

SEIJI RENAN MICHISHITA

**CONCENTRAÇÃO EM MESA VIBRATÓRIA E *MULTI-GRAVITY*
SEPARATOR (MGS) PARA UM MINÉRIO AURÍFERO**

São Paulo

2015

SEIJI RENAN MICHISHITA

**CONCENTRAÇÃO EM MESA VIBRATÓRIA E *MULTI-GRAVITY*
SEPARATOR (MGS) PARA UM MINÉRIO AURÍFERO**

Trabalho de Formatura em Engenharia de
Minas do curso de graduação do
Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

Área de concentração: Engenharia de
Processamento Mineral

Orientador: Prof. Dr. Homero Delboni Junior

São Paulo

2015

TF-2015
M682c

Agosto 2754172

H 2015a

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700009992

Catálogo-na-publicação

Michishita, Seiji Renan

CONCENTRAÇÃO EM MESA VIBRATÓRIA E MULTI-GRAVITY
SEPARATOR (MGS) PARA UM MINÉRIO AURÍFERO / S. R. Michishita -- São
Paulo, 2015.
29 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.Tratamento de Minérios 2.Concentração Gravítica 3.Multi-Gravity
Separator (MGS) 4.Mesa Vibratória I.Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Homero Delboni Júnior, pelo auxílio e pelo incentivo durante a elaboração deste trabalho, e principalmente durante minha vida acadêmica.

Agradeço também a todos os professores, alunos e funcionários da Escola Politécnica da USP e da Monash University que contribuíram para o meu crescimento pessoal e para minha formação acadêmica.

Agradeço meus companheiros de classe e amigos que me acompanharam e me auxiliaram durante todo este processo.

E finalmente agradeço à minha família pelo apoio e carinho.

RESUMO

A indústria da mineração, assim como a indústria da agricultura, foi um marco no desenvolvimento da humanidade, pois são as matérias primas extraídas da natureza que possibilitam a sobrevivência e conforto da humanidade. Entretanto, estes recursos minerais não são renováveis e não estão em condições diretas de serem economicamente explorados para a obtenção de bens de consumo e de produção.

Nesse sentido, as matérias primas minerais precisam ser submetidas a um tipo de beneficiamento a fim de se transformar o material encontrado na natureza em um produto final com características previamente estipuladas.

Em outras palavras, torna-se cada vez mais importante a determinação da viabilidade de novas tecnologias com o intuito de otimizar cada processo, diminuindo os custos de produção e viabilizando a exploração mineral de reservas minerais conhecidas, mas até então não rentáveis, além de um melhor aproveitamento de novas jazidas recém descobertas.

O objetivo deste trabalho foi o determinar desempenho de ensaios de concentração gravítica por mesa vibratória e *Multi-Gravity Separator* (MGS) - Mozley para um minério aurífero visando posterior aplicação industrial.

Os materiais utilizados foram amostras de um minério aurífero provindo da região de Goiás – Brasil, um tambor rotativo, um britador de rolos, peneira vibratória com malha 0,300 mm, MGS-Mozley e Mesa Vibratória.

Primeiramente houve uma preparação inicial da amostra – identificação, secagem, pesagem e homogeneização – e estudos para determinação de características do minério. Numa segunda etapa, foram avaliadas as recuperações obtidas após os processos de concentração selecionados.

Os resultados obtidos indicaram a viabilidade técnica de concentração de ouro mediante utilização dos equipamentos selecionados.

Palavras-chave: Tratamento ou beneficiamento de Minérios Separação Gravítica, Ouro, *Multi-Gravity Separator* (MGS), Mesa Vibratória.

ABSTRACT

The mining industry, as well as the agriculture, was a milestone in the humanity development, because the humankind comfort and survival depends on the raw materials extracted from nature. However, these resources are not renewable and are not in conditions to be economically exploited to obtain consumption and production goods.

Accordingly, mineral raw materials need to be processed in order to transform the material found in nature in a final product. In other words, it becomes more important to determine the viability of new technologies in order to optimize each process, reducing production costs and enabling the mining of known mineral reserves, but so for unprofitable, and also a better exploitation of new deposits recently discovered.

The objective of this study was to determine the performance of gravity concentration processes utilizing Multi-Gravity Separator (MGS) - Mozley and concentrating table for an auriferous ore in order to prepare it for a subsequent industrial application.

