

## Avaliação da deslamagem de minério fosfático utilizando diferentes geometrias de hidrociclones

### Evaluation of phosphate ore desliming using different hydrocyclones geometries

DOI:10.34117/bjdv7n3-653

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 25/03/2021

#### **Maria Virgínia da Cunha**

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas  
Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET – MG  
Endereço: Av. Min. Olavo Drummond, 25 – Amazonas, Araxá – MG  
E-mail: mariavcunha01@gmail.com

#### **João Victor da Silva Alves**

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas  
Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET – MG  
Endereço: Av. Min. Olavo Drummond, 25 – Amazonas, Araxá – MG  
E-mail: joaoalves@cefetmg.br

#### **Michelly dos Santos Oliveira**

Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas  
Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET – MG  
Endereço: Av. Min. Olavo Drummond, 25 – Amazonas, Araxá – MG  
E-mail: michelly@cefetmg.br

#### **RESUMO**

Os hidrociclones são amplamente utilizados para classificação na indústria mineral. Dentro deste conceito, esse trabalho visa quantificar os efeitos das variáveis operacionais de três hidrociclones de geometrias diferentes na separação de lamas do minério fosfático. Foram avaliados três níveis de pressão de alimentação, mantendo o percentual mássico de sólidos da polpa. Observou-se que o corte dos hidrociclones diminuiu com o aumento da pressão e com a redução do diâmetro do *vortex* do hidrociclone. Dos três equipamentos utilizados, o que apresentou maior eficiência foi o hidrociclones de 20 mm e diâmetro interno do *apex* de 3 mm.

**Palavras-chave:** Tratamento de minérios, Hidrociclone, Minério fosfático, Deslamagem.

#### **ABSTRACT**

Hydrocyclones are widely used for classification in the mineral industry. Within this concept, this work aims to quantify the effects of the operational variables of three hydrocyclones of different geometries in the separation of sludge from phosphate ore. Three levels of feed pressure were evaluated, maintaining the mass percentage of pulp solids. It was observed that the cut of the hydrocyclones decreased with the increase of the pressure and with the reduction of the diameter of the *apex* of the hydrocyclone. Of the three equipments used, the one with the highest efficiency was the 20 mm hydrocyclone with an *apex* internal diameter of 3 mm.

**Keywords:** Mineral processing, Hydrocyclones, Phosphate ore, Desliming.

## 1 INTRODUÇÃO

A jazida de minério fosfático de Tapira é uma das maiores do Brasil, sua extração é fundamental por se tratar de um dos principais produtos para fabricação de fertilizantes e essencial para a produção de alimentos no país (Bezerra e Brod, 2013). No fluxograma de beneficiamento do minério de Tapira o mesmo é classificado antes da etapa de concentração. A classificação sendo realizada por meio de centenas de hidrociclones de 26", 20", 15", 10", 6", 4" e 2", agrupados em cerca de 15 baterias (Silva, 2016).

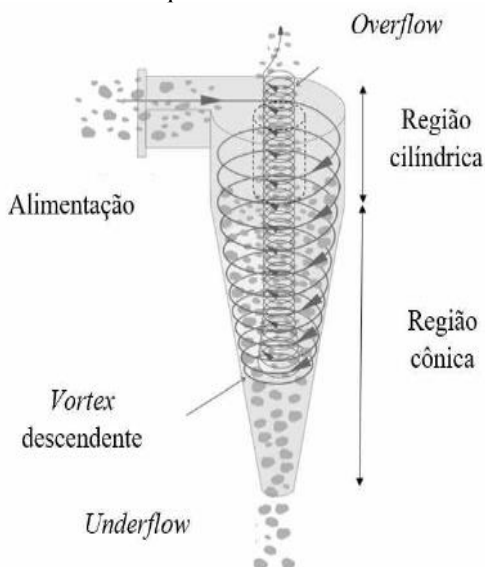
A classificação é uma operação que se baseia na separação por tamanho de partículas em um meio fluido (geralmente água) de acordo com a velocidade que essas partículas atravessam o meio. Através dessa operação, duas frações de amostras podem ser retiradas: o *underflow* (afundado) onde se encontram a maioria das partículas mais grosseiras e o *overflow* (transbordado), onde se encontram predominantemente as partículas mais finas. Existem vários equipamentos de classificação, dentre eles se destaca o hidrociclone (Valadão e Araújo, 2007; Luz *et al.*, 2018).

De acordo com Wills e Napier-Munn (2006), os hidrociclones são constituídos por uma parte cilíndrica e outra cônica e por três aberturas, sendo uma abertura de entrada (*inlet* ou injetor) e duas de saída (*apex e vortex finder*), como indicado na Figura 1. A polpa mineral é alimentada sobre pressão através do injetor e assim, as partículas grosseiras tendem a afundar mais rapidamente no campo centrífugo e isso faz com que ocupem o volume do ciclone próximo às paredes. Ao chegarem nessa região, essas partículas sofrem com o atrito (perdendo sua velocidade) e são arrastadas pelo *vortex* descendente até chegarem à abertura de saída onde há a descarga de *underflow*. Por outro lado, as partículas mais finas são empurradas para o interior do equipamento e são levadas para a parte superior através do fluxo ascendente de água e com isso, há a descarga do *overflow* (Chaves, 2012; Cavalcante *et al.*, 2019; Menezes *et al.*, 2020).

Os hidrociclones apresentam diversas vantagens em relação a outros classificadores, dentre elas: baixo investimento, controle operacional simples, não utilização de partes móveis, além da facilidade e simplicidade de construção e manutenção (Gama *et al.*, 2017; Valadão e Araújo, 2007; Chaves, 2012). Outro ponto importante é que as dimensões geométricas de cada parte do hidrociclone são variáveis significativas no corte (tamanho de separação), na eficiência e na capacidade do equipamento (Couto e França, 2013; Barbosa *et al.*, 2002).

