

## APLICAÇÃO DA FLUTAÇÃO EM COLUNA A MINÉRIOS BRASILEIROS

J. A. Aquino<sup>1</sup>, I. L. D. Luz<sup>1</sup>, S. V. Coelho<sup>1</sup>,  
M. L. M. Oliveira<sup>1</sup>, J. S. Benedetto<sup>1</sup>, M. D.  
Fernandes<sup>1</sup>

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear-CDTN vem desenvolvendo desde 1985 estudos em colunas de flotação, consideradas um avanço tecnológico na área de concentração mineral. As colunas de flotação caracterizam-se por permitir um maior aproveitamento dos recursos minerais, incluindo finos e ultrafinos de minérios, bem como pela obtenção de concentrados com maiores níveis de teor e recuperação. O CDTN dispõe de unidades piloto, com colunas de 2 polegadas, onde foram desenvolvidos 17 projetos de pesquisa para os seguintes minérios: fosfato, carvão, talco, bauxita, lítio, ouro, fluorita, zinco e ferro. Estes projetos, sumariados no presente trabalho, demonstraram a aplicação da coluna de flotação para todos os minérios estudados e apresentaram resultados superiores aos obtidos em célula mecânica.

## APPLICATION OF THE COLUMN FLOTATION TO BRAZILIAN ORES

Since 1985 CDTN - Center for Nuclear Technology Development - has been involved with the study of the column flotation technique, considered a technological break-through in the field of mineral concentration. Higher levels of grade and recovery in the concentrates are obtained with the column flotation technique and, more important, fines and ultrafines can be treated using the technique thus allowing for a better overall usage of the mineral resources. CDTN has two-inches diameter pilot column units were used for seventeen different research projects, treating minerals such as phosphate, coal, talc, bauxite, lithium, gold, fluorite, zinc and iron. These studies, summarized in this work, show superior results than those obtained using mechanical cell flotation for everyone of the minerals studied.

<sup>1</sup> CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear  
CEBRN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear  
Estrada Duque de Caxias, 381 - Belo Horizonte - MG - 31274  
Brasil - Belo Horizonte - Minas - 31274

## INTRODUÇÃO

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear-CDTN vem trabalhando desde 1985 na aplicação da tecnologia de flotação em coluna a minérios brasileiros. Neste período foram realizados 17 trabalhos com minérios de fosfato, fluorita, talco, bauxita, ferro, ouro, titio, zinco e carvão.

Os trabalhos foram realizados com empresas de mineração e tiveram como objetivo a aplicação da flotação em coluna visando a substituição de células convencionais ou implantação de novos projetos. O uso desta técnica permitiu a recuperação de minério até uma faixa granulométrica mais fina e a obtenção de concentrados com teores e/ou recuperações mais elevadas do que nos circuitos com células convencionais.

O CDTN dispõe de instalações com capacidade máxima de 50 kg/h, em função do minério alimentado, constituídas das etapas de moagem, classificação, deslamagem, escuragem, condicionamento e flotação.

Os estudos foram realizados em plantas piloto constituídas de uma ou duas colunas com diâmetro de 8,0 centímetros e altura variando de 3,5 a 7,2 metros.

## MINÉRIOS ESTUDADOS

Apresenta-se a seguir uma descrição sucinta com condições e resultados obtidos utilizando a técnica de flotação em coluna para os minérios: fosfato, fluorita, talco, bauxita, ferro, ouro, titio, zinco e carvão. Nas Figuras 1 a 3 estão apresentados os circuitos utilizados para cada minério.

Figura 1 - Fluxogramas dos Circuitos de Fluorita, Talco e Lítio.

