

**APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO USO DE CONCENTRADOR CENTRIFUGO A5-B  
PARA OBTENÇÃO DE CONCENTRADO DE MINÉRIO PRIMÁRIO DE Au –  
PEIXOTO DE AZEVEDO (MT)****MEDEIROS, L.H.S<sup>1,2</sup>, NASCIMENTO, N.D.C.<sup>3,4</sup>, SAMPAIO, C.H<sup>3,5</sup>, SILVA, J.G.A<sup>6</sup>, ANTÃO,  
B.S<sup>1,2,4</sup>, KUTKOSKI, R.F<sup>7</sup>**<sup>1</sup>Aurum Engenharia e Construção, Supervisão de Mina e Processamento Mineral,  
e-mail: luiz@aurumengenharia.com<sup>2</sup>Buriti Gold Mineração; <sup>3</sup>Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e  
Materiais (PPG3M); <sup>4</sup>Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Faculdade de Engenharia;<sup>5</sup>Universitat Politècnica de Catalunya; <sup>6</sup>Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais  
(REDEMAT) – UFOP; <sup>7</sup>Mineral Maquinas – Filão da Porteira**RESUMO**

Atualmente, num mundo cada vez mais competitivo, o rendimento das atividades humanas deve ser o maior possível, seja através da melhoria de técnicas ou tecnologias. Com o preço do ouro em alta e baixos teores de ouro nas reservas torna-se imperativo o aproveitamento máximo do minério, onde recuperação de metais nobres através de processos gravimétricos tem contemplado um grande avanço através do surgimento dos concentradores centrífugos. Este trabalho apresenta o processo de melhoria nas atividades de beneficiamento do minério de ouro (gravimetria) com a utilização de um sistema de concentração centrífuga através de um cesto cônico perfurado, onde, por diferença de densidade, o metal (ouro) é concentrado na parte externa do cesto. São descritos os equipamentos utilizados, bem como a metodologia adotada para britagem e peneiramento do material. Os fundamentos teóricos são mostrados de forma simplificada, de forma a permitir o pleno entendimento da proposta. Os resultados obtidos neste piloto, quando comparados à média obtida para região, se mostram extremamente satisfatórios, comprovando que a proposta apresentada é de grande valia para o ramo de beneficiamento de metais auríferos, pois garante grande recuperação de ouro frente a um pequeno investimento em equipamentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concentração gravimétrica, Centrifugador A5-B, Minério primário de ouro, Beneficiamento primário, Classificação granulométrica.

**ABSTRACT**

Currently, in an increasingly competitive world, the performance of human activities must be as high as possible, either through the improvement of techniques or technologies. With the high price and low gold contents of gold concentrate through gold ore extraction, where the exploration of noble metals through gold ore can be obtained through the exploration of nobles using gravimetric processes. This work presents the improvement in the beneficiation activities of the gold process (gravimetry) with the use of a perforated centrifugal concentration system, where, due to the density difference, the metal (gold) is concentrated in the external part of the basket. The type of equipments for crushing and screening of the material are described. The theoretical basis is showed in simplified form, in order to allow a full understanding of the proposal. The results obtained from this tests, when compared with the current method used in region (Peixoto de Azevedo), are very good, proving that the proposal presented is of great value to the ore-gold beneficiation, because guarantees a great recovery of gold in the face of a small investment in equipment.

**KEYWORDS:** Gravitic concentration, A5-B centrifuge type, Primary gold-ore, Primary beneficiation, Ore screening.

## 1. INTRODUÇÃO

A escolha do método mais adequado para o processamento de um determinado minério, inclusive minério aurífero, pode ser determinado por muitos fatores, tais como a mineralogia das fases e sua proporção, densidade, presença de elementos traço, morfologia, geometria, padrão de liberação e textura, bem como associações minerais, tanto dos minerais portadores de ouro, como dos minerais de ganga, (Lins, 2010; Sampaio & Tavares, 2005). Dentre os principais equipamentos de concentração gravimétrica, os concentradores centrífugos vêm sendo aplicados a mais de quatro décadas, sendo que os canadenses aperfeiçoaram esta técnica com o aumento da força centrífuga sem perda de fluidização no leito através dos concentradores tipo Knelson e Falcon.

