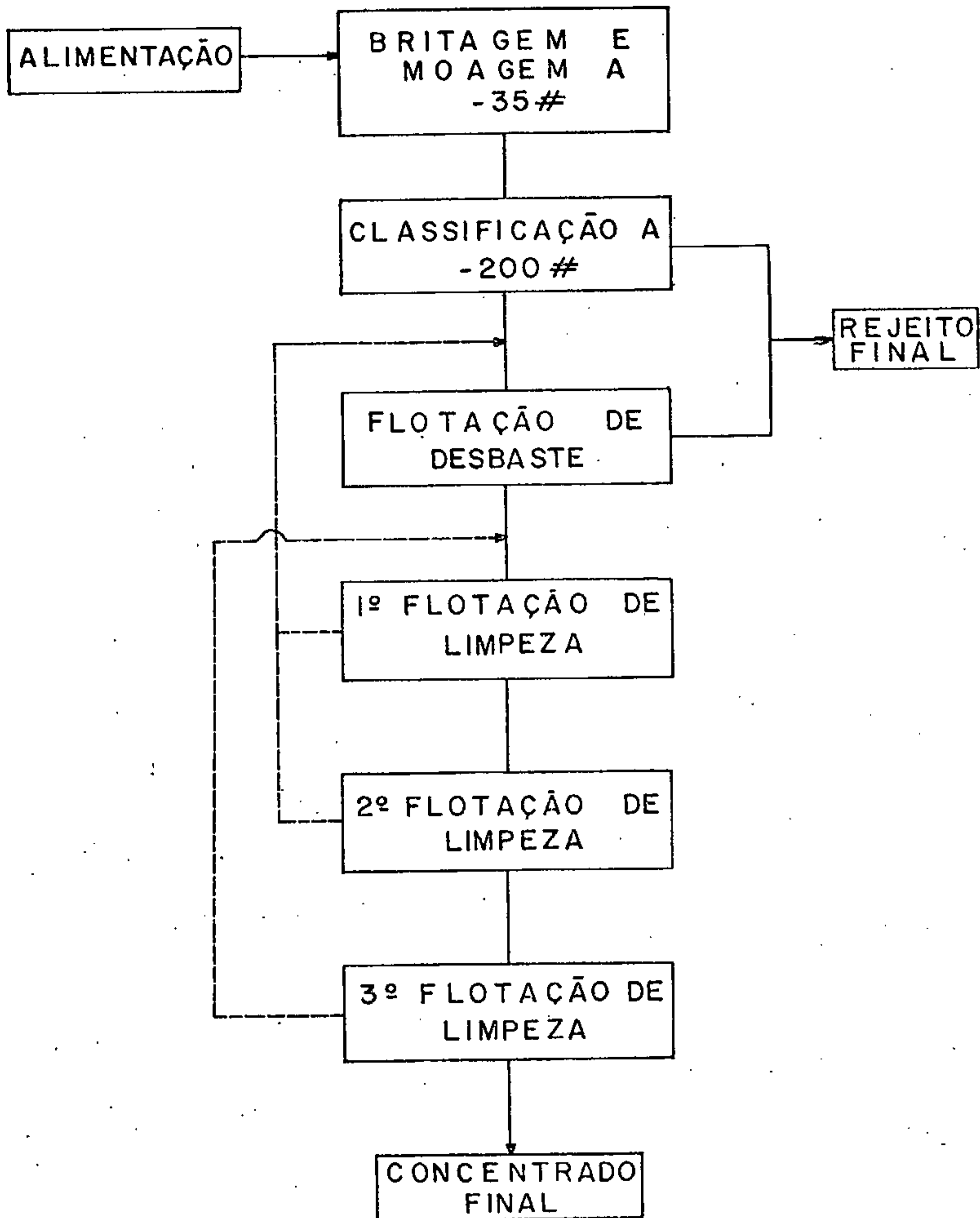


Fig. Nº5 : Fluxograma da flotação da ganga simulando um circuito contínuo de flotação usando CaO como modificador de pH.

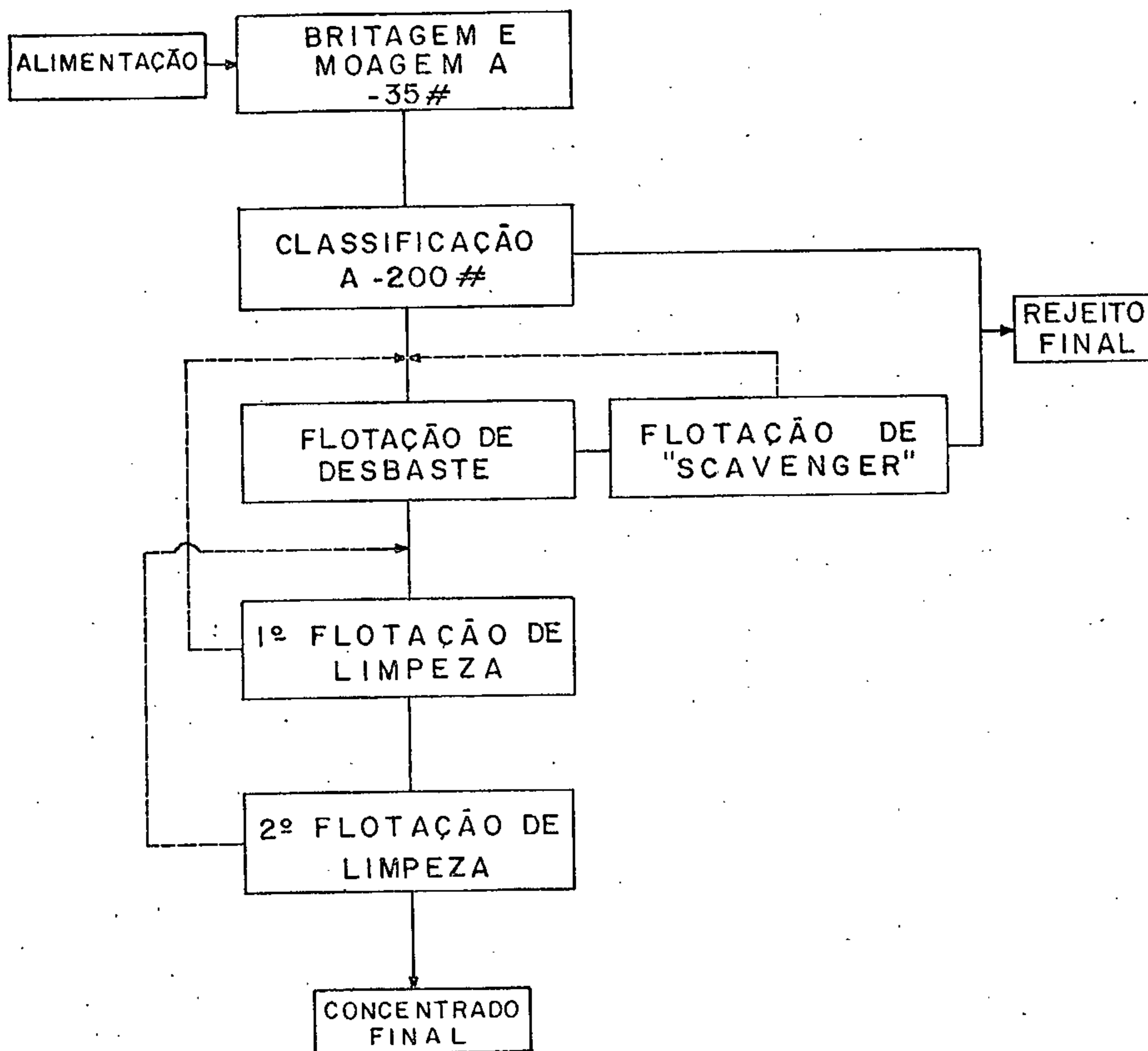


Fig. Nº6: Fluxograma da flotação da ganga simulando um circuito contínuo de flotação, usando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como modificador de pH.

VI - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS



## VI - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

### 1. Testes de Flotação Direta:

1.1 - Após lavagem com atrição em meio ácido e alcalino e utilizando-se oleato de sódio e sulfonatos como coletores.

As tabelas nºs 5 e 6, ambas na página 42, mostram os resultados das análises dos produtos obtidos, seus pesos, teores e distribuição da cianita, assim como as quantidades de reagentes adicionados. Observa-se que ambos dão resultados insatisfatórios, uma vez que a cianita permanece no rejeito em lugar de encontrar-se na espuma.

1.2 - Após lavagem com atrição e utilizando-se silicato de sódio e ácido láctico como depressores da ganga.

A tabela nº 7 (pág.43) mostra a influência do silicato de sódio. Verifica-se que ao se aumentar a quantidade  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , aumenta-se a depressão da cianita, em vez da ganga. Assim, o teor do concentrado varia de 78,5% até 62%. Paralelamente, a recuperação da cianita varia inversamente com a quantidade de silicato de sódio adicionado, como pode ser observado na figura nº 7 (pág.44).

Por outro lado, observa-se que com ácido láctico (tabela nº 8, pág.45) já não acontece o mesmo. O teor de cianita varia de 74% até 84% ao se aumentar a quantidade de ácido láctico, enquanto a recuperação não é muito afetada, ficando em torno de 50%.

## 2. Flotação Inversa

### 2.1 - Utilizando-se somente espumantes.

Nestes testes obteve-se melhores resultados. Na tabela nº 9 (pág.46) são mostrados os resultados obtidos flotando-se a ganga com diversos tipos de espumantes, bem como os demais reagentes utilizados.

Uma perspectiva melhor dos resultados se pode alcançar da observação da figura nº 8 (pág.47). Nota-se que, utilizando-se Dow Froth 250 como espumante, obtem-se um concentrado de cianita com teor de 80% e uma recuperação de 85,5%. O espumante proporcionou melhor recuperação, 88,3%, porém um concentrado com teor mais baixo, 75%.

### 2.2 - Utilizando-se acetato de dodecil amina como coletor.

A combinação de Dow Froth 250 (D.F. 250) com acetato de dodecil amina (D.A.A.) melhorou os resultados. A tabela nº 10 (pág. 48) mos

tra os resultados obtidos nos distintos testes, nos quais se variou a quantidade de D.A.A. e o pH, sendo o querosene substituído por óleo diesel. Pode observar-se que, usando-se menor quantidade de D.A.A. há melhoria substancial na recuperação da cianita sem prejuízo do teor do concentrado, que foi quase puro (99%).

Observa-se ainda que ao aumentar o valor do pH (de ácido para alcalino), a recuperação sobe de 63% para 82%, embora o teor do concentrado caia até 82,25%. Também foi notado que ao se trocar o querosene pelo óleo diesel, melhorou o teor da cianita de 84% para 89,2% sem afetar a recuperação.

Estes resultados indicam que flotação de desbaste deve ser levada a termo a um valor de pH entre 10 e 11, de modo a obter-se uma alta recuperação. Por outro lado a etapa de flotação de limpeza deve ser feita em valor de pH mais baixo, de forma a se conseguir um concentrado de cianita de alto teor.

### 2.3 - Flotação sequencial

Os resultados são apresentados nas tabelas nºs 11 e 12 (respectivamente págs. 49 e 50) e nas figuras nºs 9 (pág. 51) e 10 (pág. 52). Comparando-se os resultados obtidos observa-se que o  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dá maior velocidade de flotação à ganga, ficando como consequência um rejeito mais concentrado de cianita. Isto significa que o CaO deprime a ganga mais efetiva-

mente.

No que diz respeito a percentagem de sólidos, não há diferença apreciável nos resultados quando se usa CaO. No entanto, a variação da percentagem de sólidos na flotação apresenta diferenças quando se usa  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Neste caso se produz um melhor concentrado de cianita com polpas menos densas, embora com menor recuperação. Isto pode ser creditado à menor velocidade de flotação da ganga quando se utiliza maiores percentagem de sólidos.

Em relação ao tempo de flotação, até 4 minutos os resultados (teor e recuperação) são significativos; acima de 4 minutos não há melhorias.

Em resumo, o  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como modificador de pH é mais efetivo que o CaO na medida em que se obtém um concentrado de cianita de maior teor (88% - 79%), mas a recuperação é muito menor (81% - 97%), o que é significativo em uma flotação de desbaste onde o principal objetivo é uma recuperação elevada. Com percentagem de sólidos mais alta a diferença é pequena, apenas uma variação de 3 unidades no teor do concentrado e na recuperação. Deve levar-se em consideração também que o preço do carbonato de sódio é o dobro do CaO e a quantidade usada para chegar ao pH de 10,6 é quase sete vezes maior (CaO - 1,5 lb/t e  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  = 10 lb/t).

#### 2.4 - Com várias etapas de limpeza

Os resultados são apresentados nas tabelas nºs 13 (pág.53), 14 (pág. 54), 15 (pág. 55) e 16 (pág. 56). Nestas são mostrados os balanços de massa das diferentes etapas de flotação e as quantidades de reagentes adicionadas.

Usando-se CaO e uma polpa de 14% de sólidos (tabela 13) os teores de cianita nos concentrados das etapas de desbaste e limpeza alcançaram os seguintes valores, respectivamente: 78,84 , 86,69 , 94,37 e 97,50%. As recuperações variam desde 97% até 89%.

Com a percentagem de sólidos de 28% (tabela 14) os valores atingidos para os teores de cianita são mais homogêneos: 78,35 , 80,73 , 82,05 e 85,09%. As recuperações quase não variaram, ficando em torno de 94%.

Utilizando-se carbonato de sódio como modificador de pH, obtêm-se os seguintes resultados, conforme a percentagem de sólidos utilizada. Para uma percentagem de sólidos de 14% (tabela 15) os teores de cianita nos concentrados foram 87,94 , 91,16 , 92,96 e 95,10% e as recuperações variaram de 80,86 até 70,17 , enquanto que com 28% de sólidos (tabela 16) os teores dos concentrados foram de 81,68 , 85,31 , 88,59 e 90,59% de cianita, com recuperações variando de 92% até 90,63%.

Como se pode observar, concentrados com teores mais altos de cianita são obtidos com densidades de polpa menor, com a qual o CaO apresenta resultados melhores quando comparado ao carbonato. Isto pode ser devido ao menor valor de relação "quantidade de reagentes/percentagem de sólidos" com que se trabalhou. A variação do valor do pH desde 10,5 até 8,0 favorece a concentração da cianita.