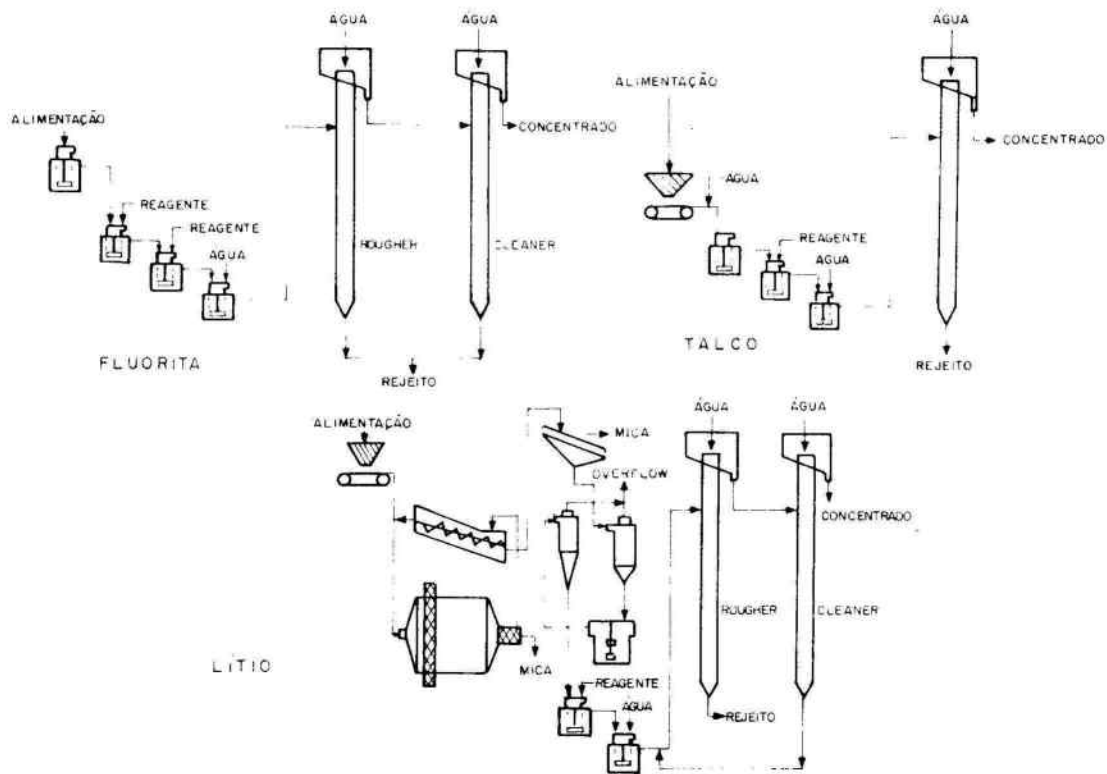


Figura 2 - Fluxogramas dos Circuitos de Ferro, Ouro e Zinco.