A Aço Maquinas é uma empresa nacional, com sede em Várzea Grande (MT) que vem desenvolvendo equipamentos de mineração desde o início dos anos 90, fornecendo subsídio tecnológico para toda a América Latina. Através da aplicação dos princípios de gravimetria, este trabalho explora o uso do concentrador centrífugo tipo A5-B (Fig. 1A), avaliando a eficiência de concentração do equipamento com parâmetros específicos utilizando um minério de ouro primário da região de Peixoto de Azevedo (MT).

O concentrador centrífugo A5-B foi projetado para ampliar a força gravitacional (g) exercida na operação tendo como limite de alimentação 3 t/h. Produzido com aço tipo SAE1020, revestido internamente com borracha vulcanizada (Fig. 1B), o cesto possui a base cilíndrica e o corpo cônico em aço inox com fundo liso emborrachado contendo zona de estratificação na parte inferior, 50% tipo Falcon. A parte superior é composta por 4 leitos estratificados, sendo que o leito superior é de 390 mm de diâmetro com 47 pares de furos (formato pé de pato) e o leito inferior possui 330 mm de diâmetro sendo composto por 41 pares de furos (Fig. 1C e 1D). Na zona inferior, a descarga do cesto é feita através de uma válvula roscável de 1 ½". O *manifold* é composto por registro de esfera, manômetro, filtro de água e registro de água de serviço (Fig. 1E). O conjunto mecânico é composto por um motor elétrico de 1745 rpm, responsável pela operação das polias de 2 gornes movida e motora, com 300 mm e 120 mm de diâmetro respectivamente (Fig. 1F).

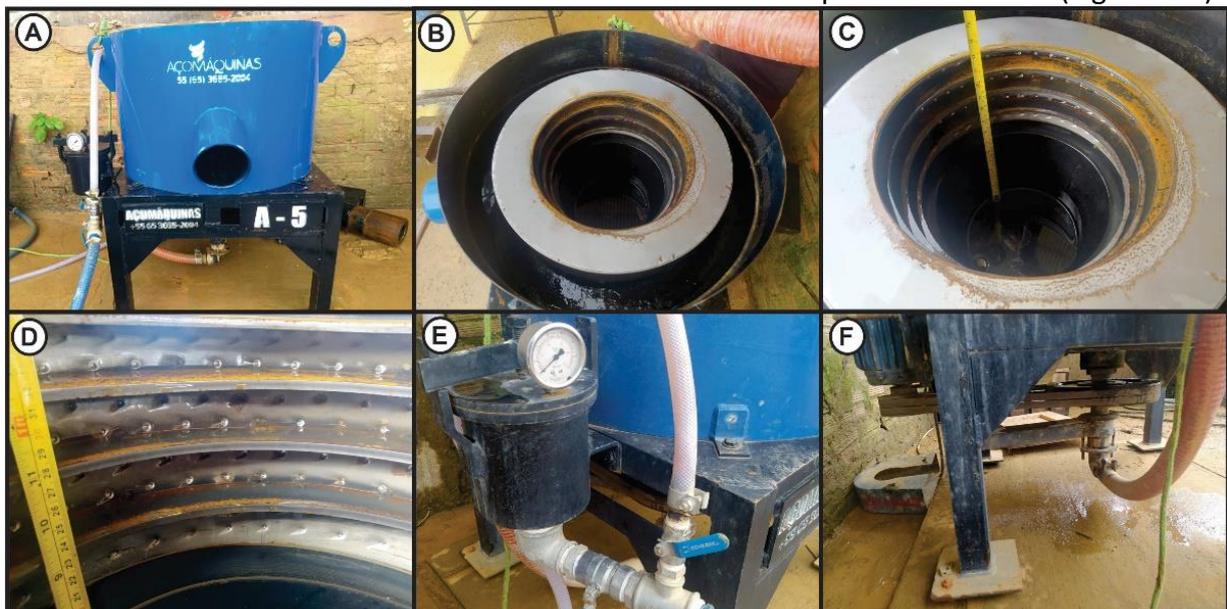


Figura 1. Fotografias da centrífuga A5-B produzida pela Aço Maquinas, ilustrando: em A) o concentrador centrífugo A5-B; B) detalhe do revestimento de borracha interno da carcaça e o cesto; C) detalhe do cesto; D) detalhe dos leitos com os furos pé de pato; E) o *manifold* e os registros de esfera; e em F) sistema de polia de 2 gornes.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Burt (1984) e Taggart, (1945), as centrífugas são os concentradores gravíticos mais promissores para a recuperação de minerais-minérios de granulometria muito fina.