As figuras nºs 11 (pág. 57), 12 (pág. 58), 13 (pág. 59) e 14 (pág. 60) representam a relação entre os teores da alimentação, concentrado e recuperação e da quantidade de reagentes adicionados em função da etapa, em forma acumulativa.

Em resumo, utilizando-se CaO como modificador de pH e baixa densidade polpa obtem-se um concentrado, após 3 limpezas, de 97,8% de teor, contendo 56% da cianita total da alimentação. Por outro lado, com o carbonato de sódio se chega a um teor de 95% de cianita, porém com um aproveitamento global de apenas 30,38% da cianita existente no minério alimentado.

## 2.5 - Flotação cruzada, simulando um circuito contínuo.

A característica destes testes é a maior concentração da cianita nas etapas de limpeza e isto se deve à recirculação dos produtos mistos. Observando-se os resultados obtidos apresentados nas tabelas nºs 17 (pág. 61) e 18 (pág. 62) verifica-se que apenas duas etapas de limpeza são necessárias para a obtenção de concentrados com 96% de cianita. Quando se utilizou  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , obteve-se um concentrado com 95% de teor, já na flotação de desbaste. Neste caso, fez-se uma reflotação do rejeito ("scavenger"), visando a recuperação da cianita presente.

Em geral, os resultados indicam que é possível obter um concentrado de cianita com um circuito de flotação muito simples. O rejeito total é composto pela fração abaixo de 200 malhas, eliminada previamente à flotação, e do rejeito da etapa de desbaste. Os rejeitos das etapas de limpeza são recirculantes. As quantidades de reagentes adicionados nas diversas etapas é um item que seria melhor estudado em uma instalação em escala piloto e acredita-se que possam ser menores.

Utilizando-se  $\text{CaO}$  conseguiu-se uma recuperação de 71,47%, e um concentrado final de 97,20% de cianita (tabela 17) enquanto que com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (tabela 18) os valores foram 70,53% e 96,65%, respectivamente.

A tabela nº 19 (pág. 38) apresenta a composição química de cada concentrado final. Ambos os produtos apresentaram um cone piromé

trico equivalente nº 37 (Cone Orton - 1820°C).

Compostos	Teor - % em peso	
	Teste com Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Teste com CaO
SiO <sub>2</sub> .....	38,4	38,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	58,64	59,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,7	0,6
TiO <sub>2</sub> .....	2,0	2,1
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,3	0,3
CaO .....	L 0,1	L 0,1
MgO .....	L 0,1	L 0,1
Na <sub>2</sub> O .....	0,12	0,12
K <sub>2</sub> O .....	0,08	0,09

L - significa, menor do que o valor registrado.

Tabela nº 19 - Composição química dos concentrados finais.

As figuras nºs 15 (pág. 63) e 16 (pág. 64) apresentam os balanços de massa dos testes de flotação cruzada, simulando um circuito contínuo.



### 3. Teste de Concentração em Meio Denso

Os resultados obtidos são mostrados na tabela nº 20 (pág. 65), na qual observa-se que a fração mais grossa (1/2" - 1/4") corresponde a 54 % em peso, enquanto as demais diminuem, chegando a 2,60 % na fração 48/200. As perdas de cianita devido a eliminação da fração - 200 são baixas, alcançando somente a 1,27 %. Os teores de cianita nas diversas frações aumentaram relativamente com a eliminação, na fração - 200, da maior parte da ganga pirofilítica.

Verifica-se, ainda, que na fração mais grossa se recupera 47 % da cianita; a recuperação aumenta gradativamente nas frações de granulometria mais finas até o valor de 95 %. Da mesma forma os teores dos concentrados também aumentaram ao se diminuir a granulometria das frações testadas e variaram de 93 % até 99 %. Tal tendência é indicativa da impossibilidade de se obter concentrados puros nas frações mais grossas, pois somente a partir da fração abaixo de 28 malhas conseguiu-se um concentrado com 99 % de cianita. A recuperação total da cianita é de 55,37 %, até a malha 48, com um concentrado global de 95 % de teor. Um resumo dos resultados é apresentado na tabela nº 22 (pág. 67).

Para se obter um melhor concentrado e uma boa recuperação, deveria ser feita uma moagem abaixo de 14 malhas, o que implicaria no tratamento de um produto consideravelmente fino, sendo necessário, desta forma, o uso de hidrociclone de meio denso, uma vez que, industrialmente é possível tratar apenas frações de granulometria até - 8 malhas.

Assim, da tabela nº 20, verifica-se que o tratamento da fração - 1/2" + 8 malhas, que corresponde a 76,9 % em peso, resulta em um concentrado com 93,9 % de cianita e uma recuperação de 40 %; as perdas são de 38 % da cianita total, o que equivale a um rejeito de 42 % de cianita.

A fração 8/200 malhas, correspondendo a 18,3 % em peso e com teor de 53 % de cianita, poderia ser beneficiada por flotação.

A figura nº 17 (pág. 68), mostra a relação entre teor do concentrado, alimentação e as recuperações, em função das distintas frações granulométricas. O balanço de massa do beneficiamento da fração - 1/2" + 8 malhas é mostrado na figura nº 18 (pág. 69).

#### 4. Teste de Concentração por Mensagem

Da tabela nº 21 (pág. 66), observa-se que as melhores concentrações foram alcançadas com as frações 48/100 malhas, enquanto que na fração 28/48 malhas não se obteve um bom concentrado. No que diz respeito às recuperações estas foram baixas, pois grande parte da cianita ficou no produto misto.

Observando-se a tabela nº 23 (pág. 67), um concentrado global teria um teor de 82,88 % e conteria 26,65 % da cianita alimentada. O rejeito, rico em cianita (49,80 %) daria uma recuperação na mensagem de 72,33 %, uma vez que o misto global, com 78,42 % de cianita e concentrado 38,36 % da mesma, seria recirculado. As frações acima de 28 malhas e abaixo de 200 malhas não entrariam na mensagem, mas a primeira poderia ser incluída, pois tem

alto teor de cianita.

Em síntese, a mesagem não é conveniente neste caso, onde a diferença de densidade entre a cianita e a ganga não é muito grande (3,6 e 2,8 respectivamente), o que torna difícil a operação do processo de mesagem para obtenção de um bom produto.

A figura nº 19 (pág. 70) apresenta o balanço de massa do teste de beneficiamento da cianita por mesagem.

PRODUTOS	PESOS %	TEOR CIANITA%	DISTRIBUIÇÃO CIANITA %	REAGENTES lb/t			
				Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	NaOl.	MIBC
Concentrado Flotação	11,00	55,00	10,71				
Rejeito Flotação	58,80	76,50	79,61				
Alimentação Flotação	69,80	73,11	90,32	1,0	1,0	1,0	0,2
Lamas de Moagem	29,00	18,11*	9,68				
Lamas de Lavagem	1,20						
Alimentação Total	100,00	56,50	100,00				

NaOl. - Oleato de Sódio      MIBC - Metil Isobutil Carbinol

\* Soma dos teores de cianita das lamas de moagem e da lavagem

Tabela nº 5 : Resultados obtidos nos testes de flotação da cianita com oleato de sódio, em pH = 10,0 após prévia lavagem com atrição em meio alcalino (NaOH, pH = 14,0).

PRODUTOS	PESOS %	TEOR CIANITA%	DISTRIBUIÇÃO CIANITA %	REAGENTES lb/t			
				Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	TRO	R-825	MIBC
Concentrado Flotação	33,60	59,50	34,79				
Rejeito Flotação	35,80	84,08	53,28				
Alimentação Flotação	69,40	71,70	88,07	1,0	0,5	0,6	0,2
Lamas de Moagem	27,20	22,02*	11,93				
Lamas de Lavagem	3,40						
Alimentação Total	100,00	56,49	100,00				

TRO - Turkey Red Oil

\* Soma dos teores de cianita das lamas de moagem e da lavagem

Tabela nº 6 : Resultados obtidos nos testes de flotação da cianita com sulfonatos, em pH = 3, após prévia lavagem com atrição em meio ácido (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH = 2,0).

Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Flotação : pH = 3,0			Lamas	Aliment. total
	Concentrado	Rejeito	Aliment.		
0,0 lb/t					
Peso (%)	44,20	23,20	67,40	32,60	100,00
Teor (%)	78,50	69,00	75,23	17,78	56,50
Distribuição (%)	61,41	28,33	89,74	10,26	100,00
0,3 lb/t					
Peso (%)	34,60	31,6	66,20	33,80	100,00
Teor (%)	78,50	67,00	73,01	24,10	56,50
Distribuição (%)	48,07	37,47	85,54	14,46	100,00
0,8 lb/t					
Peso (%)	37,00	30,80	67,80	32,20	100,00
Teor (%)	73,00	76,50	74,59	18,41	56,50
Distribuição (%)	47,81	41,70	89,51	10,49	100,00
1,3 lb/t					
Peso (%)	21,20	45,40	66,60	33,20	100,00
Teor (%)	62,00	83,00	76,31	15,99	56,50
Distribuição (%)	23,26	66,69	89,95	10,05	100,00

Tabela nº 7 : Resultados obtidos nos testes de flotação da cianita com diferentes quantidades de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> como depressor da ganga e prévia lavagem com atrição em meio ácido (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH = 2,0).

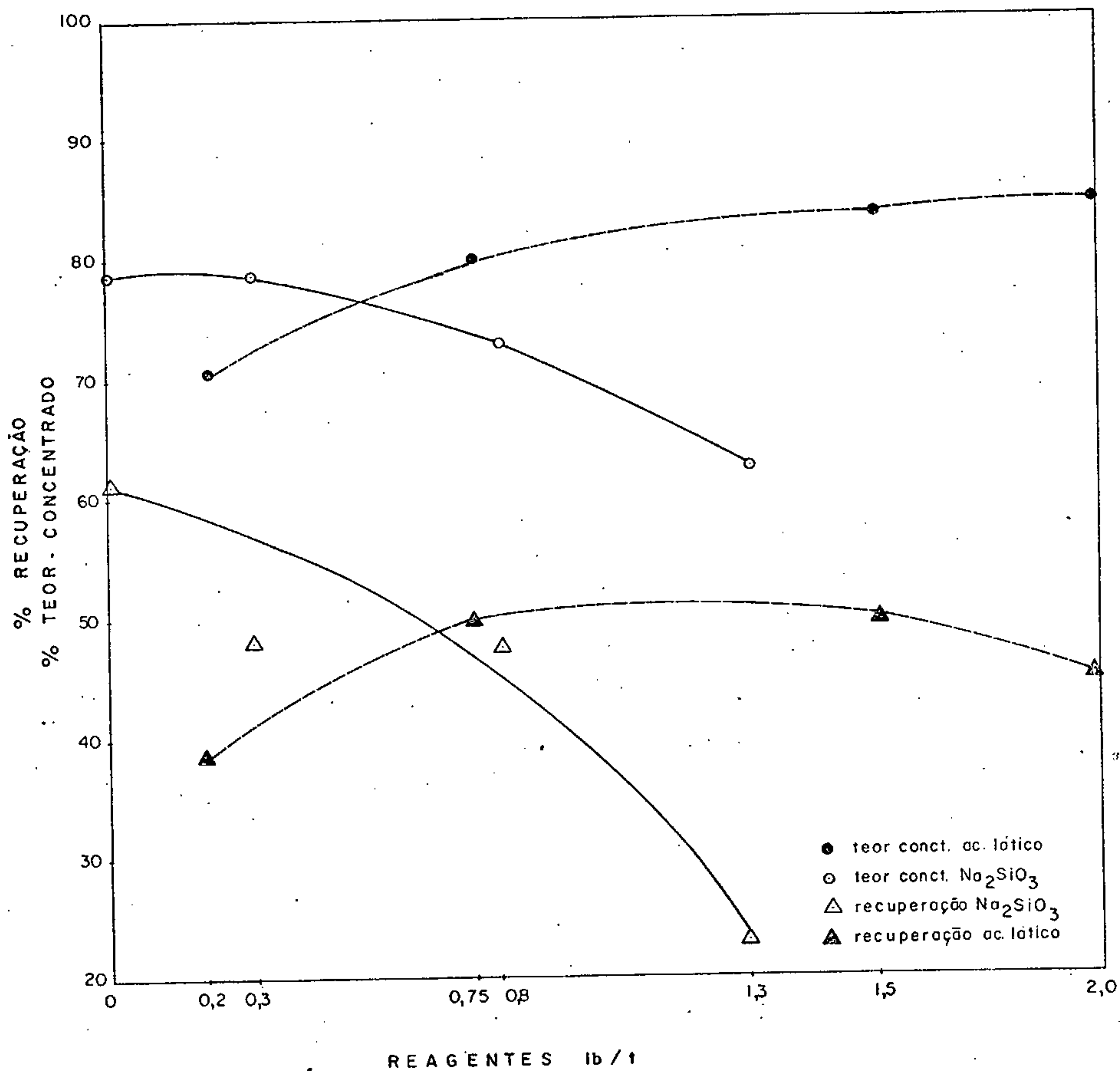


Fig. Nº 7: Relação entre teor do concentrado e recuperação da cianita, usando como depressor  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  e ácido láctico para a ganga.

Ácido Lático	Flotação: pH = 3,0			Lamas	Aliment. total
	Concentrado	Rejeito	Aliment.		
0,20 lb/t					
Peso (%)	31,00	34,40	65,40	34,60	100,00
Teor (%)	70,50	69,00	69,71	31,53	56,50
Distribuição (%)	38,69	42,02	80,71	19,29	100,00
0,75 lb/t					
Peso (%)	35,00	32,00	67,00	33,00	100,00
Teor (%)	80,00	61,00	70,93	27,31	56,50
Distribuição (%)	49,56	34,55	84,11	15,89	100,00
1,50 lb/t					
Peso (%)	33,00	33,80	66,80	32,20	100,00
Teor (%)	83,50	64,50	73,89	22,19	56,50
Distribuição (%)	48,77	38,59	87,36	12,64	100,00
2,00 lb/t					
Peso (%)	30,20	37,00	67,20	32,80	100,00
Teor (%)	84,00	63,00	72,44	22,89	56,50
Distribuição (%)	44,90	41,26	86,16	13,84	100,00

Tabela nº 8: Resultados obtidos nos testes de flotação da cianita com diferentes quantidades de ácido lático como depressor da ganga e prévia lavagem com atrição em meio ácido ( $H_2SO_4$ , pH = 2,0).