The utilized materials were gold ore samples from Goiás – Brasil, a rotating drum, a roll crusher, a vibrating screen mesh 0.300 mm, MGS-Mozley and concentrating table.

First there was an initial sample preparation - identification, drying, weighing and mixing - and studies to determine the ore characteristics. In a second step, we evaluate the recoveries obtained in the selected gravity concentration processes.

The results indicate the technical feasibility of gold concentration by use of selected equipment.

Keywords: Mineral Processing, Gravimetric separation, gold, Multi-Gravity Separator (MGS), Concentrating Table.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVO	11
3	REVISÃO DA LITERATURA	12
4	MATERIAIS E MÉTODOS	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6	CONCLUSÃO	28
7	REFERÊNCIAS.....	29

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: FREQUÊNCIA E AMPLITUDE DOS GOLPES PARA MESA HOLMAN	16
FIGURA 2: REPRESENTAÇÃO INTERNA DO EQUIPAMENTO MGS.....	17
FIGURA 3: FOTO DO EQUIPAMENTO MGS	17
FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO DO MGS.....	18
FIGURA 5: FLUXOGRAMA DE TRATAMENTO DA AMOSTRA INICIAL	19
FIGURA 6: TAMBOR ROTATIVO	20
FIGURA 7: PILHA ALONGADA	20
FIGURA 8: BRITADOR DE ROLOS.....	21
FIGURA 9: PILHAS ALONGADAS – SEGUNDO QUARTEAMENTO.....	21
FIGURA 10: FLUXOGRAMA DE RECUPERAÇÃO DO OURO GRAVÍTICO	22
FIGURA 11: DEQUE TIPO HOLMAN	23
FIGURA 12: ALIMENTAÇÃO DA MESA VIBRATÓRIA	23
FIGURA 13: GRÁFICO DE TEORES DE OURO NOS CONCENTRADOS DA MESA VIBRATÓRIA E MGS.....	26
FIGURA 14: GRÁFICO DE RECUPERAÇÕES MÁSSICAS E METALÚRGICAS.....	27

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: RESULTADOS OBTIDOS DO PENEIRAMENTO	25
TABELA 2: RESULTADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO GRAVÍTICA	25
TABELA 3: RESULTADOS COMBINADOS.....	27

1 INTRODUÇÃO

A indústria da mineração, assim como a indústria da agricultura, foi um marco no desenvolvimento da humanidade, pois são as matérias primas extraídas da natureza que possibilitam a sobrevivência e o conforto da humanidade. Entretanto, estes recursos minerais não são renováveis e não estão em condições diretas de serem economicamente explorados para a obtenção de bens de consumo e de produção. (Sampaio & Tavares, 2005)

Nesse sentido, as matérias primas minerais precisam ser submetidas a um tipo de beneficiamento a fim de se transformar o material encontrado na natureza em um produto final com características previamente estipuladas. Em outras palavras, torna-se cada vez mais importante a determinação da viabilidade de novas tecnologias com o intuito de otimizar cada processo, diminuindo os custos de produção e viabilizando a exploração mineral de reservas minerais conhecidas, mas até então não rentáveis, além de um melhor aproveitamento de novas jazidas recém descobertas.

Para a escolha o processo de beneficiamento mineral a ser utilizado é necessário o conhecimento a fundo das características físicas e químicas dos materiais a separar, tais quais a densidade, radioatividade, fluorescência, coloração, propriedades magnéticas, elétricas ou superficiais. Muitas propriedades semelhantes são encontradas tanto no mineral de interesse (mineral-minério) quanto nos minerais sem valor econômico (mineral de ganga). Entretanto, na maioria dos casos haverá uma diferença de densidade, pois é um aspecto intrínseco à composição do material e, por este motivo, os métodos utilizando a diferença de densidades podem ser mais eficazes que outros ao separar diferentes materiais de composição minerais diferentes. (Sampaio & Tavares, 2005)

O processo de concentração gravítica é o método de separação de minerais baseado na diferença de peso específico dos minerais, ou densidade, e já foi o processo mais importante em relação à massa processada, além de ser um dos processos mais baratos em termos de investimento inicial e operacional. (Sampaio & Tavares, 2005)