No processamento mineral os hidrociclones são aplicados principalmente em circuitos fechados de moagem, na operação de separação sólido-líquido e na deslamagem de minérios para posterior flotação (Luz *et al.*, 2018). A deslamagem é fundamental, pois as lamas podem prejudicar a flotação. A elevada área de superfície das partículas muito finas proporcionam maior consumo de reagentes de flotação; maior rigidez da espuma, dificuldade para o contato bolha-partícula (dificulta adesão das partículas grossas) e maior viscosidade da polpa. Além disso, os finos possuem elevada energia superficial que causa adsorção não seletiva de reagentes nas superfícies minerais; maior hidratação das superfícies, maior solubilidade dos minerais e cobertura das partículas grossas pelas finas (*slime coating*), inibindo a flotação (Baltar, 2010; Oliveira, 2006). No processamento do minério fosfático é realizada a deslamagem retirando as partículas excessivamente finas antes do condicionamento e flotação (El-Shall *et al.*, 2004).

Figura 1 - Desenho esquemático de um hidrociclone.



Fonte: Silva (2019).

Com a otimização da deslamagem gera-se um menor volume de lamas, melhor aproveitamento do bem mineral, maior lucratividade e redução na geração de rejeitos. Portanto, diante das informações levantadas, sabendo da relevância do beneficiamento da rocha fosfática e conhecendo a influência da lama nos processos subsequentes, justifica-se o estudo da deslamagem do minério fosfático.

Diante do exposto, essa pesquisa visou analisar três hidrociclones de geometrias diferentes, aplicados à classificação de minério fosfático, buscando a geometria mais

adequada para obtenção da máxima eficiência na deslamagem. Para cada hidrociclone, avaliou-se também o efeito da variação da pressão de admissão na classificação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A amostra utilizada para a realização desse estudo é proveniente de uma mina de fosfato localizada em Tapira - Minas Gerais. O minério fosfático utilizado possui massa específica igual a  $2,78 \text{ g/cm}^3$ , determinada pelo método de picnometria, conforme procedimento descrito por Sampaio *et al.* (2007).

### 2.1 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

A preparação da amostra foi realizada no laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET – MG, Campus Araxá. A amostra passou pelas etapas de escalpe, homogeneização e quarteamento antes de ser alimentada ao hidrociclone.

O escalpe (peneiramento) foi realizado na malha 60# (abertura de 0,25mm) para o hidrociclone de 50 mm e na malha de 100# (0,149mm) para o hidrociclone de 37 mm. Inicialmente, foi feito apenas um escalpe na malha de 60# (0,25 mm), escolhida por ser o tamanho de corte usado na flotação de fosfato. Quando esse material foi alimentado no hidrociclone de 37 mm houve um entupimento que impedia o progresso do teste. Para que esse problema fosse resolvido, avaliou-se o diâmetro interno do *apex* desse ciclone (2 mm) e com isso, constatou-se então a necessidade de se fazer um escalpe na malha de 100# (0,149mm). A Figura 2 mostra o peneiramento do material.

A homogeneização e o quarteamento do minério foram realizados pelo método do empilhamento. Foi construída uma pilha alongada (através de uma empilhadeira), onde o material passante no peneiramento foi devidamente homogeneizado e separado para os testes de hidrociclone através do quarteamento da pilha. A Figura 3 mostra a pilha após o quarteamento.

Figura 2 – Escalpe.



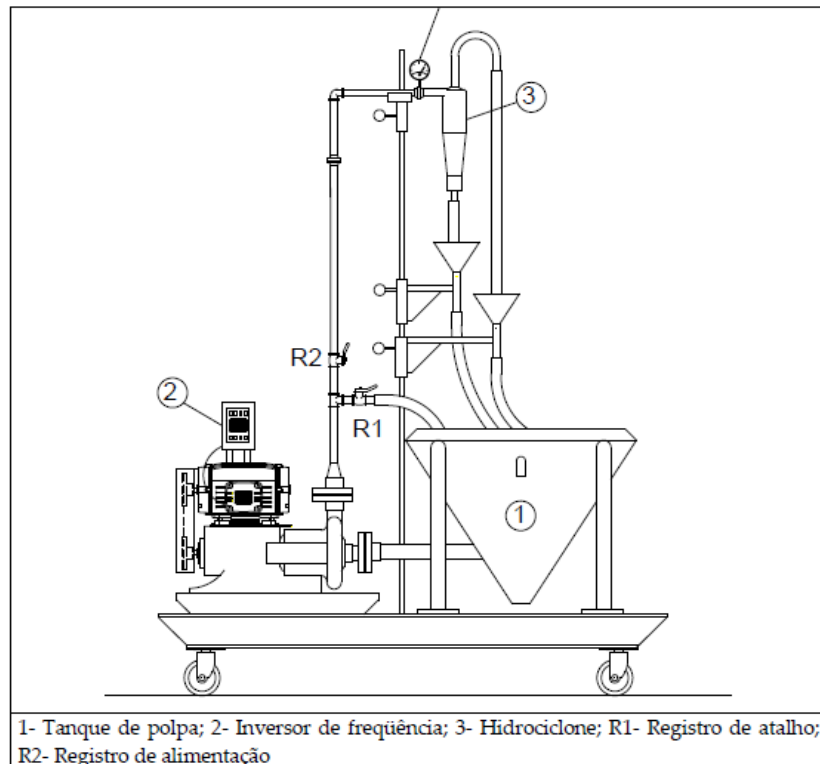
Figura 3 - Pilha de homogeneização após o quarteamento.