Espumantes 0,5 lb/t	Flotação : pH = 9,6 (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )			Lamas	Aliment. total
	Concentrado	Rejeito (espuma)	Aliment.		
Óleo de Pinho					
Peso (%)	59,40	10,70	70,10	29,90	100,00
Teor (%)	77,50	24,50	69,41	26,23	56,50
Distribuição (%)	81,48	4,64	85,12	13,88	100,00
Ácido Cresílico					
Peso (%)	63,60	6,20	69,80	30,20	100,00
Teor (%)	75,00	18,50	69,98	25,34	56,50
Distribuição (%)	84,42	2,03	85,45	13,55	100,00
MIBC					
Peso (%)	66,00	6,03	72,08	27,92	100,00
Teor (%)	75,60	10,50	70,11	21,37	56,50
Distribuição (%)	88,31	1,13	89,44	10,56	100,00
Dow Froth 250					
Peso (%)	60,40	10,16	70,56	29,44	100,00
Teor (%)	80,00	25,70	72,18	18,92	56,50
Distribuição (%)	85,52	4,62	90,14	9,86	100,00

Tabela nº 9 : Resultados obtidos nos testes de flotação inversa utilizando-se diversos espumantes e 0,2 lb/t de querosene.



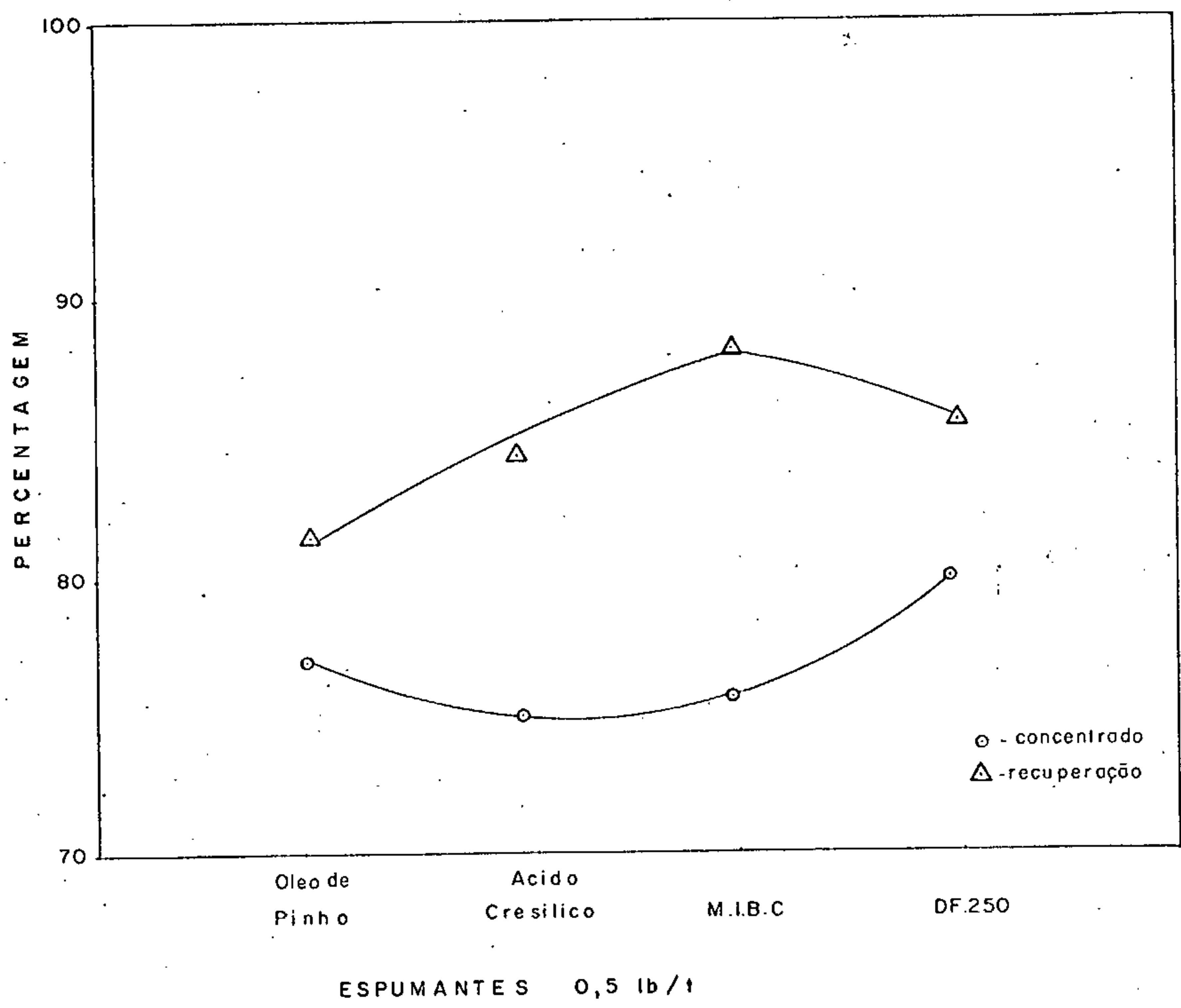


Fig.Nº8: Relação entre os teores e recuperação da cianita com respeito aos espumantes usados na flotação da ganga.

TESTE	PRODUTOS				pH com Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Reagentes de Flotação lb / t			
	REJEITO (espuma)	CONCENTRADO	LAMAS	ALIMENT. TOTAL		Queroseno	Óleo Diesel	D A A	D F. 250
Peso	43,80	23,80	32,40	100,00	6,6	0,20	-	0,50	0,30
Teor	55,00	99,00	27,31	55,50					
Distrib.	42,64	41,71	15,66	100,00					
Peso	33,60	36,00	30,40	100,00	6,6	0,20	-	0,20	0,30
Teor	43,30	99,00	20,66	56,50					
Distrib.	25,75	63,08	11,17	100,00					
Peso	31,00	40,40	28,60	100,00	9,2	0,20	-	0,20	0,30
Teor	36,30	97,30	20,76	56,50					
Distrib.	19,92	69,57	10,51	100,00					
Peso	16,74	55,00	28,26	100,00	10,5	0,20	-	0,20	0,30
Teor	22,20	84,50	22,32	56,50					
Distrib.	6,56	82,25	11,17	100,00					
Peso	21,20	51,40	27,40	100,00	10,5	-	0,20	0,20	0,30
Teor	8,30	89,30	22,26	56,50					
Distrib.	3,11	81,35	15,63	100,00					

Tabela nº 10 : Resultados obtidos nos testes de flotação inversa, com acetato de dodecil amira como cole-  
tor e Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> como modificador de pH.

Tempo de Flotação (minutos)	14 % de sólidos na flotação					28 % de sólidos na flotação				
	Concentrado			Rejeito		Concentrado			Rejeito	
	Peso	Teor	Recup.	Peso	Teor	Peso	Teor	Recup.	Peso	Teor
1/2	66,00	70,85	99,43	4,30	4,93	68,29	71,48	98,97	4,00	12,65
1/0	63,30	72,30	98,92	7,10	7,12	65,61	73,58	97,89	6,68	15,58
2,0	60,10	75,60	98,21	10,21	8,12	62,19	76,33	96,26	10,10	18,28
4,0	58,10	78,00	97,79	12,30	8,33	60,48	77,78	95,24	11,81	19,34
8,0	56,90	78,84	96,96	13,41	10,50	59,74	78,38	94,95	12,55	19,87
Alimentação: Peso % : 70,30 Teor : 65,81						Alimentação: Peso % : 72,29 Teor : 68,23				

Tabela nº 11: Resultados obtidos nos testes de flotação sequencial da ganga, utilizando-se CaO como modificador de pH.

Tempo de Flotação (minutos)	14 % de sólidos na flotação					28 % de sólidos na flotação				
	Concentrado			Rejeito		Concentrado			Rejeito	
	Peso	Teor	Recup..	Peso	Teor	Peso	Teor	Recup..	Peso	Teor
1/2	62,80	73,92	94,08	9,14	31,89	67,50	73,35	97,65	5,90	20,21
1,0	56,66	78,36	89,99	15,28	32,32	63,90	76,16	95,99	9,50	21,43
2,0	49,76	83,78	84,50	22,18	34,48	61,00	78,54	94,48	12,40	22,55
4,0	45,95	87,33	81,35	25,98	35,41	58,15	80,92	92,60	15,25	23,94
8,0	45,36	87,94	80,86	26,58	35,53	57,15	81,68	92,07	15,25	24,75
Alimentação: Peso % : 71,94 Teor : 68,58						Alimentação: Peso % : 73,40 Teor : 69,08				

Tabela nº 12: Resultados obtidos nos testes de flotação sequencial da ganga, utilizando-se

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  como modificador de pH.

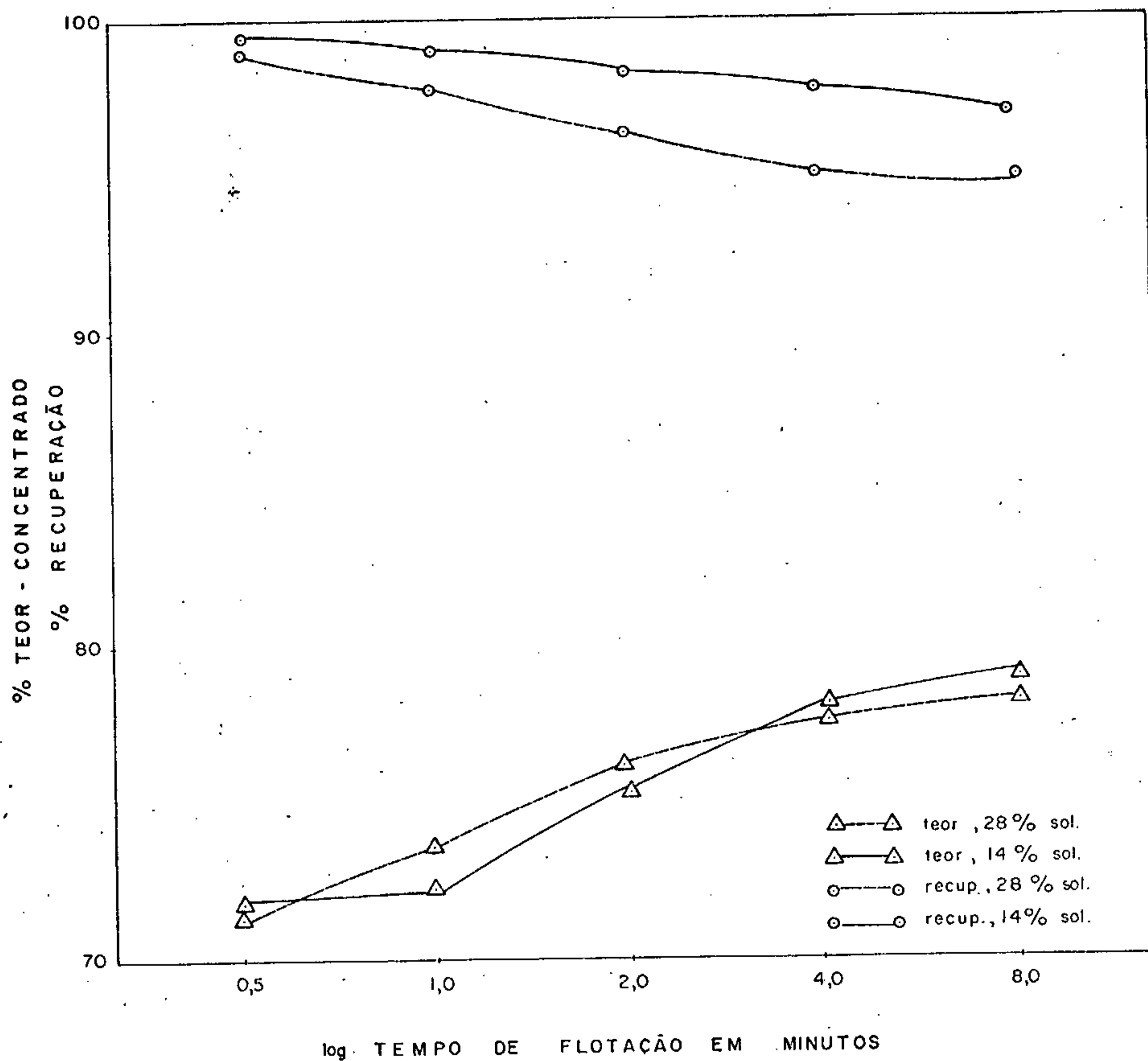


Fig. Nº 9 :Relação entre o teor e recuperação da cianita no concentrado de cianita, na flotação sequencial, com percentagem de sólidos na flotação de 14 e 28% e, usando CaO como modificador de pH.