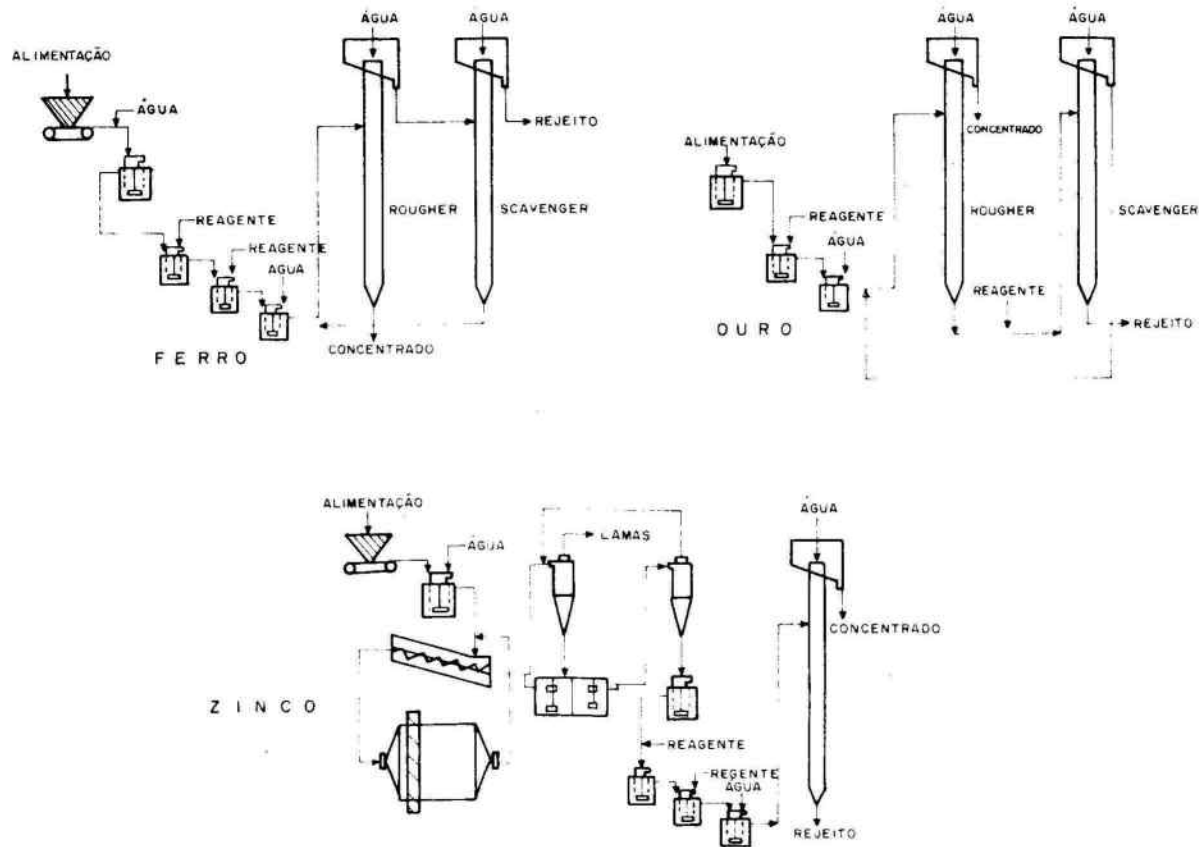
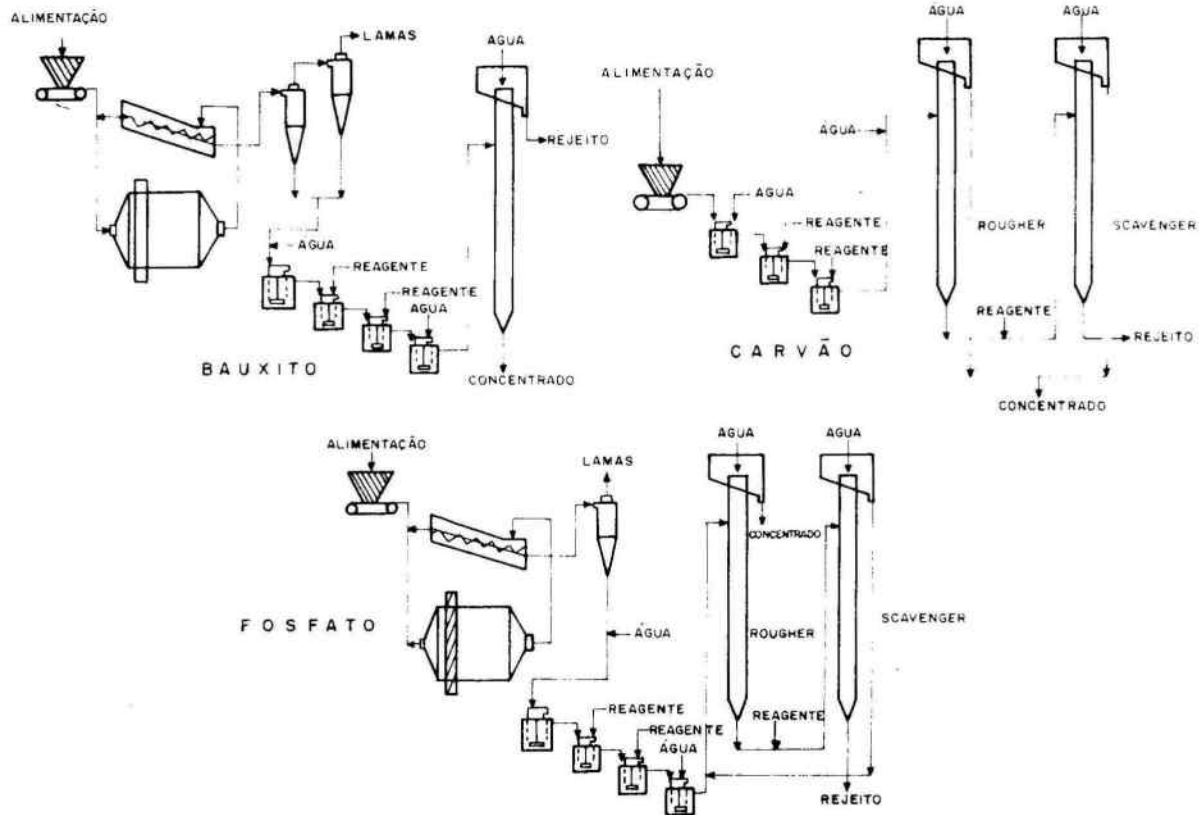