## 2.2 TESTES DE HIDROCICLONE

Os testes de hidrociclone foram realizados utilizando um conjunto de hidrociclonagem de escala laboratorial (CHP - 2). Esse conjunto contém hidrociclone, registro, reservatório para polpa (com agitador) e uma bomba de polpa, como mostra a Figura 4. Para a realização dos testes, foram utilizados três hidrociclones *Krebs* de geometrias diferentes. A Tabela 1 apresenta as dimensões geométricas desses equipamentos e a Figura 5 mostra a unidade experimental bem como os hidrociclones utilizados que se encontram destacados.

Figura 4 - Esquema da unidade experimental utilizada.



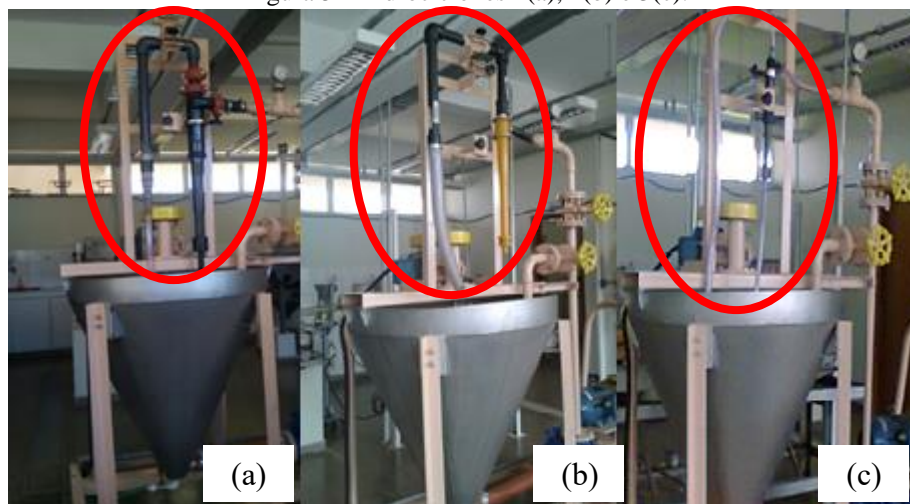
Fonte: Sampaio *et al.* (2007).

Tabela 1 - Dimensões geométricas dos hidrociclones utilizados.

Hidrociclone	Diâmetro interno da parte cilíndrica (Dc)		Diâmetro interno do apex (Du)		Diâmetro interno do vortex (Do)		Relação Du/Dc
	mm	”	mm	”	mm	”	
1	50,00	2	10,00	0,39	13,00	0,51	0,20
2	37,00	1 ½	2,00	0,08	6,00	0,24	0,05
3	20,00	¾	3,00	0,12	7,00	0,28	0,15

Para cada teste foi preparada uma polpa (suspensão) com percentual mássico igual a 5 (5,26 kg). Primeiramente o tanque foi preenchido com água até uma marca que indicava 100 litros, logo após foi ligado o agitador e posteriormente a bomba, e gradativamente e continuamente a amostra foi colocada no tanque.

Figura 5 - Hidrociclones 1(a), 2(b) e 3(c).



Deu-se início a alimentação de polpa no hidrociclone, fechando o registro R1 e, ao mesmo tempo, abrindo o registro R2, de forma lenta e gradativa até estabilizar o valor da pressão de alimentação da polpa no manômetro de acordo com o programado para cada ensaio. Os fluxos do *overflow* e do *underflow* foram redirecionados à caixa de bomba do tanque de alimentação do hidrociclone, trabalhando-se com o circuito fechado. Depois de cerca de cinco minutos, com o circuito em equilíbrio e a polpa de alimentação homogênea, foram realizadas as amostragens simultâneas das correntes de *underflow* e *overflow* para cada valor de pressão pré-estabelecido. Para cada um dos testes foram analisadas três diferentes pressões, 10 psi (68,95kPa), 20 psi (137,90 kPa) e 30 psi (206,85 kPa).

### 2.3 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS PRODUTOS

Os produtos provenientes do hidrociclone eram coletados para determinação do volume e massa da polpa e da distribuição granulométrica. A caracterização granulométrica

foi realizada por peneiramento a úmido. A Figura 6 mostra o equipamento utilizado para a análise granulométrica da alimentação, do *underflow* e do *overflow* de cada ensaio de hidrociclonagem. As peneiras utilizadas durante o peneiramento foram as de malhas 100# (0,149mm); 150# (0,106mm); 170# (0,088mm); 200# (0,074mm); 230# (0,063mm); 270# (0,053mm); 325# (0,044mm) e 400# (0,037mm).

Quando as amostras de *underflow* provenientes do hidrociclone de 50 mm foram coletadas, passaram por quarteamento manual para evitar sobrecarga nas peneiras e entupimento acarretados pela grande quantidade de material. Foram feitas três réplicas e para cada uma dessas amostras quarteadas foi feito um peneiramento a úmido. Para se chegar ao resultado final de análise granulométrica do *underflow*, nesse caso, foi feita a média dos valores encontrados em cada réplica. As demais amostras coletadas não precisaram passar pelo processo de quarteamento devido a pequena quantidade de material. Logo, os resultados obtidos na análise granulométrica foram referentes a todo o material coletado.

Figura 6 - Peneiramento a úmido.