O princípio físico da separação de sólidos através da centrifugação baseia-se na diferença de densidade entre os materiais constituintes da mistura (que pode conter água). A força centrífuga imposta por equipamentos a uma partícula na parede de um cilindro que gira em torno do seu eixo é expressa por:

$$F_c = \frac{mv^2}{R}, \text{ onde:}$$

$F_c$  = força centrífuga que atua na partícula (N)

$m$  = massa da partícula (kg)

$v$  = velocidade da partícula (m/s)

$R$  = raio do cesto (m).

A aceleração de uma partícula, portanto, aumenta com o quadrado da velocidade de rotação e diretamente com raio da cesta da centrífuga. Em termos de rotação:

$$F_c = mw^2R, \text{ onde: } w = \text{velocidade angular do cesto}$$

Para um cesto que gira a “ $n$ ” RPM (Rotações por minuto),  $F_c = m\left(\frac{2\pi n}{60}\right)^2 R$ .

Para o sistema em questão, onde a relação entre polias do motor e do cesto é igual a 3, tem-se:

$$F_c = m\left[\frac{2 \times 3,14 \times \left(\frac{1745}{3}\right)}{60}\right]^2 \times 0,15 = 556m. \text{ Quando se compara com a gravidade (} g = 10 \text{ m/s}^2\text{), tem-se:}$$

$F_c/F_g = 556 \text{ m}/10 \text{ m} = 55,6$ . Ou seja, a força centrífuga que age sobre a partícula é igual a 55,6 vezes a aceleração da gravidade.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para melhor compreensão dos procedimentos metodológicos este tópico será apresentado em etapas.

### 3.1. Etapa preliminar

Primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico e o reconhecimento em campo do fluxograma de processamento mineral utilizado na produção de ouro através da exploração de minérios primários (moagem e captura de ouro em calha de cobre revestida com mercúrio), bem como a principal metodologia de avaliação de teor empregada na região por mineradores de depósitos primários (absorção atômica do laboratório da Mineral

Maquinas). Após, realizou-se uma amostragem de minério primário composto por veio de quartzo sulfetado associado a hidrotermalitos oriundos de processos de alteração hidrotermal em granitóides pós orogênicos do arco magmático Cuiu-Cuiu (Alves *et al.* 2020), na região do distrito União do Norte, município de Peixoto de Azevedo. Esta etapa finalizou-se com a instalação de planta piloto (Fig. 2A) composta por um moinho de martelo H2, fabricado pela empresa Universal Tornearia, cuja calha de saída foi direcionada para a alimentação do concentrador centrífugo A5-B produzido pela empresa Aço Máquinas.

### **3.2. Etapa de preparação e processamento das amostras**

Esta etapa constituiu-se na preparação e processamento das amostras. Selecionou-se 3 toneladas de minério, que forma britados manualmente com a finalidade de tornar o *top size* adequado ao processo de moagem e alimentar a planta piloto. O concentrador centrífugo A5-B operou a uma pressão de 5 psi de fluidização do leito, sendo alimentado por uma polpa composta por cerca de 30% de sólidos, cujas características texturais encontra-se apresentadas na Tabela 1.

Os incrementos foram amostrados durante o desenvolvimento do processo de forma controlada, sendo coletados cerca de 1 litro de polpa de minério com *tap-to-tap* aproximado de 1 hora, tanto da bica do moinho quanto do rejeito do concentrador centrífugo. Por fim, foi composto um lote de amostras representativas da alimentação, concentrado e rejeito do concentrador centrífugo A5-B. As amostras de 6 kg foram secas, homogeneizados em pilha cônica e quarteadas em divisor de rifles do tipo Jones (16 rifles; Fig. 2B) na Buriti Gold Mineração gerando um lote de 500g por amostra final.

As alíquotas foram selecionadas e encaminhadas para o pré processamento das análises, conforme os requisitos exigidos para aplicação das técnicas de análise granulométrica, caracterização microscópica e determinação de teores de ouro por absorção atômica.