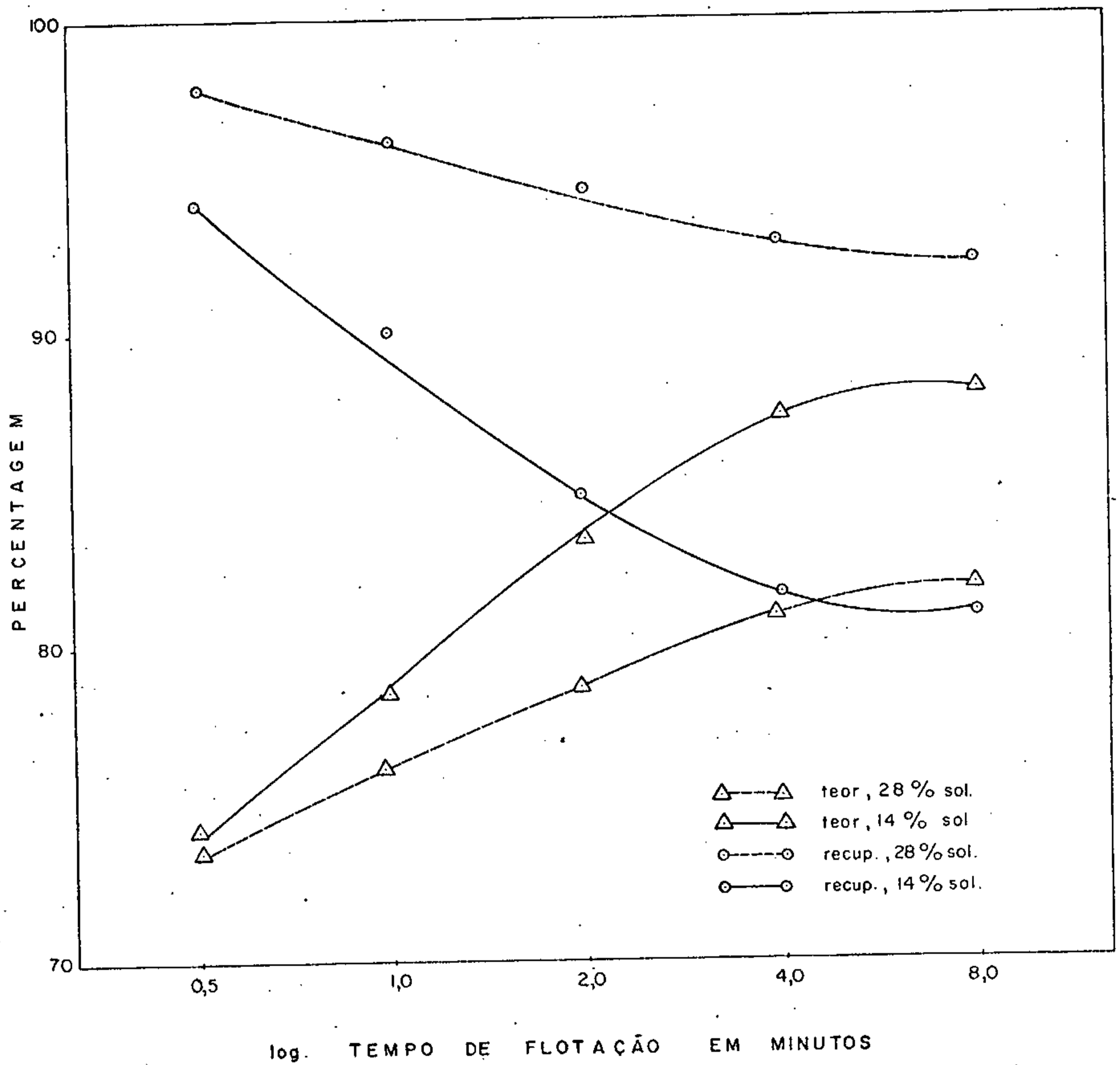


Fig. Nº 10: Relação entre teor e recuperação da cianita no concentrado de cianita, na flotação sequencial, com percentagem de sólidos de 14 e 28 %, e usando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como modificador de pH.

PRODUTOS E ETAPAS DE FLOTAÇÃO	PESO %	% C I A N I T A			REAGENTES (lb / t)				pH
		Teor	Distribuição	Recuperação	CaO	Óleo Diesel	D.A.A.	D.F. 250	
A - MOAGEM E CLASSIFICAÇÃO									
Alimentação Total	100,00	56,50	100,00	-					
Lamas - 200	20,70	34,46	16,11						
B - FLOTAÇÃO DE DESSASTE									
Concentrado	56,90	78,64	79,40	96,96					
Rejeito	13,40	10,50	2,49						
Alimentação	70,30	65,61	81,89		1,20	0,20	0,20	0,30	10,5
C - FLOTAÇÃO 1ª LIMPEZA									
Concentrado	50,10	60,69	76,97	96,82					
Rejeito	6,80	21,00	2,53						
Alimentação	56,90	78,64	79,40		-	0,14	0,18	0,21	10,0
D - FLOTAÇÃO 2ª LIMPEZA									
Concentrado	38,90	94,37	64,98	84,53					
Rejeito	11,20	60,00	11,89						
Alimentação	50,10	86,59	76,87		-	0,10	0,13	0,15	9,5
E - FLOTAÇÃO 3ª LIMPEZA									
Concentrado	32,50	97,50	56,08	86,31					
Rejeito	6,40	78,50	8,89						
Alimentação	38,90	94,37	64,98		-	0,21	0,27	0,32	8,0
TOTAL REAGENTES (lb/ t)					1,20	0,65	0,78	0,98	-

Tabela nº 13 : Resultados obtidos nos testes de flotação inversa com várias etapas de limpeza.  
 Percentagem de sólidos na flotação: 14 %.

PRODUTOS E ETAPAS DE FLOTAÇÃO	PESO %	% CIANITA			REAGENTES lb / t				pH
		Teor	Distribuição	Recuperação	CaO	Óleo Diesel	D.A.A.	D.F. 250	
A - MOAGEM E CLASSIFICAÇÃO Alimentação Total Lenas - 200	100,00 27,71	56,50 25,90	100,00 12,71						
B - FLOTAÇÃO DE DESASTE Concentrado Rejeito Alimentação	59,74 12,55 72,29	78,39 19,87 68,23	02,89 4,41 87,29	94,95	1,20	0,20	0,20	0,30	10,6
C - FLOTAÇÃO 1ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	56,71 3,04 59,75	80,73 34,55 78,39	61,03 1,05 81,89	97,76	-	0,08	0,08	0,12	-
D - FLOTAÇÃO 2ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	54,41 2,30 56,71	82,05 49,36 80,73	79,02 2,01 81,03	97,53	-	0,08	0,08	0,12	-
E - FLOTAÇÃO 3ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	49,60 4,81 54,41	85,05 51,13 82,05	74,67 4,35 79,02	94,49	-	0,08	0,08	0,12	-
TOTAL REAGENTES lb / t					1,20	0,44	0,44	0,66	-

Tabela nº 14 : Resultados obtidos nos testes de flotação inversa com várias etapas de limpeza.

Percentagem de sólido na flotação: 29 %.



PRODUTOS E ETAPAS DE FLOTAÇÃO	PESO %	% CIANITA			REAGENTES lb / t				pH
		Teor	Distribuição	Recuperação	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Óleo Diesel	D.A.A.	O.F. 250	
A - MOAGEM E CLASSIFICAÇÃO Alimentação Total Lamas: - 200	100,00 28,06	56,50 24,60	100,00 12,27						
B - FLOTAÇÃO DE DEBASTE Concentrado Rejeito Alimentação	45,36 26,58 71,94	87,94 36,53 69,58	70,93 16,80 87,73	80,86	10,0	0,20	0,20	0,30	10,5
C - FLOTAÇÃO 1ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	36,96 8,40 45,36	91,16 73,75 87,94	59,91 11,02 70,93	81,49	-	0,21	0,22	0,31	10,3
D - FLOTAÇÃO 2ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	26,30 10,56 36,96	92,95 86,74 91,16	43,47 16,44 59,91	72,46	-	0,25	0,27	0,37	10,0
E - FLOTAÇÃO 3ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	18,10 8,20 26,30	95,10 89,44 92,95	30,38 12,89 43,47	70,17	-	0,30	0,37	0,52	9,6
TOTAL REAGENTES lb / t					10,0	0,96	1,06	1,50	-

Tabela nº 15 : Resultados obtidos nos testes de flotação inversa com várias etapas de limpeza.

Porcentagem de sólidos na flotação: 14 %.

PRODUTOS E ETAPAS DE FLOTAÇÃO	PESO %	% CIANITA			REAGENTES lb / t				pH
		Teor	Distribuição	Recuperação	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Óleo Diesel	D.A.A.	D.F. 250	
A - MOAGEM E CLASSIFICAÇÃO Alimentação Total Lamasí- 200	100,00 26,60	55,50 20,81	100,00 9,64						
B - FLOTAÇÃO DE DESGASTE Concentrado Rejeito Alimentação	57,15 16,25 73,40	81,68 24,75 69,03	83,00 7,15 90,16	92,07	10,0	0,20	0,20	0,30	10,5
C - FLOTAÇÃO 1ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	51,10 6,05 57,15	85,31 51,02 81,68	77,52 5,48 83,00	93,39	-	0,08	0,08	0,12	10,2
D - FLOTAÇÃO 2ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	44,10 7,00 51,10	88,59 64,69 85,31	69,47 8,05 77,52	89,59	-	0,08	0,11	0,21	10,0
E - FLOTAÇÃO 3ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	39,10 5,00 44,10	90,54 73,32 88,59	62,95 6,52 69,47	90,63	-	0,08	0,11	0,24	9,9
TOTAL REAGENTES lb / t					10,0	0,44	0,50	0,87	-

Tabela nº 16 : Resultados obtidos nos testes de flotação inversa com várias etapas de limpeza.

Percentagem de sólidos na flotação: 29 %.

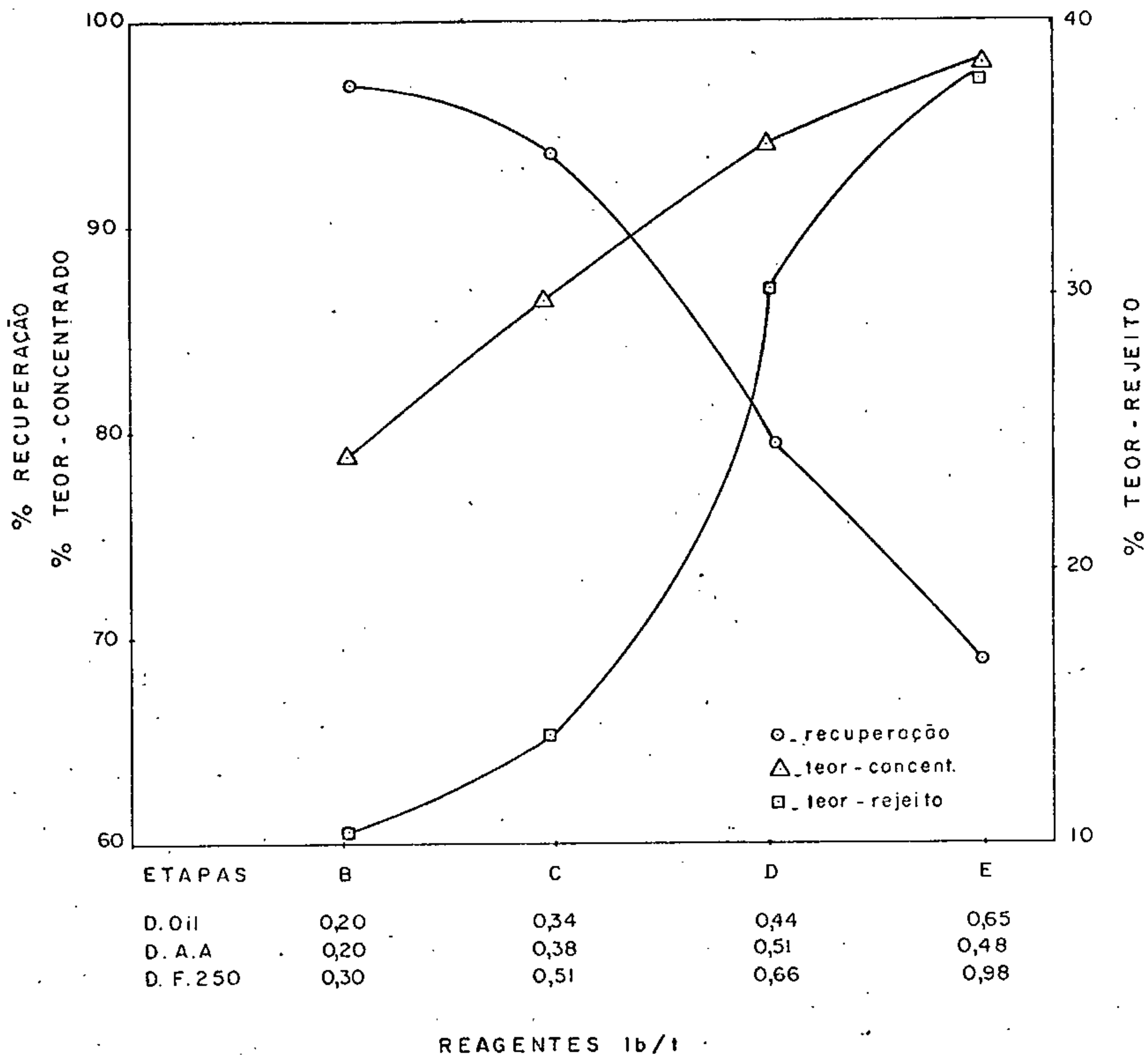


Fig. N<sup>o</sup> II :Relação entre concentrado, rejeito e recuperação da cianita nas distintas etapas de flotação - usando CaO como modificador de pH e 14% sólidos na flotação.

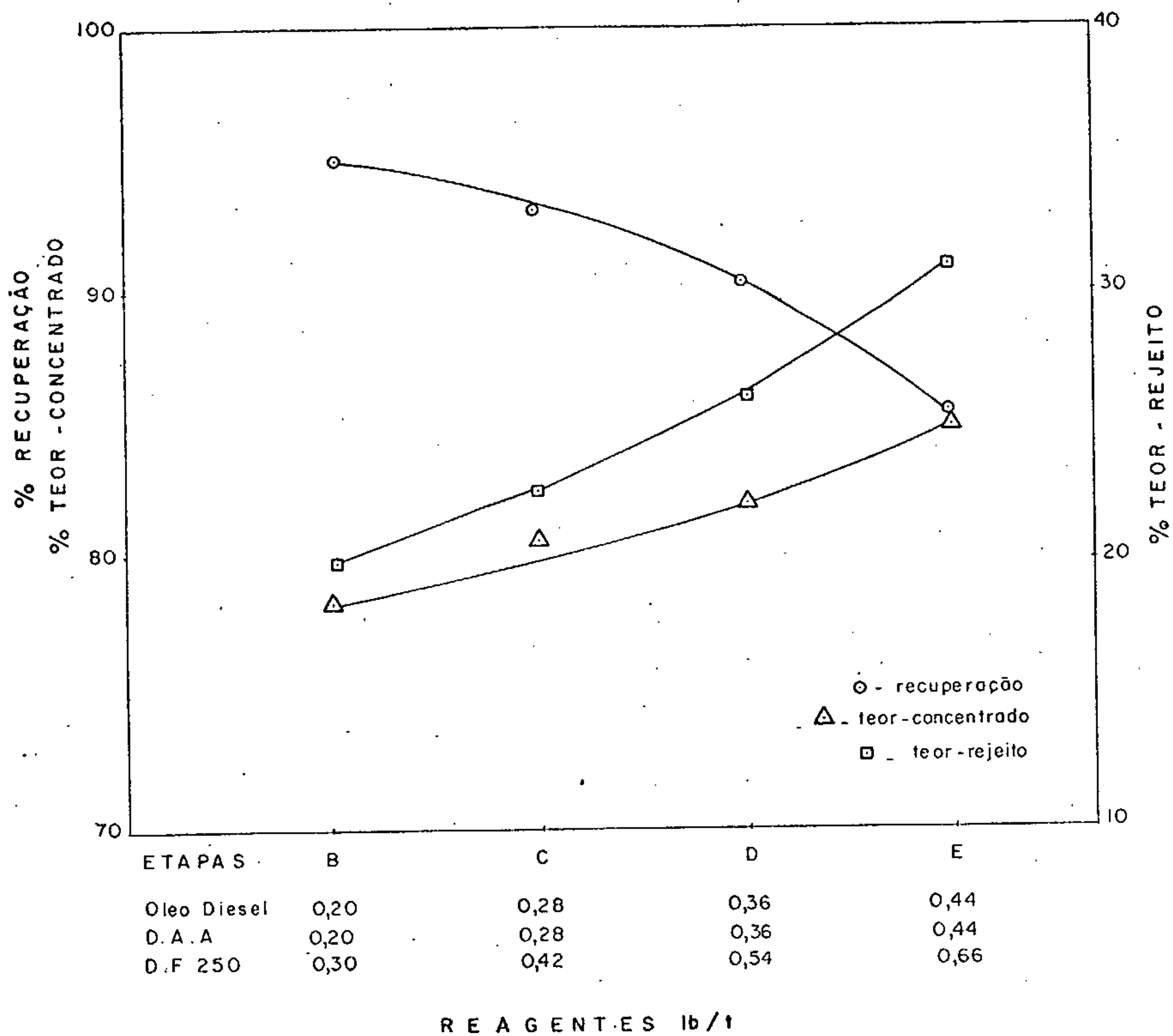


Fig. Nº 12 : Relação entre concentrado, rejeito e recuperação da cinza das distintas etapas de flotação - Usando CaO, como modificador de pH, e 28% de sólidos na flotação.