## 2.4 CÁLCULOS REALIZADOS

A Eficiência Total (ET) de classificação, também denominada de partição, é a razão entre a vazão mássica de minério recuperado no produto *underflow* e a vazão mássica de sólidos alimentados no hidrociclone, calculada de acordo com a equação 1. A equação 2, é utilizada para o cálculo da partição de água, ou seja, RL (Razão de Líquido ou *by-pass*). O *by-pass* significa as partículas finas que se dirigiram para o *underflow*, arrastadas pelo fluxo

de água sem sofrer classificação. A equação 3, é utilizada para corrigir as curvas de partição, retirando assim a influência do *by-pass*. Essa equação pode ser chamada também de E'T (Eficiência Total Reduzida). Por fim, a equação 4, é usada para o cálculo do Eu (número de Euler). O número de Euler quantifica o consumo energético do equipamento através da razão entre a queda de pressão pela energia cinética por unidade de volume na parte cilíndrica.

$$ET = \frac{\text{Vazão de sólidos no underflow}}{\text{Vazão de sólidos na alimentação}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$RL = \frac{\text{Vazão de água no underflow}}{\text{Vazão de água na alimentação}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$E'T = \frac{ET - RL}{100 - RL} \cdot 100 \quad (3)$$

$$Eu = \frac{-(\Delta P)}{\frac{\rho \left(\frac{4Q}{\pi D^2}\right)^2}{2}} \quad (4)$$

Onde,

$\Delta P$  é a diferença de pressão entre a alimentação e a saída dos produtos (Pascal);

$\rho$  é a densidade do líquido na temperatura de operação (água)  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ ;

$Q$  é a vazão volumétrica de polpa na alimentação  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$ ;

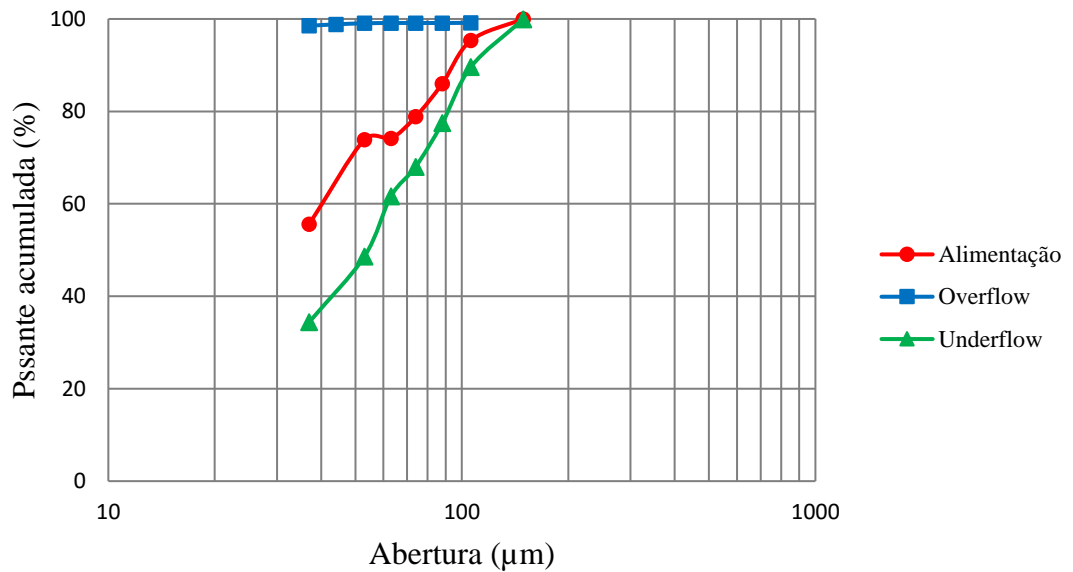
$D$  é o diâmetro interno da parte cilíndrica do hidrociclone (m).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 7 mostra a análise granulométrica após a classificação utilizando o hidrociclone de 37 mm (hidrociclone 2) e pressão de 10 psi. Percebe-se claramente a separação por tamanho realizada pelo hidrociclone devido ao posicionamento das curvas. A distribuição granulométrica do *overflow* é menor que a da alimentação, enquanto a granulometria do *underflow* é maior. Os demais hidrociclones (de 50 mm e 20 mm) apresentaram curvas com o mesmo comportamento.



Figura 7 - Análise granulométrica após a classificação utilizando o hidrociclone de 37 mm e pressão de 10 psi.



Para os três hidrociclones foram realizados testes variando a queda de pressão (pressão de admissão) em 10 psi, 20 psi e 30 psi. Na prática industrial considera-se como diâmetro de corte do classificador (ou tamanho de separação) o  $d_{95}$  do produto *overflow*, ou seja, a abertura de uma malha que deixa passar 95% do *overflow*. Os resultados das curvas de distribuição granulométrica obtidos com o produto *overflow* para o hidrociclones 1 (50 mm), 2 (37 mm) e 3 (20 mm) estão apresentados nas Figuras 8, 9 e 10, respectivamente. Observa-se nessas figuras que o corte diminuiu com o aumento da pressão de 10 psi até 30 psi.

Figura 8 - Curva granulométrica do *overflow* para o hidrociclone 1 (50mm).