Figura 3 - Fluxogramas dos Circuitos de Bauxito, Carvão e Fosfato.



## Minério de Fluorita

Foram realizados estudos de flotação em coluna com três minérios de fluorita, sendo um deles com rejeito de uma planta industrial de célula convencional.

Neste trabalho estão apresentadas as condições e resultados obtidos utilizando uma amostra de minério coletada no produto da moagem, "overflow" do ciclone de classificação, de uma unidade industrial de flotação convencional. Esta amostra foi reduzida abaixo de 105  $\mu\text{m}$  (150 malhas) e deslamada em 3,0  $\mu\text{m}$  ( $d_{50}$ ), com perda de 6,4% de  $\text{CaF}_2$ . O material de alimentação da flotação, constituído principalmente de fluorita, limonita/goethita, feldspato e quartzo, apresentou as seguintes distribuição granulométrica e composição química.

TAMANHO ( $\mu\text{m}$ )	% ACUMULADA	COMPOSTO	TEOR (%)
105	2,5	$\text{CaF}_2$	56,4
74	19,5	$\text{SiO}_2$	15,7
53	36,0	$\text{CaCO}_3$	1,6
44	47,3	$\text{P}_2\text{O}_5$	1,2
37	53,2		

Para obtenção do concentrado de fluorita grau ácido definiu-se o circuito constituído de duas colunas, sendo uma "rougher" e outra "cleaner".

As condições e resultados obtidos na flotação foram:

CONDIÇÕES		RESULTADOS (%)	
Silicato de Sódio (g/t)	280,0	Teor de $\text{CaF}_2$	95,8
Amido (g/t)	470,0	Recuperação de	
óleo de Arroz/Tal <sup>1</sup> oil (g/t)	294,0	$\text{CaF}_2$	97,5
pH	10,2		

#### Minério Fosfático

Foi estudada a concentração de fosfatos, por flotação em coluna provenientes de quatro jazidas, com diferentes faixas granulométricas compreendidas entre 590  $\mu\text{m}$  (28 malhas) e 3,0  $\mu\text{m}$ .

Neste trabalho estão apresentadas as condições e resultados obtidos com uma amostra de minério fosfático de difícil concentração devido à liberação da apatita ocorrer em granulometria fina. As composições química e mineralógica da amostra foram:

COMPOSTO	TEOR (%)	MINERAL	TEOR (%)
$\text{P}_2\text{O}_5$	16,4	Apatita	35
$\text{SiO}_2$	39,9	Argila/Sericita	42
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,9	Quartzo	22
$\text{Al}_2\text{O}_3$	7,1	Opacos	1
$\text{MgO}$	1,0		

O minério foi reduzido abaixo de 105 $\mu\text{m}$  (150 malhas) e deslamado em 5,0  $\mu\text{m}$  ( $d_{50}$ ) com uma perda de 18,8% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

O material deslamado, alimentação da flotação, apresentou a seguinte distribuição granulométrica.