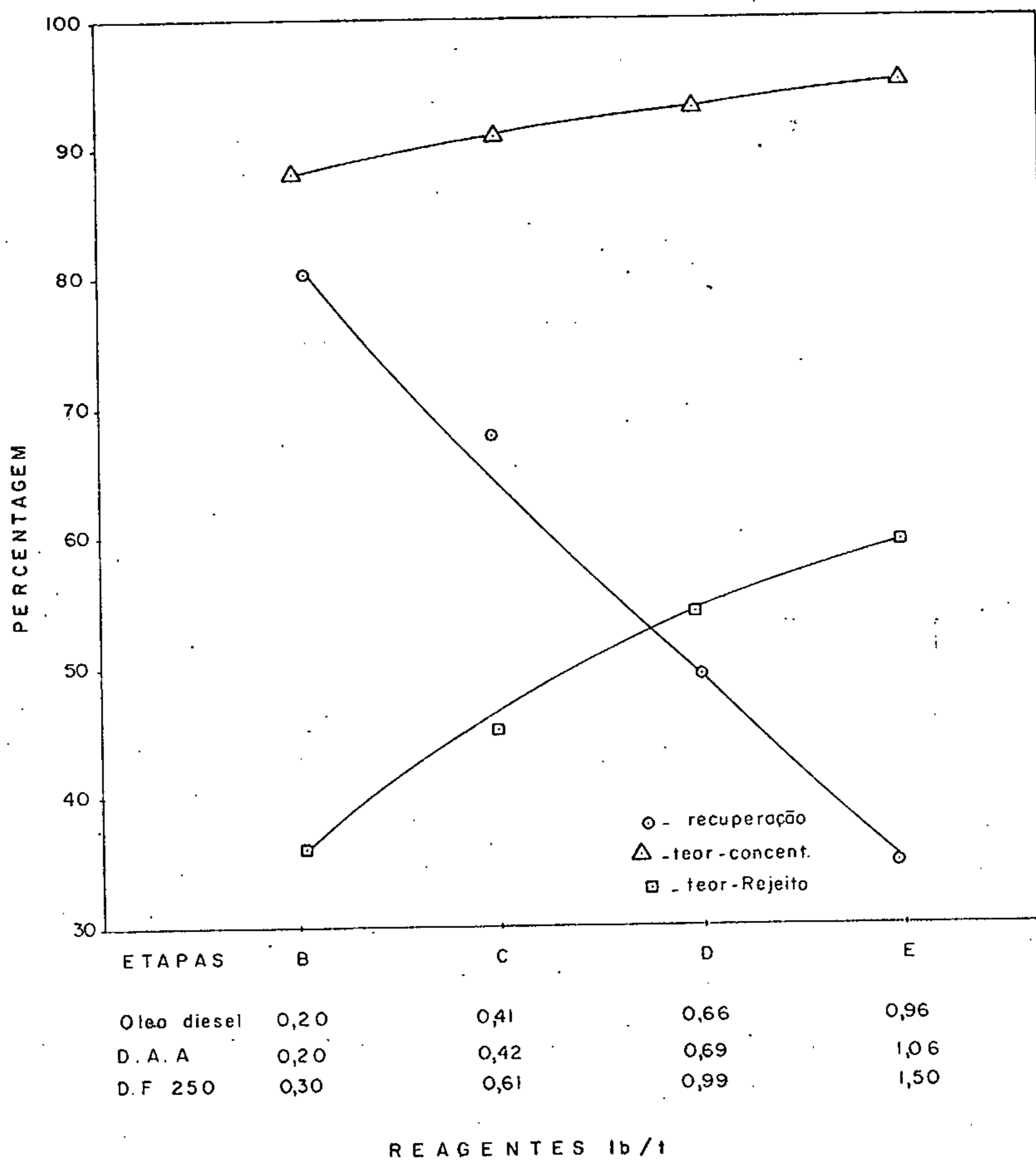


Fig. Nº 13: Relação entre teor do Concentrado, Rejeito e Recuperação da cianita, na flotação por etapa, usando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como modificador de pH, e 14% de sólidos na flotação.

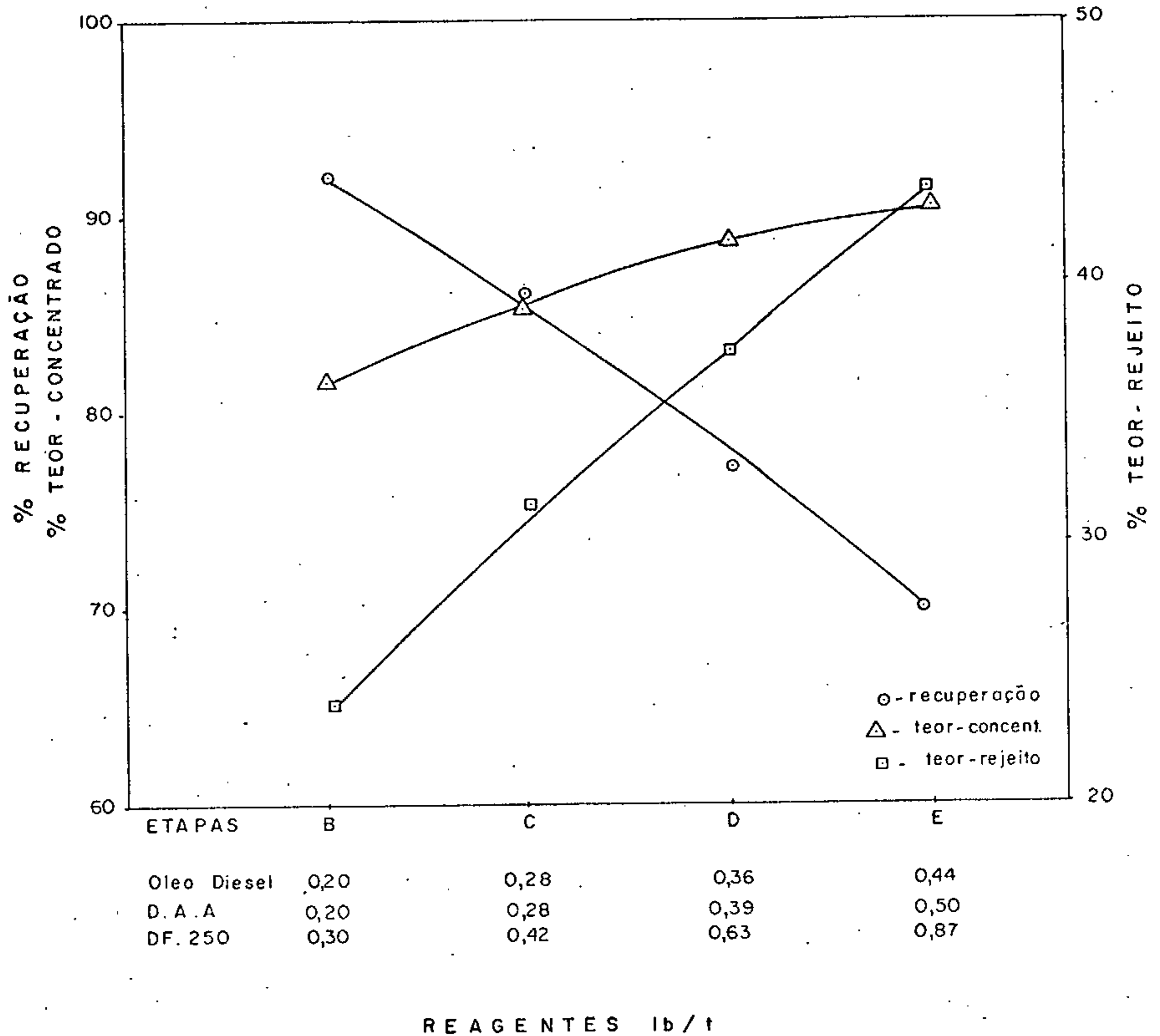


Fig.Nº14: Relação entre teor do Concentrado, Rejeito e Recuperação da cianita na flotação por etapa, usando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como modificador de pH, e 28% de sólidos na flotação.

PRODUTOS E ETAPAS DE FLOTAÇÃO	PESO %	% CIANITA			REAGENTES lb / t				pH
		Teor	Distribuição	Recuperação	CaO	Óleo Diesel	D.A.A.	D.F. 250	
A - MOAGEM E CLASSIFICAÇÃO									
Alimentação Total	100,00	57,73	100,00						
Lemas - 200	23,00	18,40	7,33						
B - FLOTAÇÃO DE DEBASTE									
Concentrado	52,00	64,60	76,21	82,24					
Rejeito	25,00	38,02	15,46						
Alimentação	77,00	69,48	92,67		1,20	0,20	0,20	0,30	10,6
C - FLOTAÇÃO 1ª LIMPEZA									
Concentrado	36,13	93,37	58,44	76,72					
Rejeito	15,88	64,60	17,77						
Alimentação	52,00	84,60	76,21		-	0,18	0,19	0,27	10,5
D - FLOTAÇÃO 2ª LIMPEZA									
Concentrado	32,23	95,50	54,04	52,47					
Rejeito	3,60	66,78	4,40						
Alimentação	35,13	93,37	58,44		-	0,26	0,21	0,29	10,3
E - FLOTAÇÃO 3ª LIMPEZA									
Concentrado	30,63	97,20	51,57	95,44					
Rejeito	1,70	83,87	2,47						
Alimentação	32,33	95,50	54,04		-	0,29	0,30	0,33	10,0
TOTAL REAGENTES lb / t					1,20	0,93	0,90	1,19	-

Tabela nº 17 : Resultados dos testes de flotação cruzada, simulando um circuito contínuo, utilizando CaO como modificador de pH.

PRODUTOS E ETAPAS DE FLOTAÇÃO	PESO %	% CIANITA			REAGENTES lb / t				pH
		Teor	Distribuição	Recuperação	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Óleo Diesel	D.A.A.	D.F. 250	
A - MOAGEM E CLASSIFICAÇÃO Alimentação Total Lamas - 200	100,00 21,65	56,25 18,24	100,00 7,02						
B - FLOTAÇÃO DE DESSASTE Concentrado Rejeito Alimentação	28,90 49,45 78,35	95,22 50,11 66,75	48,92 44,05 52,83	52,62	10,00	0,20	0,20	0,30	10,8
C - FLOTAÇÃO "SCAVENGER" Concentrado Rejeito Alimentação	19,56 29,89 49,45	72,77 35,28 50,11	25,31 19,75 44,05	57,45	-	0,19	0,18	0,25	10,5
D - FLOTAÇÃO 1ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	25,45 3,45 28,90	96,17 88,27 95,22	43,51 5,41 40,92	68,85	-	0,24	0,23	0,27	10,3
E - FLOTAÇÃO 2ª LIMPEZA Concentrado Rejeito Alimentação	22,75 2,70 25,45	95,55 92,08 95,17	39,09 4,42 43,51	89,94	-	0,25	0,28	0,30	10,0
TOTAL REAGENTES lb / t					10,00	0,88	0,89	1,13	-

Tabela nº18 : Resultados obtidos nos testes de flotação cruzada, simulando um circuito contínuo, utilizando Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> como modificador de pH.