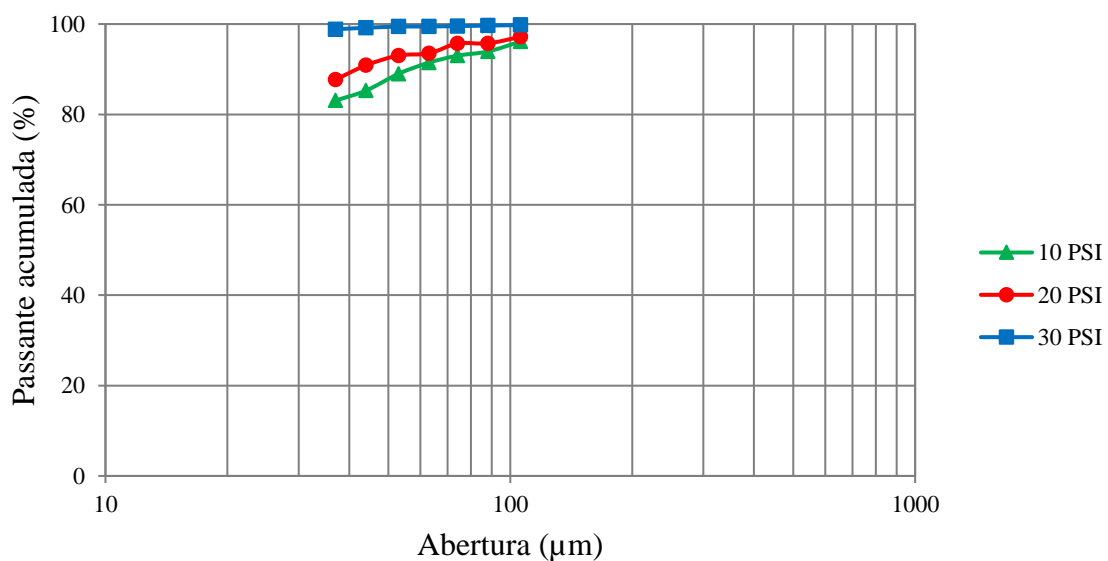


Figura 9 - Curva granulométrica relacionando as pressões no hidrociclone 2 (37mm).

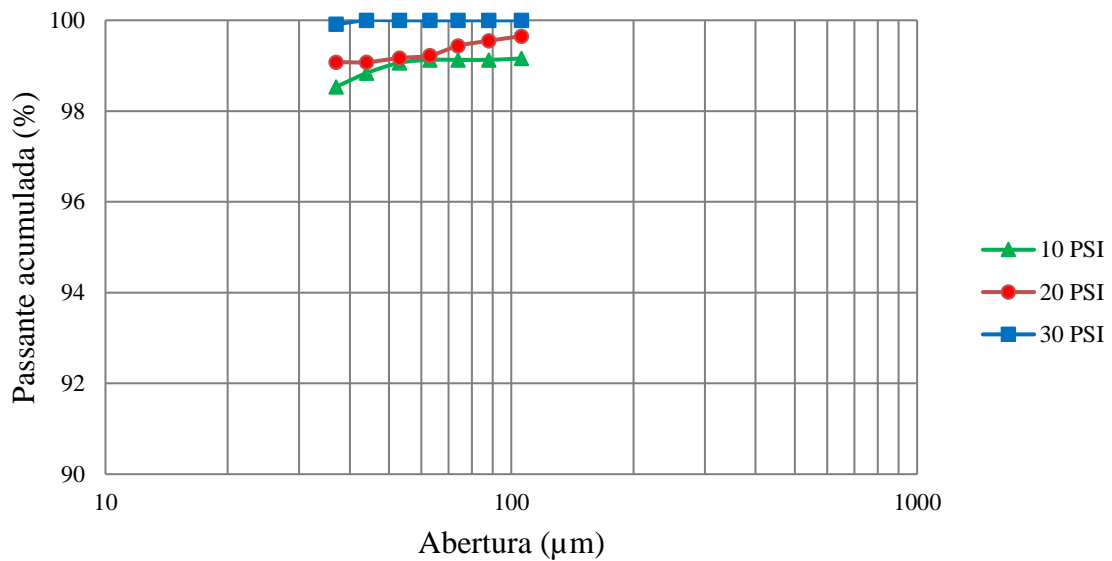
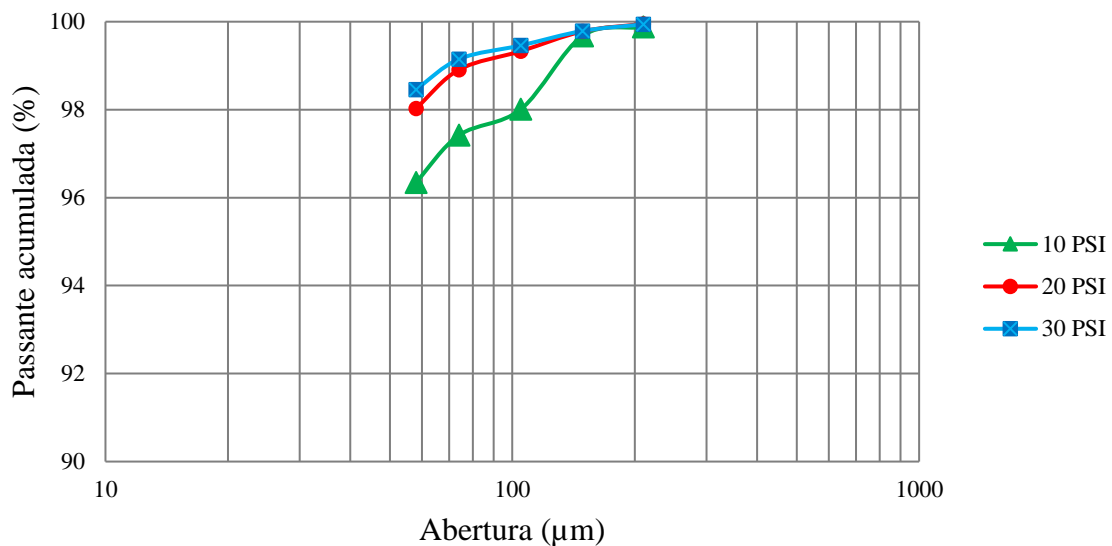


Figura 10 - Curva granulométrica relacionando as pressões no hidrociclone 3 (20mm).