É muito comum a ocorrência de lamas (partículas finas e ultrafinas) em jazidas e em depósitos de estéril ou rejeitos de beneficiamento de minérios (que ainda podem ser reexplorados conforme o avanço da tecnologia nos processos de concentração). Pela consequência das dificuldades na concentração destes minerais de granulometria fina e com pequenas diferenças de densidade, houve uma grande expansão no desenvolvimento e utilização de métodos e equipamentos de concentração gravítica para a concentração de minerais. Podemos observar esta evolução pelo número de equipamentos e aparelhos em uso na atualidade que possuem como base de funcionamento os mecanismos de separação densitária. (Burt, 1999)

Provavelmente, o primeiro método de beneficiamento mineral desenvolvido e que utilizava o princípio da concentração densitária foi o aparelho conhecido como calha simples, sendo que o seu desenvolvimento se deu pela observação da natureza que concentra minerais pesados em leitos de rio, por exemplo. (Sampaio & Tavares, 2005)

A separação em um equipamento de calha simples acontece em um fluido escoando em um plano inclinado em que minerais relativamente mais densos atingem o fundo da calha, ou seja, nestes equipamentos há barreiras ou *riffles* que impedem os minerais mais pesados de seguir o fluxo. Há também, vários outros equipamentos que foram desenvolvidos para o mesmo

fim, tais quais a jigagem, a separação em meio denso, ciclones, espirais concentradoras e as mesas concentradoras. (Sampaio & Tavares, 2005)

Métodos utilizando outros princípios também foram desenvolvidos para a separação mineral e entraram em competição direta com o beneficiamento por concentração gravítica, como a flotação, lixiviação e a separação magnética. Uma desvantagem dos processos de concentração gravítica, pode ser a atenção especial à necessidade de água em abundância para o processo, pois, apesar de um alto percentual de reciclagem (cerca de 80%), há um grande consumo de água quando se utiliza estes métodos em comparação com os métodos de flotação, por exemplo. (Sampaio & Tavares, 2005)

Apesar do desenvolvimento de novas tecnologias para a separação de minérios, a concentração gravítica ainda pode ser muito vantajosa, principalmente, devido à alta capacidade de processamento e baixos custos de investimento e operação deste método. Um outro fator referente a este processo é que ele muito menos influenciado pela composição da água e não necessita de reagentes (o que pode ser uma vantagem em relação aos impactos ambientais), assim como acontece na flotação e na lixiviação. Ou seja, pequenas variações na composição química dos constituintes a separar não teriam interferência significativa no concentrado final obtido. (Sampaio & Tavares, 2005)

No caso de beneficiamento de minérios auríferos é muito comum o emprego de jigues, centrífugas, mesas vibratórias e calhas. Já em menor escala são empregados MGS-Mozley, Jigues centrífugas entre outros equipamentos. (Sampaio & Tavares, 2005)

2 OBJETIVO

Determinar o desempenho de ensaios de concentração gravítica em mesa vibratória e *Multi-Gravity Separator* (MGS) - Mozley para um minério aurífero visando posterior aplicação industrial.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A atividade da indústria de mineração é dividida, basicamente, em três etapas: descoberta, lavra e concentração de minérios, ou seja, encontrar o minério de interesse na natureza, retirá-lo do subsolo para a superfície e condicioná-lo para a indústria metalúrgica, cerâmica, química ou ainda obter um produto com aplicação final. (Chaves, 2012)

A terceira etapa, na qual será focada este trabalho, é chamada de tratamento de minérios e consiste de operações unitárias de redução, separação de tamanhos, separação dos tipos de minerais e concentração dos minerais de interesse, e se deve ao fato dos minerais serem encontrados de forma misturada na natureza. (Chaves, 2012)

Em relação ao tratamento de minérios, para a escolha dos processos utilizados é necessário o conhecimento das características físicas e químicas dos materiais a serem separados, tais quais densidade, radioatividade, fluorescência, propriedades magnéticas ou elétricas, forma, cor e propriedades das superfícies das partículas. A aplicação de métodos de separação se baseia exatamente em uma ou mais destas propriedades dos materiais a serem separados. (Sampaio & Tavares, 2005)