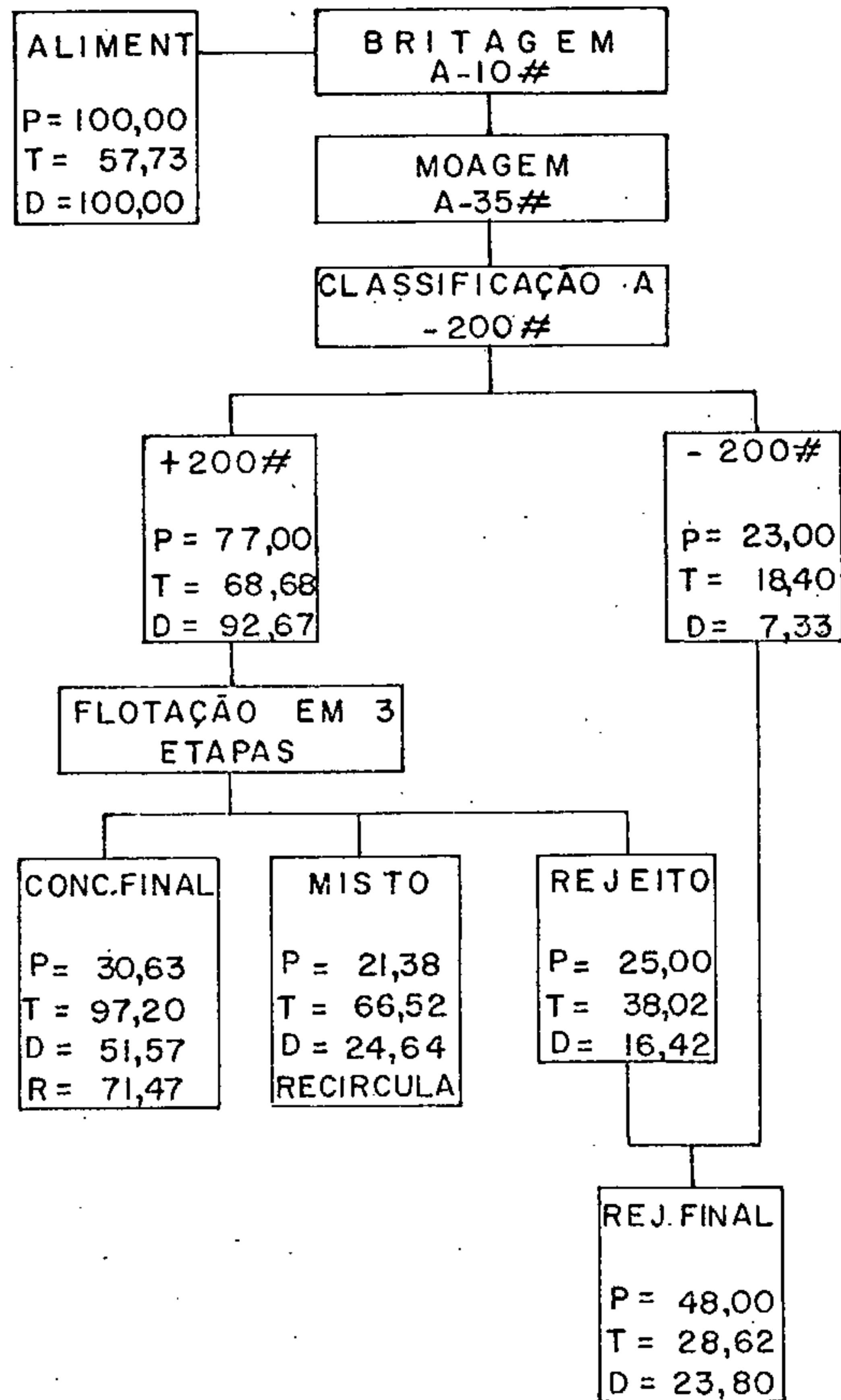


Fig. N° 15: Balanço de massa do beneficiamento da cianita por flotação contínua, usando CaO como modificador de pH.

- P = Distribuição do peso em %  
 T = Teor de cianita em %  
 D = Distribuição da cianita em %  
 R = Recuperação da cianita em %

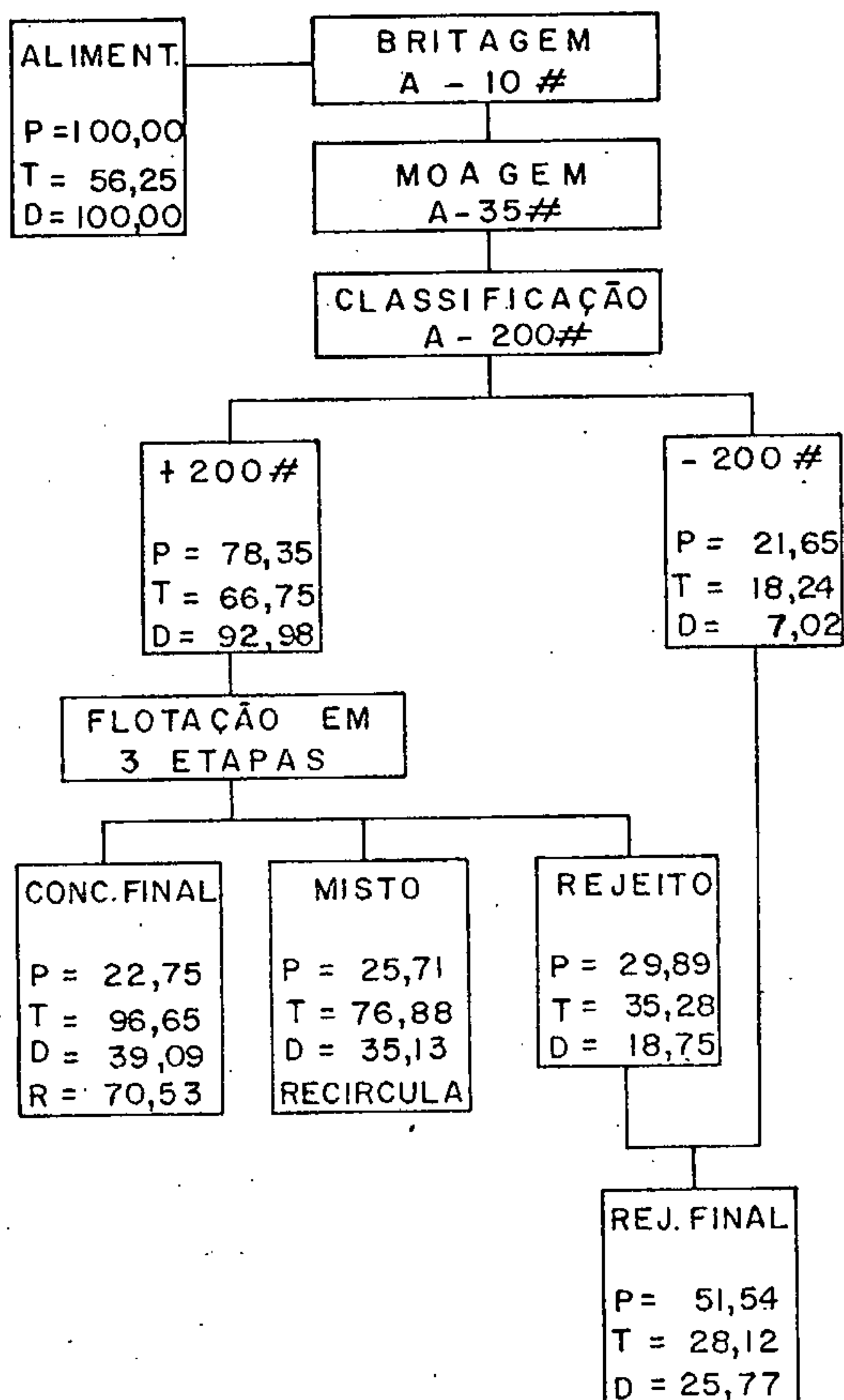


Fig. Nº 16: Balanço de massa do beneficiamento da cianita por flotação contínua, usando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como modificador de pH.

P = Distribuição do peso em %  
 T = Teor de cianita em %  
 D = Distribuição da cianita em %  
 R = Recuperação da cianita em %

FRAÇÕES	P E S O S %			TEOR - CIANITA %			DISTRIB. CIANITA NO AFUNDADO %	RECUP. CIANITA TOTAL ACUM. %	DISTRIB. TOTAL %
	Afund.	Flut.	Total	Afund.	Flut.	Total			
1/2" - 1/4"	15,77	38,23	54,00	92,99	43,20	57,74	47,03	25,67	54,59
1/4" - 8	8,77	14,13	22,90	95,81	37,17	58,75	60,96	40,03	23,55
8 - 14	3,81	3,89	7,70	97,14	27,55	61,98	77,55	45,51	8,36
14 - 28	2,64	1,76	4,40	98,84	13,33	64,64	91,75	51,08	4,98
28 - 48	2,48	1,12	3,60	98,93	10,98	71,60	95,23	55,37	4,51
48 - 200	-	-	2,60	-	-	60,22			2,74
- 200	-	-	4,60	-	-	15,14			1,27
Alimentação	-	-	100,00	-	-	57,12			100,00

Tabela nº 20 : Resultados obtidos nos testes de concentração da cianita por meio denso.

Alimentações : frações granulométricas obtidas por classificação do minério britado a menos 1/2".

Meio denso : iodeto de metileno ( $d = 3,3 \text{ g/cm}^3$ ).

FRAÇÕES (malhas)	PESOS %				TEOR CIANITA %				DISTRIB. CIANITA NO CONCENT. PARC.	DISTRIB. CIANITA TOTAL
	CONCENTRADO	MISTO	REJEITO	TOTAL	CONCENTRADO	MISTO	REJEITO	TOTAL		
10/28	-	-	-	1,43	-	-	-	99,00	100,00	2,60
28/48	13,65	0,20	1,13	14,98	60,00	73,00	60,70	78,50	92,93	21,61
48/100	2,46	14,43	14,15	31,04	90,90	83,00	89,60	72,49	9,93	41,35
100/200	1,37	11,99	6,93	20,29	97,50	73,00	30,00	89,99	10,97	22,36
- 200	-	-	-	32,27	-	-	-	20,33	-	12,08
Alimentação				100,00				54,42		100,00

Tabela nº 21: Resultados obtidos nos testes de concentração da cianita por mesagem.

Alimentações: frações granulométricas, obtidas por classificação do minério moído a 93 % e menos 35 malhas.

PRODUTOS	PESO %	TEOR DE CIANITA (%)	DISTRIBUIÇÃO DA CIANITA ( % )	RECUPERAÇÃO ( % )
Concentrado (Afundado)	24,54	93,99	40,38	50,58
Rejeito (Flutuado)	52,35	41,57	38,10	
Alimentação	75,90	58,04	78,14	

Tabela nº 22 : Resumo dos resultados obtidos nos testes de concentração em meio denso com a fração - 1/2" + 8 malhas.

PRODUTOS	PESO %	TEOR DE CIANITA (%)	DISTRIBUIÇÃO DA CIANITA ( % )	RECUPERAÇÃO ( % )
Concentrado	17,49	82,88	26,65	72,33
Misto	26,62	78,42	38,35	
Rejeito	22,21	49,80	20,31	
Alimentação	66,32	70,01	85,32	

Tabela nº 23 : Resumo dos resultados obtidos nos testes de concentração por mesagem com a fração granulométrica -28 + 200 malhas.

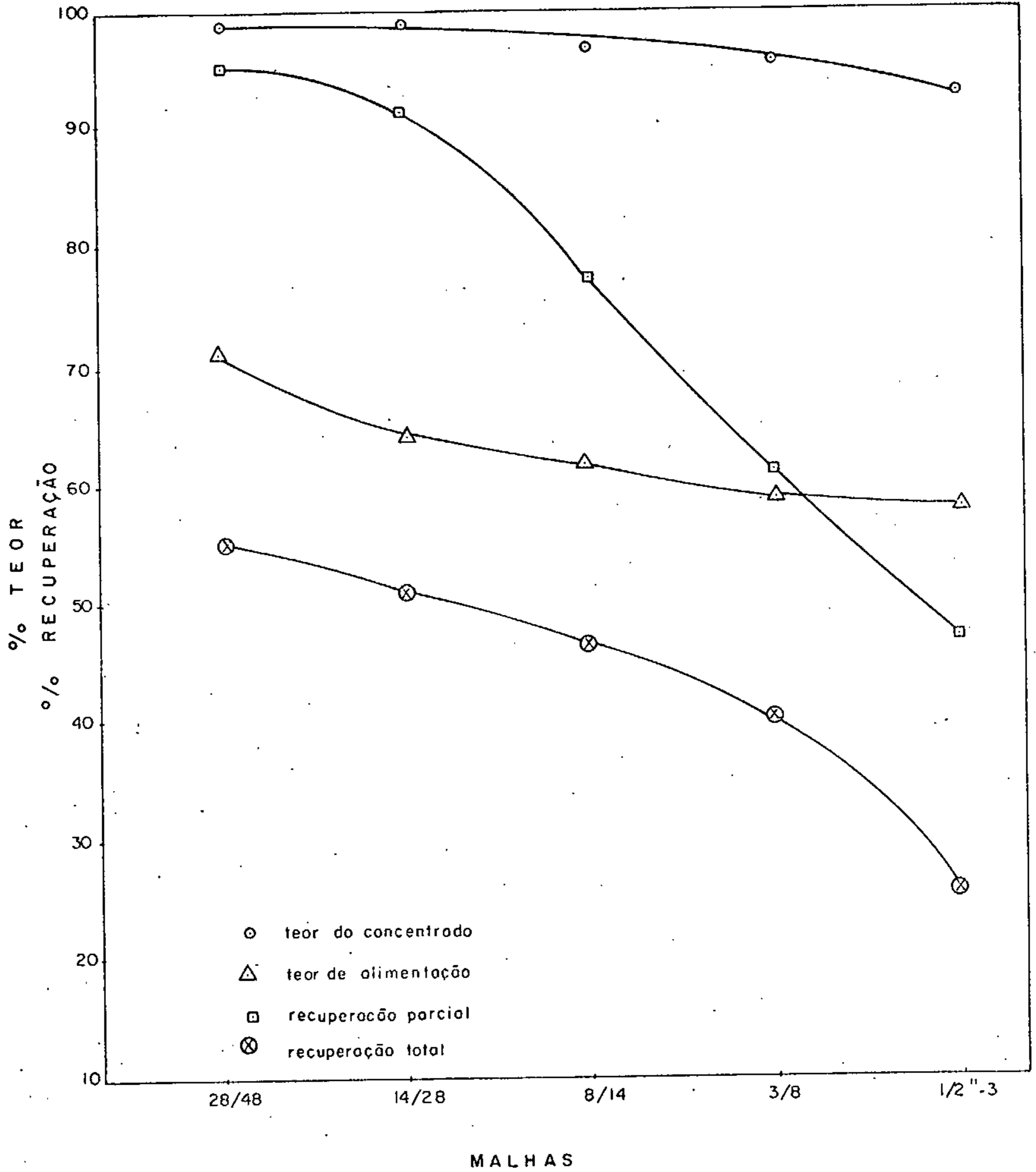


Fig. Nº 17: Relação entre os teores da alimentação e do concentrado, e recuperação parcial e total da cianita em função da granulometria.