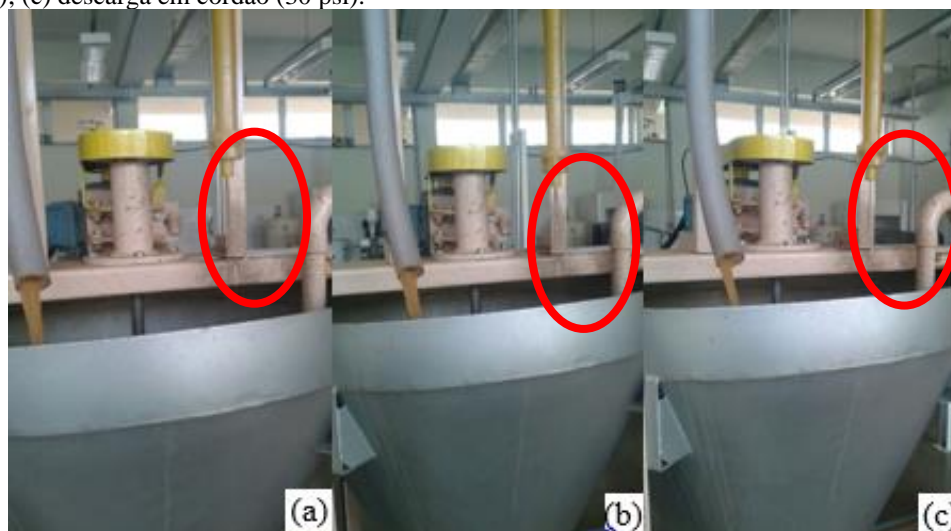
O aumento da pressão de admissão gera um aumento na velocidade tangencial e, por consequência, aumento da velocidade angular. Isso resulta em um campo centrífugo com maior intensidade, levando a uma maior chance de decantação centrífuga das partículas menores, diminuindo o diâmetro de corte (Luz *et al.*, 2018). Oliveira *et al.* (2015) também observaram que o corte do hidrociclone diminuiu com aumento da pressão de admissão e com a redução da porcentagem de sólidos (peso) da polpa de alimentação, utilizando um hidrociclone de 20mm de diâmetro e uma suspensão (polpa) de minério fosfático.

Durante os testes foram verificadas as descargas do *apex*. No hidrociclone 1 constatou-se que a descarga se manteve constante em cone (vértice de 20° a 30°) e no hidrociclone de 2 houve grandes variações na descarga à medida que a pressão era alterada. Isso é evidenciado nas Figuras 11 e 12 (a, b, c). Essas variações ocorriam desde a descarga em cordão, até a descarga em *spray*. Segundo Luz *et al.* (2018), quando a descarga está em cordão, significa que o diâmetro do *apex* é insuficiente e isso acarreta o direcionamento de partículas grossas para o *overflow*. Esse tipo de descarga pode ser utilizado intencionalmente quando se deseja adensar (separação sólido-líquido) e não classificar. Já a descarga em cone configura uma operação normal de classificação, onde o orifício do *apex* se encontra bem dimensionado. E por fim, na descarga em pulverizador (*spray*) o diâmetro do *apex* é maior que o recomendável, sendo assim, as partículas finas irão dirigir-se para o *underflow*. Dessa forma, a Figura 12 mostra que em determinadas pressões o diâmetro do *apex* se torna insuficiente para a realização do teste e com isso, partículas grossas se dirigem para a abertura de saída contrária, ou seja, para o *overflow*.

Figura 11 - Descarga em cone do *apex*, hidrociclone 1.

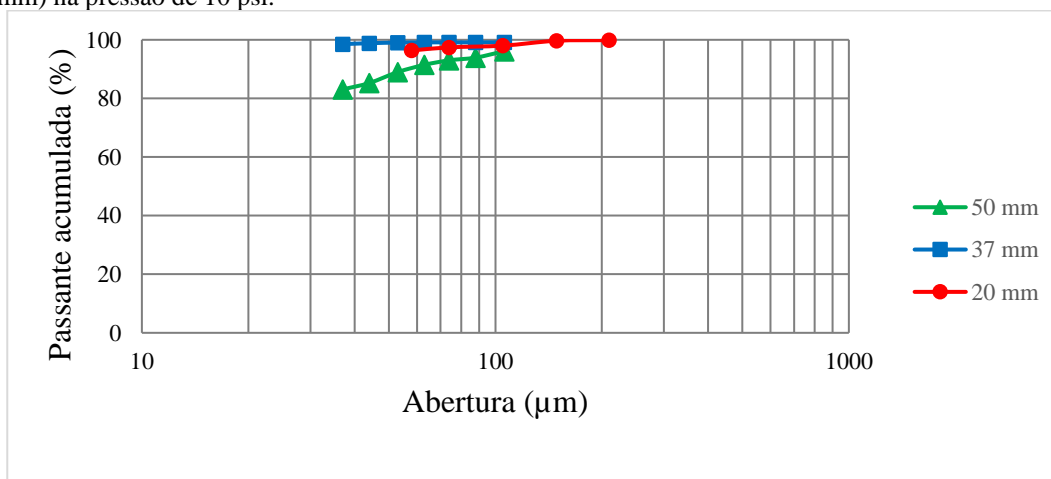


Figura 12 - Variação na descarga do *apex*, hidrociclone 2 (a) descarga em cordão (10 psi); (b) descarga em spray (20 psi); (c) descarga em cordão (30 psi).