Muitas propriedades semelhantes são encontradas tanto no mineral de interesse (mineral-minério) quanto nos minerais sem valor econômico (mineral de ganga), entretanto, na maioria dos casos haverá uma diferença de densidade, pois este é um aspecto intrínseco à composição do material. Neste caso, métodos utilizando a diferença de densidades podem ser mais eficazes que outros para separar diferentes minerais. (Sampaio & Tavares, 2005)

Na mineração o conceito de granulometria é considerado como um dos mais importantes, pois muitos processos dependem de tamanhos de partículas bem definidos. A dificuldade está em medir o tamanho de partículas, pois estas não têm formas regulares como cubos ou esferas, assim, utilizam-se métodos diferentes para cada tipo de mineral. A distribuição granulométrica influencia diretamente na malha de liberação do minério, em outras palavras, quando se reduz o tamanho de rochas, geralmente, os grãos obtidos são um misto de minerais, onde cada partícula é formada por uma fração do mineral de interesse e frações de minerais de ganga. (Sampaio & Tavares, 2005)

As partículas compostas somente pelo mineral de interesse são consideradas livres e aquelas que possuem partículas do mineral de interesse e outro mineral de ganga são consideradas mistas. Logo, entende-se que para cada corpo de minério e tipo de fratura encontrada na rocha existe um tamanho de grão no qual a maior parte das partículas estarão liberadas. Portanto é a partir da liberação do mineral de interesse que ocorre a separação efetiva, basta, então, utilizar outros processos para concentrá-lo. (Sampaio & Tavares, 2005)

Antes da seleção de uma operação unitária, deve-se analisar a melhor configuração do circuito de beneficiamento e os tipos de equipamentos a serem empregados. Usualmente, utiliza-se a representação por fluxogramas de processos, onde também se calcula os balanços de massa, metalúrgico e de água. Além disso, no tratamento de minérios os balanços são baseados na lei de Lavoisier, ou seja, não há geração nem consumo de massa, sendo somente dois índices significativamente úteis para o estudo de qualquer operação, a recuperação em massa e o enriquecimento, outros índices podem ser convenientes para operações específicas. (Chaves, 2012)

Após a escolha de uma operação unitária, na maioria dos casos, uma única etapa da mesma operação não é suficiente para se atingir recuperação e enriquecimento satisfatório, isto é, não é rara a repetição da operação tendo o concentrado ou o rejeito como nova alimentação, cada uma delas recebe o nome, respectivamente, de *cleaner* e *scavenger*, sendo que a primeira etapa, que recebe a alimentação nova, é conhecida como *rougher*. (Chaves, 2012)

Provavelmente, o primeiro método de beneficiamento mineral desenvolvido foi o equipamento conhecido como calha simples, sendo que o seu desenvolvimento se deu pela observação da natureza que concentra minerais pesados em leitos de rio, por exemplo. A separação em um equipamento de calha simples acontece em um fluido escoando em um plano inclinado em que minerais relativamente mais densos atingem o fundo da calha, ou seja, nestes equipamentos há barreiras ou *riffles* que impedem os minerais mais pesados de seguir o fluxo. (Sampaio & Tavares, 2005)

Este método utiliza o princípio de funcionamento conhecido como concentração gravítica, e há também vários outros processos utilizando o mesmo princípio, tais quais os jígues, a separação em meio denso, ciclones, concentradores centrífugos, espirais concentradoras e as mesas concentradoras. (Sampaio & Tavares, 2005)

As operações unitárias fundamentais para a compreensão do beneficiamento mineral até a etapa de concentração gravítica são:

- Peneiramento: operação de separação de partículas em duas frações de tamanhos diferentes por meio de tela com aberturas de tamanhos iguais, tendo como resultado um material mais fino, passante, e um mais grosso, retido. (Chaves & Peres, 2012)
- Britagem: esta é a primeira etapa da cominuição (operações para a redução de determinado tamanho de partículas minerais), onde os equipamentos são mais robustos por suportar rochas de tamanhos maiores advindas diretamente da frente de lavra ou de outras operações prévias da britagem. (Chaves & Peres, 2012)
- Moagem: operações de cominuição de partículas para tamanhos menores ainda que os produtos da britagem com os objetivos de liberar partículas, obter um produto final, transporte em minerodutos e preparação para processos posteriores. Pode ser realizadas em quantas etapas forem necessárias. (Chaves & Peres, 2012)
- Classificação: Semelhante ao peneiramento, a classificação divide uma população de partículas em duas com diferentes distribuições, grossos e finos. Entretanto, esta operação utiliza o mecanismo de ação de um meio fluido em movimento e o que difere o *underflow* (material que afunda e é retirado por baixo do aparelho) do *overflow* (material mais fino que é descarregado por cima do aparelho) é o diâmetro hidráulico, o que não ocorre no peneiramento. (Chaves, 2012)