As alíquotas selecionadas para as análises granulométricas foram secas em estufa a uma temperatura de 60°C e submetidas a um peneiramento por um período de 20 minutos, utilizando um conjunto de peneiras do tipo Tyler com as seguintes aberturas +425µm, -425/+150µm, +150/-90µm, +90/-75µm e -75µm (Fig. 2C) no laboratório da Mineral Maquinas.

As alíquotas selecionadas para a caracterização microscópica foram concentradas em bateia (Fig. 2D) e reduzidas numa proporção entre minerais densos e leves capaz de tornar visível em lupa uma quantidade suficiente de ouro para revelar suas características físicas de forma e textura.

As alíquotas selecionadas para obtenção de teor por absorção atômica foram submetidas a uma solução de cianeto (NaCN) na proporção 1/1 (massa/volume) por um período de 72h (Fig. 2E), sendo que o pH foi ajustado para 12 aplicando 5g de óxido de cálcio (CaO). O licor filtrado em papel quantitativo de 2 µm (faixa azul) foi encaminhado para análise em espectrofotômetro de absorção atômica em chama (AAS) da marca GBC modelo SavantAA (Fig. 2F).

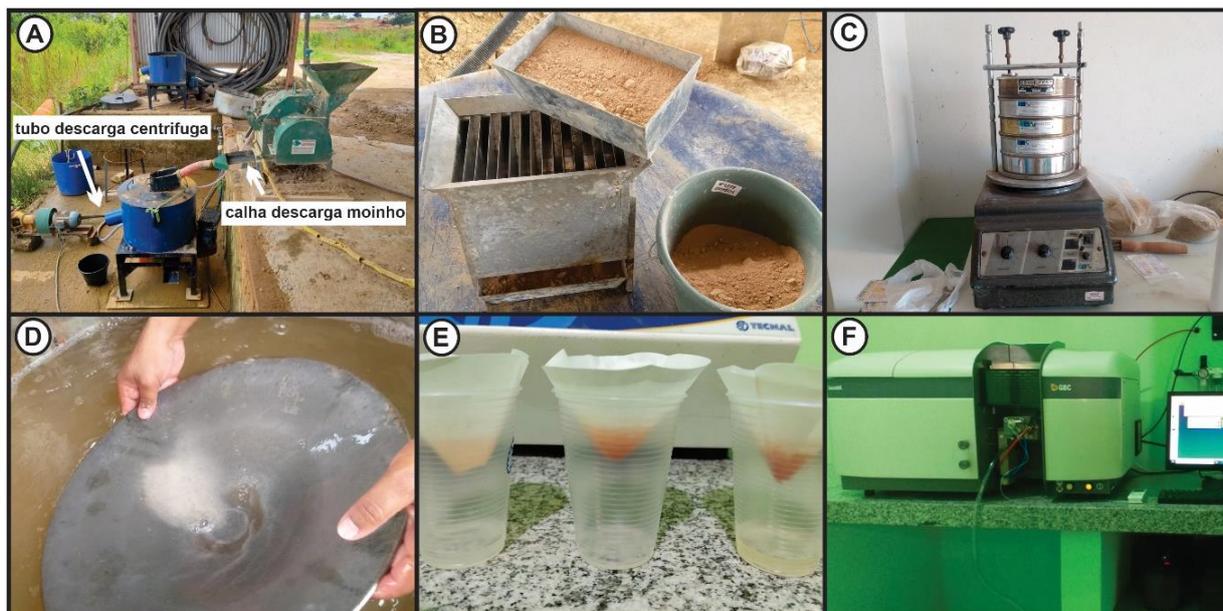


Figura 2. Fotografias das fases da metodologia adotada, ilustrando: em A) a planta piloto; B) o quarteador de rifles; C) conjunto de peneiras e agitador; D) concentração em bateia; E) amostras reagindo com cianeto; e em F) espectrofotômetro da absorção atômica.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises de microscopia com uso de lupa revelam que a maior parte do ouro liberado visível se apresenta com hábito granular e textura equigranular muito fina, menor que 0,5mm (Fig. 3).



Figura 3. Características físicas do ouro liberado, ilustrando: em A) cone do fundo da bateia com ouro visível.