A Figura 13 apresenta o resultado da análise granulométrica do *overflow* para os três hidrociclones quando se utilizou a pressão de 10 psi. Nota-se que com a diminuição do diâmetro interno do *vortex* ( $D_o$ ) do hidrociclone se deu o afinamento do corte,  $D_o$  para o hidrociclone 2 (6 mm) <  $D_o$  para o hidrociclone 3 (7 mm) <  $D_o$  para o hidrociclone 1 (13 mm). Além disso, a utilização de um hidrociclone de diâmetro da parte cilíndrica menor propiciou o afinamento do corte, já que as forças de separação (força centrífuga) variam inversamente com o raio (Chaves, 2012). Segundo Couto e França (2013), na comparação entre um hidrociclone de 50,8 mm e outro de 38,1 mm, o melhor resultado para deslamagem foi obtido no hidrociclone de menor diâmetro da parte cilíndrica. Assim, nota-se que hidrociclones que possuem menores diâmetros apresentam eficácia como deslamadores.

Figura 13 - Curva granulométrica relacionando a geometria dos hidrociclones 1 (50mm), 2 (37mm) e 3 (20mm) na pressão de 10 psi.



A Tabela 2 apresenta um comparativo entre a eficiência encontrada em cada ensaio para cada fluxo (alimentação, *underflow* e *overflow*) e nas três pressões diferentes (10, 20 e 30 psi), através do cálculo da eficiência total (ET), da razão de líquidos (RL) e da eficiência total reduzida (Couto e França, 2013). Além disso, também é mostrado o número de Euler (Eu) encontrado. Vale a pena ressaltar que a porcentagem de sólidos na alimentação apresentada na Tabela 2 foi obtida por meio de balanço de massa. Ademais, para o hidrociclone 1 descartou-se o teste com pressão de admissão igual a 30 psi, devido a constatação de erros na coleta dos dados de vazão mássica de polpa.

De uma forma geral, constata-se que para o processo de deslamagem, o melhor resultado foi obtido com o hidrociclone 3 ( $D_c = 20$  mm,  $D_u = 3$  mm e  $D_o = 7$  mm), utilizando para o teste uma polpa com 5% de sólidos (peso). Esse hidrociclone possui o menor diâmetro da parte cilíndrica dentre os avaliados. Sampaio *et al.* (2007) afirmam que hidrociclones com pequenos diâmetros são utilizados para a classificação em granulometrias finas, como no caso da deslamagem. No teste com pressão de admissão igual a 10 psi obteve-se uma eficiência total de 85,25% (partição) e eficiência total reduzida de 78,31%. Isto quer dizer que 78,31% das partículas foram recuperadas no *underflow* pelo efeito da separação no campo centrífugo, excluindo o efeito do arraste de finos pelo líquido (*by-pass*).

Tabela 2 - Comparação entre as eficiências dos hidrociclones.

Hidrociclone utilizado	Pressão (psi)	Corrente	Vazão de Polpa (g/min)	% Sólidos	ET(%)	RL(%)	E'T(%)	Número de Euler
1	10	<i>Overflow</i>	39924	2	75,53	20,28	69,31	758
		<i>Underflow</i>	12252	19				
		Alimentação	52176	6				
1	20	<i>Overflow</i>	52188	2	76,60	21,16	70,31	867
		<i>Underflow</i>	16584	17				
		Alimentação	68772	5				
2	10	<i>Overflow</i>	18024	2	68,81	4,86	67,22	1593
		<i>Underflow</i>	1518	40				
		Alimentação	19542	5				
2	20	<i>Overflow</i>	20604	1	75,16	6,28	73,50	2351
		<i>Underflow</i>	2172	37				
		Alimentação	22776	5				

2	30	Overflow	24006	1	75,09	6,59	73,34	2581
		Underflow	2604	36				
		Alimentação	26610	5				
3	10	Overflow	7215	1	85,25	31,99	78,31	394
		Underflow	4086	15				
		Alimentação	11598	6				
3	20	Overflow	9765	2	83,45	31,79	75,73	471
		Underflow	5224	14				
		Alimentação	14989	6				
3	30	Overflow	13256	1	84,25	29,79	77,57	405
		Underflow	6526	15				
		Alimentação	19782	6				

Nota-se também que no teste realizado com o hidrociclone que apresentou menor diâmetro do *apex* (hidrociclone 2), encontrou-se uma porcentagem de sólidos no *underflow* maior que nos demais testes, bem como uma baixíssima relação de líquidos. Assim como é citado no trabalho de Andrade *et al.* (2006), o diâmetro do *apex* possui relação inversa com a porcentagem de sólidos no *underflow*. Figueira e Pereira (1984) observaram que a máxima porcentagem de sólidos no *underflow* foi de 50,8% para a deslamagem da rocha fosfática à 2 atm de pressão e 5% sólidos em peso, foi conseguida usando um hidrociclone RWK 87 com *apex* de 4 mm e *vortex finder* de 16 mm.

Os maiores valores de número de Euler também foram obtidos nos ensaios com o hidrociclone de menor diâmetro de *apex* (hidrociclone 2 de diâmetro do *apex* igual a 2 mm), conforme esperado, pois quanto maior a restrição do orifício de *underflow*, maior perda de carga e maior o número de Euler, segundo Gonçalves *et al.* (2015). O aumento do número de Euler com o aumento da pressão foi mostrado por Salvador *et al.* (2013), semelhante ao evidenciado nesse trabalho. Eles utilizaram minério fosfático de Patos de Minas com percentual de sólidos similar em um hidrociclone de 30 mm de diâmetro da parte cilíndrica. O aumento da pressão de 0,9 a 1,8 bar proporcionou um aumento de 1200 a 1650 no número de Euler.

#### 4 CONCLUSÃO

O trabalho permitiu confirmar que o diâmetro de corte do hidrociclone é inversamente proporcional a pressão de admissão e diretamente proporcional ao diâmetro interno do *vortex* ( $D_o$ ) do hidrociclone. O hidrociclone que apresentou maior eficiência no que diz respeito à deslamagem foi o hidrociclone 3 de 20 mm de diâmetro de parte cilíndrica, independentemente da pressão de admissão que foi utilizada.