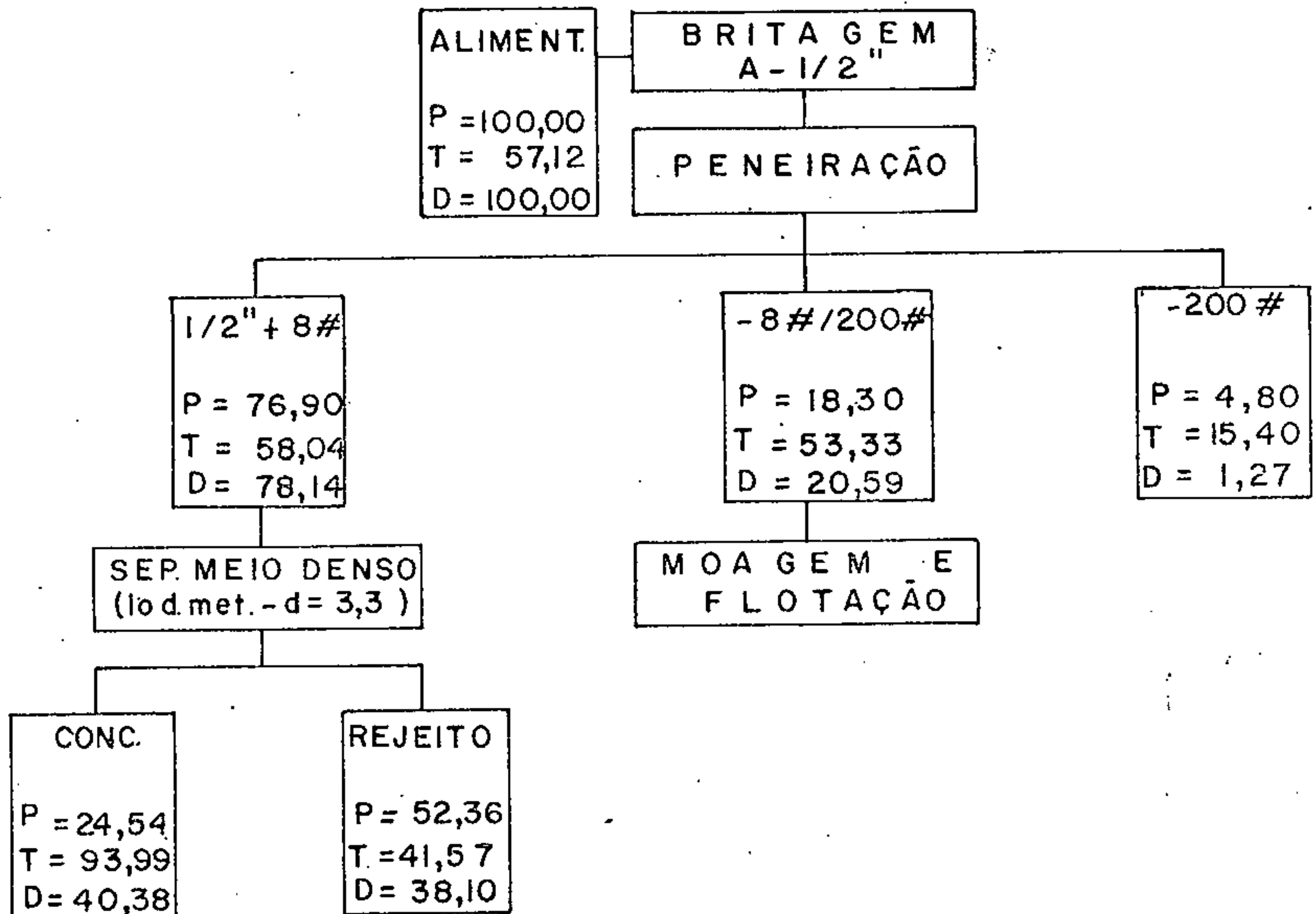


Fig. N<sup>o</sup>18 : Balanço de massa do beneficiamento da cianita por meio denso da fração  $-1/2 + 8$  malhas, seguido de moagem e flotação da fração  $8/200$  malhas. A fração menos 200 malhas e os rejeitos da flotação e do meio denso, são descartados.

P = Distribuição do peso em %  
 T = Teor de cianita em %  
 D = Distribuição de cianita em %

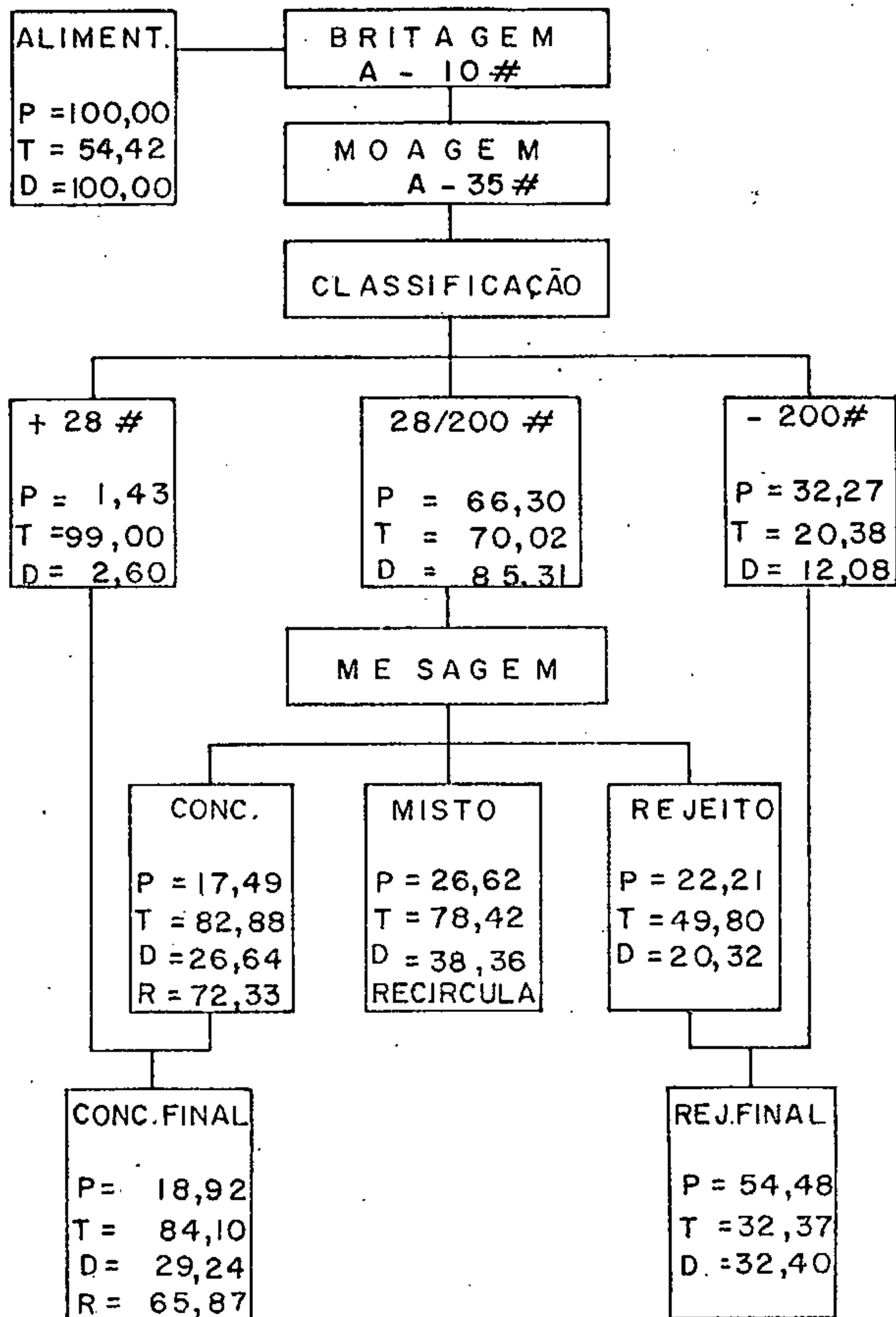


Fig.Nº 19 :Balanço de massa do beneficiamento da cianita por mensagem.

P= Distribuição do peso em %  
 T= Teor de cianita em %  
 D= Distribuição da cianita em %  
 R= Recuperação da cianita em %



VII - CONCLUSÕES

## VII. - CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nos testes de laboratório com o minério procedente da localidade de Boa Esperança, Mateus Leme, chegou-se às seguintes conclusões:

1. A cianita está liberada a partir de 35 malhas ( 0,42 mm ).

2. A ganga, formada principalmente por pirofilita e talco, de dureza muito menor que a cianita, após moagem distribuiu-se nas frações mais finas. Assim, uma operação de classificação em 200 malhas, após moagem do minério a 93 % a menos 35 malhas, resultou numa perda de 10 % de cianita e numa correspondente redução de massa da ordem de 30 %. Por outro lado, o teor de cianita da fração mais 200 malhas elevou-se para 70 %.

3. A flotação da ganga em pH = 10,5, utilizando-se a combinação dos reagentes acetato de dodecil amina e óleo diesel como coletores, Dow Froth 250 como espumante e CaO ou Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> como modificadores de pH, apresentou-se efetiva e tecnicamente viável. Duas etapas de limpeza permitiram obter um concentrado com teor de 97 %, sendo a recuperação total de 71 % ( fichas nº 15 e 16, respectivamente, páginas 63 e 64 ).

A utilização de CaO ou Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> não teve influência nos resultados obtidos nos testes de flotação cruzada, daí se recomendar CaO por ser mais barato.

4. Os concentrados obtidos apresentaram composição química e resistência pirosfópica (PCE) exigidos pelo mercado consumidor.

5. Nas condições em que foram efetuados os testes de concentração gravimétrica, as técnicas de separação em meio denso e mesagem não são recomendáveis para o tratamento do minério em questão.

VIII. - RECOMENDAÇÕES

## VIII - RECOMENDAÇÕES

1. Aproveitando as diferentes características da cianita e da ganga, dar prosseguimento aos estudos de moagem, visando verificar as viabilidades de concentrar a cianita em certa faixa granulométrica, de modo a extrair um concentrado de cianita de alto teor apenas por peneiramento; as frações restantes seriam beneficiadas por flotação, cujo circuito, neste caso, poderia ser mais reduzido.

É de interesse verificar a possibilidade de se realizar uma operação de deslamagem, prévia à flotação, numa granulometria mais fina (400 malhas), a fim de reduzir as perdas de cianita.

2. Dar continuidade aos testes em escala contínua, onde seria melhor avaliado a percentagem de sólidos na flotação, adição de reagentes, recirculação dos produtos intermediários e tipo de água.

3. Estender este resultado a minérios de outras jazidas que se considerem importantes; e mais, outras alternativas de beneficiamento, tal como separação em meio denso, deveriam ser consideradas para minérios mais puros e de liberação mais grossa.

IX - BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. Seeley W. Mudd Series - Industrial Minerals and Rocks, pp. 773 - 787, AIME, New York, 1960.
2. Cooper, J.D. - Mineral Facts and Problems, pp. 1059-1072, USBM, 1970.
3. Barone, R.H.D.T. - Perfil Analítico da Cianita, boletim nº 7, DNPM, 1973.
4. Gutierrez, R.S. e Cunha Pinto, C.C. - Cianita, Estudo de Economia Mineral, CPRM, 1975.
5. Manser, R.M. - Handbook of Silicate Flotation, Warren Spring Laboratory, London, 1974.
6. Taggart, A.F. - Handbook of Mineral Dressing, John Wiley & Sons, 1954.
7. Froth Flotation - 50th Anniversary Volume, AIME, New York, 1962.
8. Sutherland, K.L. and Wark, I.W. - Principles of Flotation, Aus. Int. M.M., Melbourne, 1955
9. Gaudin, A.M. - Principles of Mineral Dressing, McGraw-Hill Book Company, New York and London, 1939.
10. Van Noy, R.M., Petersen, N.S. and Gray, J.J. - Kyanite Resources in the Northwestern United States, USBM, RI 7426, 1970.
11. Klassen, V.I. and Mokrousov, V.A. - An Introduction to the Theory of Flotation, Butterworths, London, 1963.
12. American Cynamid Company - Mining Chemicals Handbook.

13. Browning, J.S., Clemmons, B.H. and Mc Vay, T.L. - Recovery of Kyanite and Sillimanite from Florida Beach Sands, USBM, RI 5274, november 1956
14. Wyman, R.A. - Flotation of Canadian Kyanite, Mining Engineering, vol. 10, n° 1, pp. 111-112, Transaction AIME vol. 211, 1958.
15. Shell, H.R. and Martin, G.W. - Chemical Analysis of a Calcined Kyanite from Kenya, East Africa, USBM, RI 5557, 1959.
16. Browning, J.S. and Gayle, J.B. - Rapid Evaluation of Spodumene and Kyanite Samples by Heavy Liquid Separation, USBM, RI 5657, 1960.
17. Browning, J.S. and Bennett, P.E. - Beneficiation of Georgia Kyanite Ore, USBM, RI 7376, april, 1970.
18. Rule, A.R. and McClain, R.S. - Beneficiation of Idaho Kyanite - Bearing Materials, USBM, RI 7745, 1973.
19. Llewellyn, T.O. and Browning, J.S. - Continuous Heavy Liquid Concentration of Kyanite, USBM, RI 7481, march, 1971.