TAMANHO ( $\mu\text{m}$ )	% ACUMULADA
105,0	0,2
74,0	3,7
53,0	19,1
37,0	37,9
27,4	50,0
19,0	64,7
9,4	83,4

As condições e resultados obtidos na flotação utilizando um circuito constituído de duas colunas, "rougher" e "scavenger", foram:

CONDIÇÕES		RESULTADOS (%)	
Silicato de Sódio (g/t)	781	Teor de $P_2O_5$	30,7
Tall oil (g/t)	964	Recuperação de $P_2O_5$	97,3
pH	10		

Estudos de análise microscópica realizados no concentrado demonstraram a impossibilidade de elevar o teor de  $P_2O_5$  devido a inclusão de sílica nas partículas de apatita.

#### Minério de Talco

Foi realizado um estudo de flotação em coluna com minério de talco visando obtenção de um concentrado de alta pureza.

O trabalho foi realizado com uma amostra constituída



predominantemente de talco e clorita apresentando as seguintes distribuição granulométrica e composição química:

TAMANHO ( $\mu\text{m}$ )	% ACUMULADA	COMPOSTO	TEOR (%)
74,0	7,2	Talco	94,4
53,0	20,3	SiO <sub>2</sub>	60,5
40,7	36,7	MgO	31,6
30,2	38,4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,6
20,7	53,3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1
11,9	83,4	Brancura	78,0

Utilizando apenas uma coluna de flotação com baixa taxa de alimentação, em função da massa flotada, foram obtidos concentrados de talco com elevado grau de pureza.

As condições e resultados obtidos foram:

CONDIÇÕES		RESULTADOS	
Espumante (g/t)	100,0	Teor de Talco (%)	98,3
pH (natural)	8,7	Recuperação de Talco	93,2
		Brancura	87,0

#### Minério de Bauxito

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a concentração de um minério bauxítico, através de flotação de quartzo e depressão da gibbsita, em coluna de flotação.

A amostra era constituída basicamente de quartzo e gibbsita, com a seguinte composição química em base calcinada:

COMPOSTO	TEOR (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62,0
SiO <sub>2</sub>	36,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1

O minério foi reduzido abaixo de 210  $\mu\text{m}$  (65 malhas) e deslamado em 3  $\mu\text{m}$  ( $d_{50}$ ) com perda de 11,4% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

A granulometria do material de alimentação da flotação foi a seguinte:

TAMANHO ( $\mu\text{m}$ )	% ACUMULADA
149,0	7,1
105,0	21,6
74,0	34,3
37,0	60,8
18,5	77,8
10,0	91,1

Utilizando apenas uma coluna foi obtido o concentrado na especificação desejada com as seguintes condições e resultados na flotação:

CONDIÇÕES		RESULTADOS (%)	
Depressor (g/t)	524,0	Teor de $\text{Al}_2\text{O}_3$	93,4
Coletor (g/t)	963,0	Recuperação de	
pH	10,5	$\text{Al}_2\text{O}_3$	88,3

#### Minério de Ferro

O trabalho foi realizado com a fração abaixo de 147  $\mu\text{m}$  (100 malhas) de uma amostra de minério de ferro, constituída basicamente de hematita e quartzo. O objetivo do trabalho foi a obtenção de concentrado com teor de Fe > 86% e  $\text{SiO}_2$  < 1,5%.

A amostra utilizada para o estudo de flotação em coluna

apresentou as seguintes distribuição granulométrica e composição química:

TAMANHO ( $\mu\text{m}$ )	% ACUMULADA	COMPOSTO	TEOR (%)
147	1,6	Fe	45,1
105	8,1	SiO <sub>2</sub>	33,3
74	22,0	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,54
53	38,6	P	0,016
44	52,3	Mn	0,012
37	57,1		

Para obtenção de concentrado na especificação desejada, através da flotação do quartzo e depressão da hematita, foi definido um circuito constituído de duas colunas, "rougher" e "scavenger", com as seguintes condições e resultados:

CONDIÇÕES		RESULTADOS (%)	
Amido (g/t)	412,0	Teor de Fe	69,4
Amina (g/t)	50,4	Teor de SiO <sub>2</sub>	0,44
pH	11,2	Recuperação de Fe	95,8

#### Minério de Ouro

Este trabalho compreendeu o estudo de flotação em coluna com minério de ouro livre e associado a sulfetos.