A amostra da alimentação apresenta-se com 23,26% das partículas com dimensão acima de 425  $\mu\text{m}$ , 53,70% entre 425 e 150  $\mu\text{m}$  e 23,05% das partículas abaixo de 150  $\mu\text{m}$ . O concentrado apresenta-se com 33,19% das partículas acima de 425  $\mu\text{m}$ , 38,43% entre 425 e 150  $\mu\text{m}$  e 28,38% das partículas abaixo de 150  $\mu\text{m}$ . O rejeito apresenta-se com 78,07% das partículas acima de 425  $\mu\text{m}$ , 18,54% entre 425 e 150  $\mu\text{m}$  e 3,39% das partículas abaixo de 150  $\mu\text{m}$  (Tab.1).

Tabela 1. Os intervalos granulométricos calculados a partir da abertura das peneiras em  $\mu\text{m}$ , retido e passante acumulados.

	Abertura $\mu\text{m}$	Retido Simples (%)	Retido Acumulado (%)	Passante Acumulado (%)
ALIMENTAÇÃO	500	0%	0%	99,99%
	425	23,26%	23,26%	76,74%
	150	53,70%	76,96%	23,04%
	90	14,80%	91,75%	8,25%
	75	7,19%	98,94%	1,06%
	0	1,06%		
	<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>		
CONCENTRADO	500	0%	0%	99,99%
	425	33,19%	33,19%	66,81%
	150	38,43%	71,62%	28,38%
	90	10,26%	81,88%	18,12%
	75	4,15%	86,03%	13,97%
	0	13,97%		
	<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>		
REJEITO	500	0%	0%	99,99%
	425	78,07%	78,07%	21,93%
	150	18,54%	96,61%	3,39%
	90	1,60%	98,22%	1,78%
	75	1,43%	99,64%	0,36%
	0	0,36%		
	<b>%OTAL</b>	<b>100,00%</b>		

As curvas de distribuições apresentadas da forma Rosin-Rammler (Fig. 4; Vesilind, 1980) mostram que as amostras mantiveram o padrão, diferenciando proporcionalmente as porcentagens dos intervalos. Provavelmente devido a perda de material fino durante mostragem do rejeito devido a velocidade de descarte da polpa do A5-B.

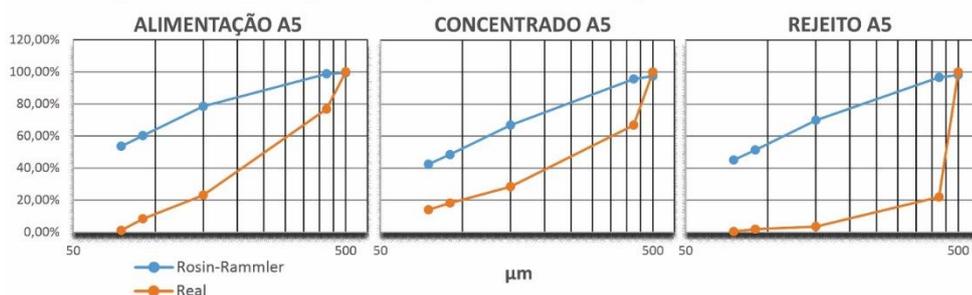


Figura 4. Gráficos com a distribuição Rosin-Rammler mostrando as curvas dos valores calculados e reais.

A metodologia para obtenção do teor de Au é tradicionalmente a mais aceita na região e atende de forma satisfatória os interesses dos mineradores que trabalham com depósitos primários devido ao fato de que as avaliações laboratoriais são as melhores representadas em produção industrial através de lixiviação em pilha.

As análise de absorção atômica apresentaram valores da amostra de alimentação do A5-B de 0,242 g/t e de rejeito com 0,225 g/t, sendo que o concentrado do A5-B teve 1,527 g/t, demonstrando um enriquecimento de 630% em Au com aplicação do concentrador centrifugo A5-B (Tab. 2).

Tabela 2. O resultado das análises de absorção atômica e densidade

Classificação da amostra	Peso da amostra (g)	Teor em g/t Au	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Alimentação do A5-B	500	0,242	1.16
Concentrado do A5-B	500	1,527	1.44
Rejeito do A5-B	500	0,225	1.41

#### 4. CONCLUSÕES

Os parâmetros medidos para determinar a força gravitacional exercida sob as partículas provém de características intrínsecas do equipamento. Aplicando-se esses parâmetros para determinação da força centrífuga obteve-se um resultado semelhante ao apresentado por Han & Say (1985), bem como os resultados reportados por Lins *et al.* (1992) para os modelos KC30, KC20, KC12 e KC6 da Knelson (SP), 900, 600, 350 e 200 da Mineraltec, M30, M20, M12, M7 da Metquip (Austrália).