Devido à alta porcentagem de sólidos no *underflow* encontrada no hidrociclone 2 ( $D_u = 2$  mm) constata-se que esse tipo de equipamento (principalmente para uma queda de pressão igual a 10 psi) seria indicado para a realização de separação sólido-líquido. Enquanto o hidrociclone 3 ( $D_c = 20$  mm) foi mais adequado para classificação que para separação sólido-líquido, já o hidrociclone 1 ( $D_c = 50$  mm) apresentou maior capacidade contudo menor eficiência total reduzida.

#### AGRADECIMENTOS

Ao CEFET/MG por toda infraestrutura disponibilizada para a realização das atividades experimentais, a FAPEMIG pelas bolsas e a CAPES.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, V. T.; SANTOS, J. F.; ALEGRE, R. M. **Construction and evaluation of two hydrocyclones models for wastewater treatment**. In: XII Interamerican Congress of Chemical Engineering, 2006, Buenos Aires. "Innovation and Management for Sustainable Development", 2006.
- BALTAR, C.A.M. **Flotação no Tratamento de Minérios**. 2ª edição. Recife: Editora Universitária UFPE. 2010. 232p.
- BARBOSA, E. A.; VIEIRA, L. G. M.; ALMEIDA, C. A. K.; DAMASCENO, J. J. R.; BARROZO, M. A. S. **Avaliação do Comportamento de um Hidrociclone Filtrante de Krebs**. In: XXX Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (ENEMP), 2002, São Carlos. 30 ENEMP/Ufscar, 2002.
- BEZERRA, M. A.; BROD, J. A. **Mineralogia da Apatita do Complexo Alcalino Carbonatítico de Tapira**. Relatório de Iniciação Científica. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.
- CAVALCANTE, I. R. M.; STORTI, F. C.; FILHO, J. A. C.; NOLETO, L. G. Modelagem e simulação numérica de escoamento bifásico para estudo de hidrociclone via CFD. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 15362-15378, set. 2019.
- CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios: Bombeamento de polpa e classificação**. 4ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012, 303 p.
- COUTO, H. J. B.; FRANÇA, S. C. A. **Avaliação da deslamagem de um minério de ferro sulfetado utilizando diferentes geometrias de hidrociclones**. In: XXVI ENTEMME, 2013, Goiânia. Livro de Anais XXV ENTMMME, 2013, v.1, p.469-476.
- EL-SHALL, H.; ZHANG, P.; ABDEL-KHALEK, N.A.; EL-MOFTY, S. Beneficiation Technology of Phosphate: Challenges and Solutions. **Minerals & Metallurgical Processing**, v. 21, n. 1, p. 17-26, 2004.
- FIGUEIRA, M. E. M.; PEREIRA, E. F.S. Aplicação de Hidrociclone na deslamagem da rocha fosfática de Itataia – CE. In: X ENTEMME, 1984, Belo Horizonte. Livro de Anais X ENTMMME, 1984, v.1, p.575-584.
- GAMA, A. J. A.; FIGUEIRÊDO, J. M. R.; CARTAXO J. M.; GAMA M. A.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. **Influência das variáveis de processo do hidrociclone para tratamento de argilas esmectíticas**. In: Cerâmica, 2017, São Paulo. Livro de anais Cerâmica, 2017. V.63, p. 336 - 342.
- GONÇALVES, S.M.; KYRIAKIDIS, Y. N.; BARROZO, M. A. S.; VIEIRA, L. G. M. **Estudo do efeito do percentual volumétrico de sólidos alimentado em hidrociclone**. In: XXVI ENTEMME, 2015, Poços de Caldas. Livro de Anais XXVI ENTEMME, 2015, v. 3, p. 448 – 457.
- LUZ, A. B. da; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de Minérios**. 6ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018, 984 p.



MENEZES, R. R. do N.; DUTRA, R. P. S.; CAMPOS, L. F. A. Formulações de resíduos industriais tratados por hidrociclonagem para obtenção de cerâmica de revestimento. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v .6, n. 8, p. 54364-54383, ago. 2020.

OLIVEIRA, M. S.; RIBEIRO, M. C.; CUNHA, M. V. **Efeito de variáveis operacionais no corte de um hidrociclone**. In: XXVI ENTMME, 2015, Poços de Caldas. Livro de Anais XXVI ENTMME, 2015. v. 1. p. 599-605.

OLIVEIRA, P. S. **Rotas para recuperação de ferro fino contido no underflow do espessador de lama da usina de Conceição**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, 2006.

SALVADOR, F. F.; SILVA, D. O.; BARROZO, M. A. S.; VIEIRA, L. G. M. **Influência da concentração volumétrica na alimentação de hidrociclones filtrantes**. In: XXV ENTMME, 2013, Goiânia - Go. Livro de Anais XXV ENTMME, 2013. p. 201-208.

SAMPAIO, J. A; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais/Ed.** – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. Cap7. P. 137-154.

SILVA, F. B.R. **Análise das principais variáveis na flotação industrial do complexo de mineração de Tapira – MG**. 2016. 176p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2016.

SILVA, J. T. T. da. **Hidrociclonagem aplicada ao processamento físico de concentrado fosfático contendo minérios de terras raras**. 2019. 122p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2019.

VALADÃO, G. E. S., ARAUJO, A. C. de. **Introdução ao Tratamento de Minérios**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007, 234 p.

WILLS, B. A.; NAPIER-MUNN, T. J. **Mineral Processing Technology**. 7<sup>a</sup> ed. Austrália: Elsevier, 2006, 444p.