A amostra utilizada na realização do trabalho foi coletada na alimentação da flotação de uma unidade industrial, de célula convencional, contendo o ativador sulfato de cobre e pH ajustado.

O minério apresentou as seguintes distribuição granulométrica e composição química e mineralógica.

TAMANHO(µm)	% ACUMULADA	ELEMENTO	TEOR	MINERAL	TEOR(%)
210	1,9	Fe	22,2%	Quartzo	49,0
149	9,3	Si	20,8%	Carbonatos	34,0
105	20,9	CO <sub>2</sub>	16,6%	Opacos	17,0
74	32,1	S	3,4%	Clorita	5,0
53	42,0	As	2,3%	Sericita	2,0
44	50,6	Au	6,5g/t	Limonita/ Goethita	1,0
37	55,2				

Os carbonatos são constituídos de siderita, ankerita e dolomita e os opacos de pirrotita, arsenopirita e pirita.

Para concentração de ouro livre e associado a sulfetos foi definido um circuito constituído de duas colunas: "rougher" e "scavenger". Utilizando este circuito e as condições otimizadas, apresentadas abaixo, foram obtidos os seguintes resultados:

CONDIÇÕES	
Isobutil Xantato de Sódio (g/t)	149,0 ("Rougher")
Isobutil Xantato de Sódio (g/t)	114,0 ("Scavenger")
Hostafлот LSB (g/t)	89,0
Hostafлот LET (g/t)	30,0
Flotantol D-14B (g/t)	15,0
pH	8,0

RESULTADOS	
Teor de Au (g/t)	35,7
Teor de S (%)	27,9
Recuperação de Au (%)	92,5
Recuperação de S (%)	96,8

## Mineria de Lítio

Foi realizado um estudo de flotação em coluna com minério de lítio, espodumênio, visando obtenção de um concentrado de alto teor.

As características físicas e químicas da amostra estudada (abrasividade elevada, formação de incrustações e limonitização) acarretaram a necessidade de um estudo específico para adequação de equipamentos e processo.

São apresentadas a seguir as composições química e mineralógica da amostra utilizada:

COMPOSTO	TEOR (%)	MINERAL	TEOR (%)
$Li_2O$	1,3	Quartzo	33
$Na_2O$	4,0	Plagioclásio	26
$K_2O$	2,8	Espodumênio	18
$SiO_2$	71,4	Microclina	16
$Fe_2O_3$	1,3	Moscovita	3
$Al_2O_3$	15,6	Diopsídio	1
		Biotita	1

O material foi reduzido a granulometria adequada à flotação e deslamado em dois estágios com escrubagem intermediária.

A deslamagem em 15  $\mu m$  ( $d_{50}$ ) acarretou uma perda de 8,4%

de lítio e obteve-se um produto para alimentação da flotação com a seguinte distribuição granulométrica.

TAMANHO ( $\mu\text{m}$ )	% AGUMULADA
297	2,3
210	16,8
149	36,2
105	58,8
74	73,2
53	82,3
37	92,9

O estudo de flotação em coluna realizado para concentração de espodumênio permitiu a obtenção de um concentrado de alto teor através da utilização de um circuito constituído de duas colunas "rougher" e "cleaner".

As condições e resultados obtidos na flotação foram:

CONDIÇÕES		RESULTADOS (%)	
Óleo de Arroz (g/t)	686,0	Teor de $\text{Li}_2\text{O}$	5,6
Hidróxido de Sódio (kg/t)	1,7	Recuperação de $\text{Li}_2\text{O}$	83,2
pH	7,2		

#### Minério Oxidado de Zinco

A concentração por flotação dos minerais oxidados de zinco é complexa devido a similaridade nas propriedades das partículas dos minerais de zinco e da ganga.