O resultado da análise granulométrica favorece a compreensão da representatividade amostral e o comportamento do A5-B em termos de separação gravimétrica e seleção granulométrica. O concentrado teve cerca de 10% a mais de partículas abaixo de 90 µm que a amostra da alimentação demonstrando que o concentrador centrifugo favoreceu a seleção e concentração de partículas finas. Considerando a baixa recuperação na concentração de finos das rotas de beneficiamento gravimétrico tradicionais, recomenda-se a inserção de concentradores centrifugos no processamento dos minérios primários portadores de ouro equigranular muito fino, aumentando assim, as taxas de recuperação do beneficiamento gravimétrico.

Ainda assim, nota-se que tanto em termos composicionais como texturais, houveram lacunas amostrais. Provavelmente, parte das partículas abaixo de 90µm foram carreadas após o descarte no rejeito e por isso não foram amostradas. Recomenda-se que para realização dos próximos ensaios seja utilizado amostradores de polpa adequados, afim de garantir uma representatividade mais adequada.

A aplicação do A5-B para concentração de ouro na região de Peixoto de Azevedo é um fator de desenvolvimento importante na construção de uma atividade mineral robusta. Os custos de aquisição e instalação do A5-B é até 6 vezes menores que dos modelos tradicionais da Knelson . Considerando todos os custos operacionais e logísticos para a produção de ouro por meio da lixiviação em pilha o minério de 0,242 g/t não apresenta teor suficiente.

Entretanto, a produção de um concentrado 600 vezes mais rico que a alimentação chama atenção para determinação de metodologia que torne viável a produção de ouro por meio de lixiviação de concentrados ricos. Incluindo a possibilidade do desenvolvimento de uma rota metalúrgica que considere a lixiviação em colunas e tanques.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de doutorado do primeiro autor, ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais (PPG3M - UFRGS), a Aurum Engenharia e Construção e a Aço Maquinas pelos recursos disponibilizados, confiança e incentivo para realização desta avaliação, a Buriti Gold Mineração e a Mineral Maquinas – Filão da Porteira pela confiança e apoio de logística e infraestrutura laboratoriais e a companhia mato-grossense de mineração (METAMAT) pelo apoio.

## 6. REFERÊNCIAS

Alves CL, Rizzotto GJ, Rios FS, Barros MAS. The Orosirian Cuiú-Cuiú magmatic arc in Peixoto de Azevedo domain, Southern of Amazonian craton. *Journal of South American Earth Sciences* 2020; v. (2020) 102648.

Burt RO. *Gravity Concentration Methods*. New York: Elsevier, 1984. Chap. 3 and 7.

Lins FAF, Costa LSN, Delgado OC e Gutierrez JMA. Concentrador centrífugo: revisão e aplicações potenciais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1992. *Tecnologia Mineral-55*. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro, 1992.

Lins FAF. *Concentração Gravítica*. 5a. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2010. Chapter 7, Tratamento de Minérios, p. 301-325.

Han KN, Say WC. The separation of fine particles by centrifugation. *Int. J. miner. Process*, v. 14, 1985, p. 265-273.

Sampaio CH, Tavares LMM. *Beneficiamento Gravimétrico – Uma Introdução aos processos de Concentração Mineral e reciclagem de materiais por densidade*. Porto Alegre – UFRGS; 2005.

Taggart AF. *Handbook of Minerals Dressing*. New York John Wiley and Sons, 1945. Sect. 11, pt.1

Oluyemi DO, Oluwole OI, Adewuyi BO. Estudo das propriedades do carvão submetidos a altas temperaturas. *Pesquisa Mineral* [Internet] 2011; [citado 2011 Sep8];14(2):135-41. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/mr/v15n2/AOP\\_0461-10.pdf](http://www.scielo.br/pdf/mr/v15n2/AOP_0461-10.pdf)

Vesilind P.A. The Rosin-Rammler particle size distribution. *Resource Recovery and Conservation* 1980; (5) 275-277.