X - ANEXO ( FOTOMICROGRAFIAS )

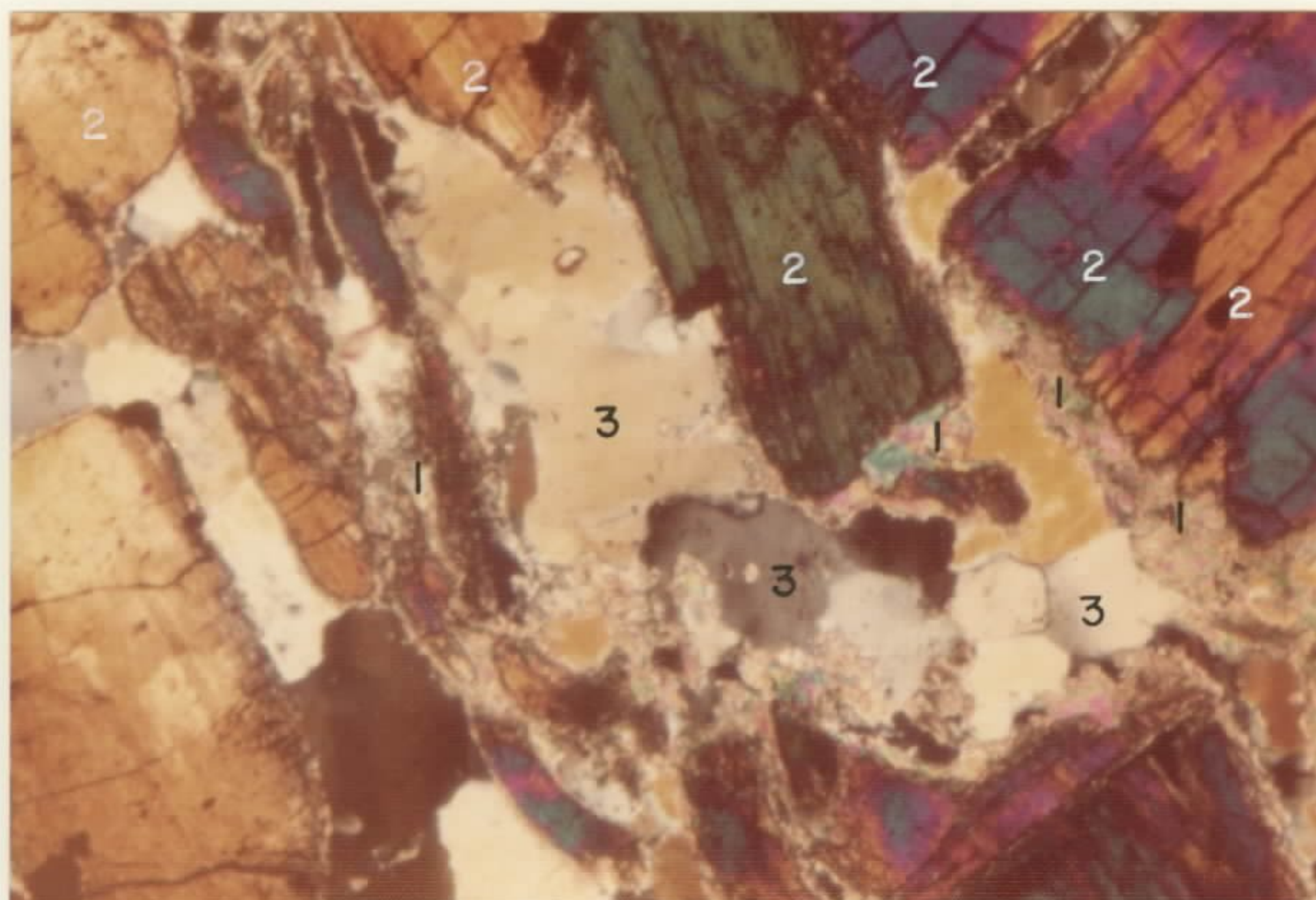


Foto nº 1: 1. Cianita evidenciando alterações para pirofilita.

2. Cristais Prismáticos de Cianita.

3. Cristais Xenomórficos de Quartzo.

Nicol Cruzado

Aumento: 15,62 X

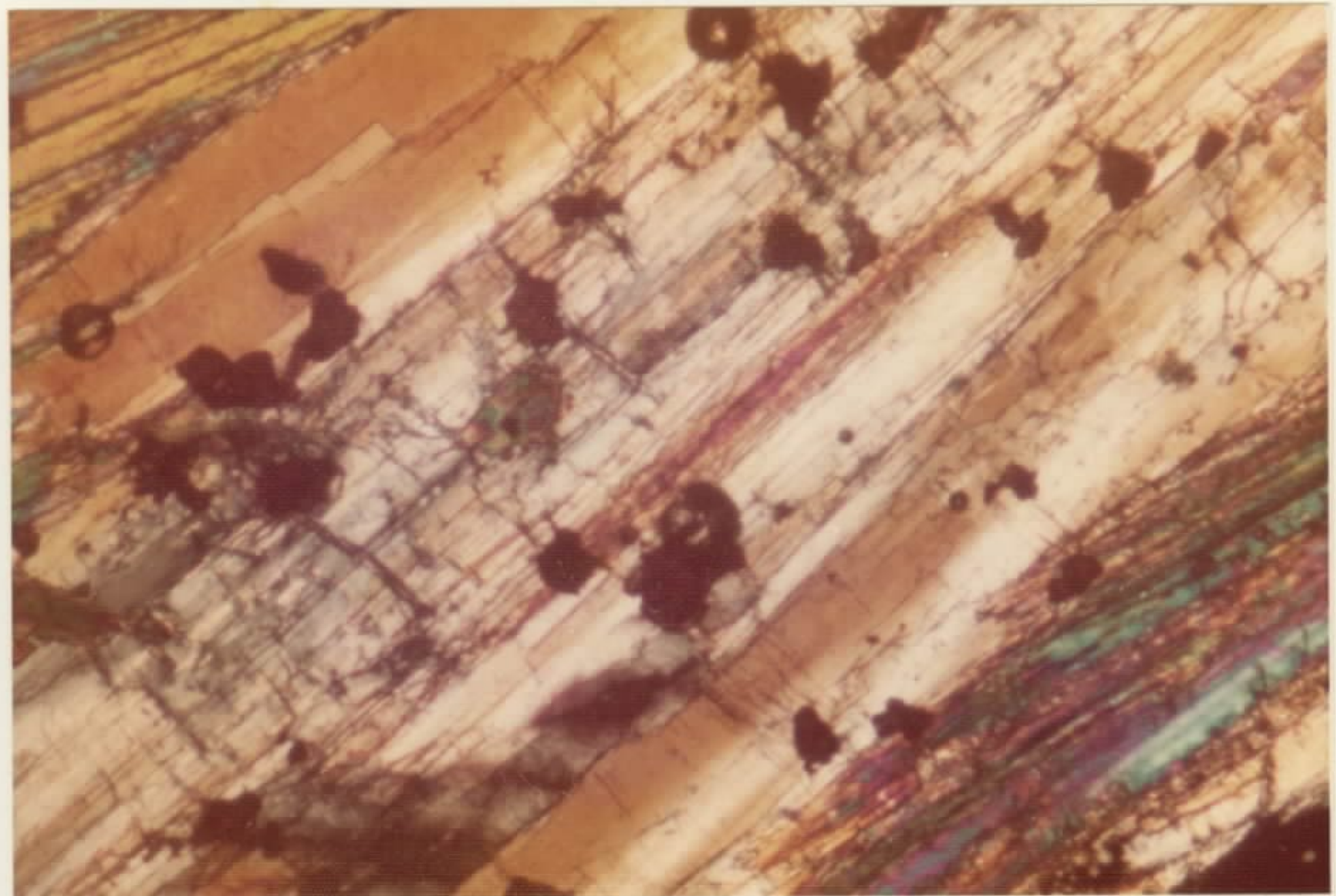


Foto nº 2: Cianita Prismática com inclusões granulares de ru  
tilo, salientando-se típicas linhas de clivagem.

Nicol Cruzado

Aumento: 15,62 X

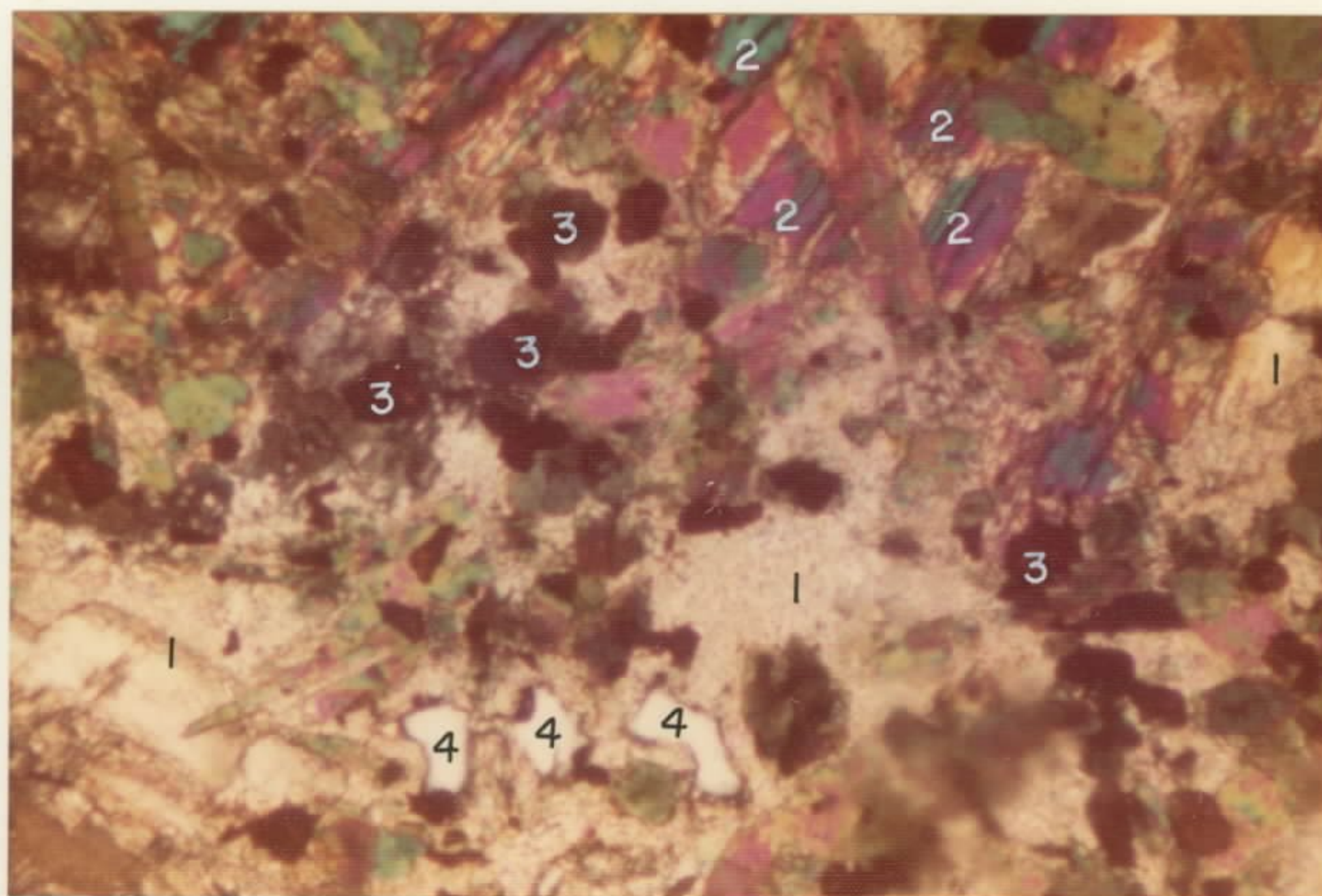


Foto nº 3: 1. Aglomerados Pirofiliticos.

2. Cianita.

3. Grãos de Rutilo.

4. Quartzo Xenomórfico.

Nicol Cruzado

Aumento: 15,62 X

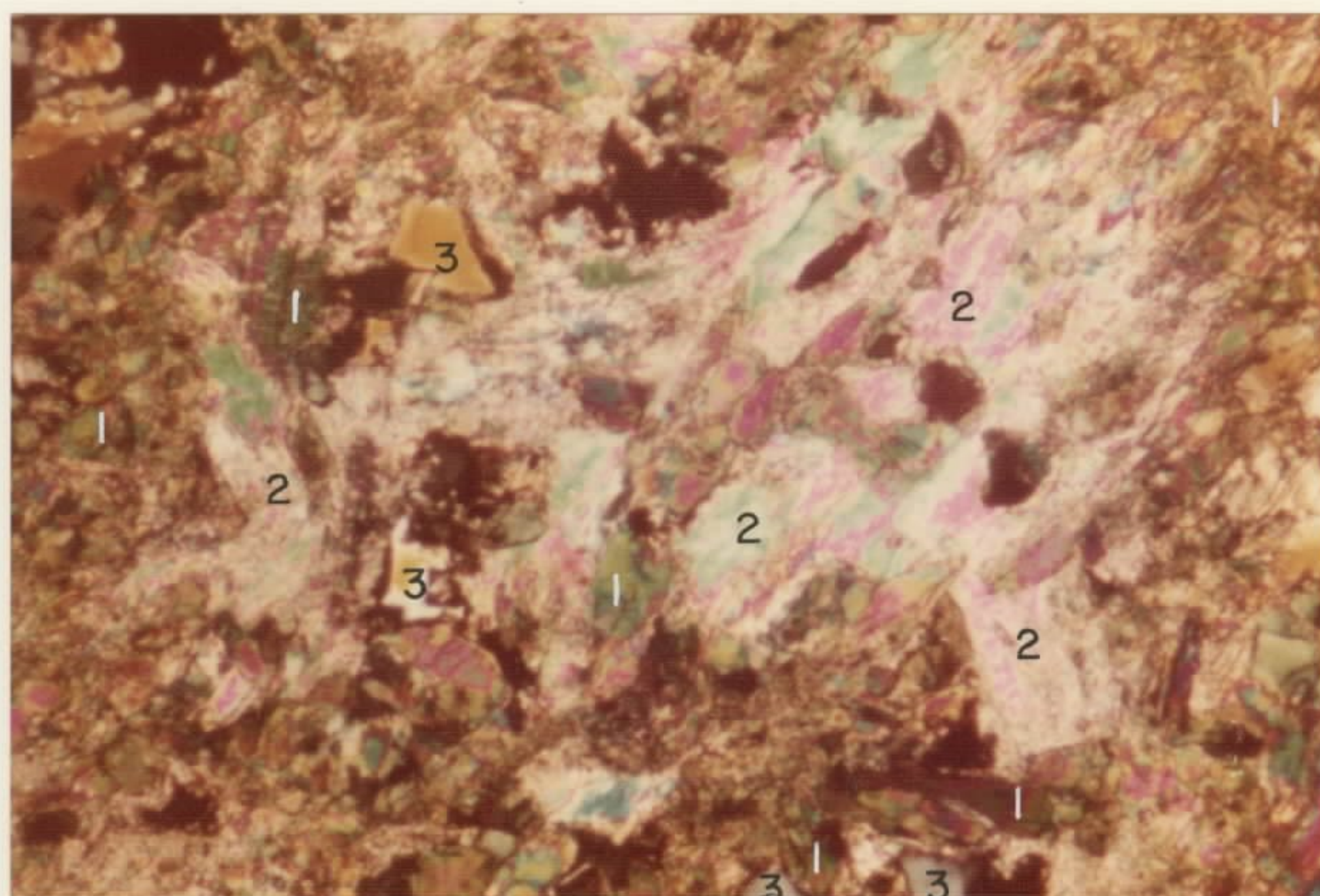


Foto nº 4: 1. Turmalina.  
2. Talco.  
3. Quartzo.  
Nicol Cruzado  
Aumento: 15,62 X