Neste trabalho foi estudada a concentração por flotação em coluna de uma amostra, cuja composição química está apresentada abaixo, proveniente da bacia de rejeitos de finos.

de uma unidade industrial de classificação e lavagem de minério oxidado de zinco.

COMPOSTO	TEOR (%)
ZnO	12,0
SiO <sub>2</sub>	35,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,8
CaO	5,1
MgO	6,9

Considerando a característica deste minério e a presença de quantidade significativa de finos foi realizado um estudo exaustivo para definição das condições de flotação.

O material foi reduzido à granulometria adequada de flotação através de moagem, escrubagem e deslamagem.

A deslamagem, embora tenha sido realizada, numa granulometria fina ( $d_{50} = 3 \mu\text{m}$ ), acarretou uma perda de 23,8% de zinco.

O material deslamado, alimentação da flotação, apresentou a seguinte distribuição granulométrica e composição mineralógica:

TAMANHO ( $\mu\text{m}$ )	% ACUMULADA	MINERAL	TEOR (%)
149,0	3,3	Limonita/Goethita	31
105,0	10,4	Dolomita	20
74,0	19,6	Argila/Sericita	19
53,0	30,1	Hemimorfita	19
37,0	47,1	Quartzo	8
18,2	61,2	Smithsonita	3
8,9	81,1		

O estudo de flotação realizado em uma coluna permitiu a obtenção de concentrado de zinco na especificação desejada.

Os resultados obtidos na flotação foram:

RESULTADOS (%)	
Teor de ZnO	40,2
Recuperação de ZnO	65,7

A recuperação de zinco não foi elevada com a introdução de uma coluna "scavenger".

#### Carvão

Este trabalho foi realizado com uma amostra de carvão metalúrgico visando a obtenção de um produto com especificação adequada à fabricação de coque.

A amostra para realização do estudo de flotação em coluna foi coletada na pilha de estocagem de rejeitos de uma unidade industrial de flotação convencional e apresentou as seguintes distribuição granulométrica e composição química.

TAMANHO (µm)	% ACUMULADA
590	3,2
420	10,0
297	16,9
210	26,1
149	38,5
105	49,5
74	56,6
53	62,5
37	68,3

ELEMENTO	TEOR (%)
Carbono Fixo	52,7
Matéria Volátil	30,7
Matéria Carbonosa	83,4
Cinza	16,6
Enxofre Píritico	0,5
Enxofre Sulfático	0,8
Enxofre Orgânico	0,1

Para concentração da matéria carbonosa foi definido um circuito constituído de duas colunas: "rougher" e "scavenger".



Utilizando este circuito nas condições otimizadas, apresentadas abaixo, foram obtidos os seguintes resultados:

CONDIÇÕES			RESULTADOS (%)	
Querosene (g/t)	"Rougher"	1033	Teor de Cinza	13,0
	"Scavenger"	556	Teor de Matéria Carbonosa	87,0
Flotanol D-14B (g/t)	"Rougher"	77,2	Recuperação de Cinza	63,3
	"Scavenger"	56,8	Recuperação de Matéria Carbonosa	83,4
pH (natural)		2,8		

Neste trabalho os reagentes foram calculados em relação a alimentação de cada circuito utilizado.

#### CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram a aplicabilidade da técnica de flotação em coluna para diferentes tipos de minério com granulometrias grosseira ou fina.

Os trabalhos realizados demonstraram que o princípio de funcionamento e as características operacionais da coluna de flotação permitem a obtenção de concentrados com elevado teor e recuperação do mineral de interesse e baixo nível de contaminantes.

Considerando os resultados obtidos e a simplicidade dos circuitos de flotação em coluna, em relação à flotação convencional, os trabalhos realizados poderão contribuir para uma redução nos custos de aproveitamento dos minérios estudados.