É muito comum a ocorrência de lamas (partículas finas e ultrafinas) em jazidas e em depósitos de estéril ou rejeitos de beneficiamento de minérios (que ainda podem ser reexplorados conforme o avanço da tecnologia nos processos de concentração). Pela consequência das dificuldades na concentração destes minerais de granulometria fina e com pequenas diferenças de densidade, houve uma grande expansão no desenvolvimento e utilização de métodos e equipamentos de concentração gravítica para a concentração de minerais. (Burt, 1999)

Métodos utilizando outros princípios foram desenvolvidos também para a separação mineral e entraram em competição direta com o beneficiamento por concentração gravítica, como a flotação, lixiviação e a separação magnética. Uma desvantagem dos processos de concentração gravítica é a necessidade de água em abundância, pois, apesar de um alto percentual de recirculação (cerca de 80%), há um grande consumo de água em comparação com os métodos de flotação, por exemplo. (Sampaio & Tavares, 2005)

Apesar do desenvolvimento de novas tecnologias para a separação de minérios, a concentração gravítica ainda pode ser muito vantajosa, principalmente, devido à alta capacidade de processamento e baixos custos de investimento e operação. Um outro fator referente a este processo é que ele muito menos influenciado pela composição da água e não necessita de reagentes (o que é uma vantagem em relação aos impactos ambientais), assim como acontece na flotação e na lixiviação. Assim, pequenas variações na composição química dos constituintes que se deseja separar não teriam interferência significativa no concentrado final obtido. (Sampaio & Tavares, 2005)

A concentração gravítica é, basicamente, o processo de separação de partículas de diferentes tamanhos, formas e densidades através da gravidade ou pela força centrífuga. Ela não é aplicável a qualquer sistema, pois é resultado do movimento relativo de partículas em fluidos, ou seja, depende de várias características do material particulado, tais quais massa, tamanho, formato e densidade. Portanto, uma caracterização preliminar adequada do material se faz necessária para um resultado satisfatório. (Sampaio & Tavares, 2005)

A aplicabilidade de processos gravimétricos é avaliada mediante a identificação detalhada dos principais constituintes do material e suas densidades, assim, quanto maior a diferença de densidade entre os constituintes, mais fácil será a sua separação por processos gravimétricos. Considerando o caso de separação de um sistema binário de minerais, há um índice proposto por Taggart (1945) chamado de critério de concentração:

$$\text{Critério de Concentração} = \frac{(\rho_d - \rho_f)}{(\rho_l - \rho_f)}$$

Onde,

- ρ_d = densidade do mineral denso
- ρ_f = densidade do fluido
- ρ_l = densidade do mineral leve

Quanto maior o valor do critério de concentração, mais fácil será a separação por densidades, e mais amplo será o intervalo de tamanhos que pode ser processado em um mesmo aparelho. Segundo Taggart, se o critério de concentração for maior que 2,5, a separação pode ser considerada simples para diversos tamanhos de partículas, se o valor estiver entre 1,75 e 2,5, a separação só será possível para partículas com tamanhos até 150 μm , e se o valor for menor que 1,2, então para qualquer tamanho de partícula a separação será difícil. (Sampaio & Tavares, 2005)

Os principais mecanismos atuantes nos métodos de concentração gravítica são:

- Aceleração diferencial – partículas com densidades maiores possuem aceleração inicial maior, afundando mais rapidamente;
- Sedimentação impedida – influência da colisão de outras partículas e deslocamento da água na sedimentação;
- Consolidação intersticial – preenchimento de espaços vazios entre partículas grosseiras onde partículas densas se depositam antes das menos densas;
- Velocidade diferencial em escoamento laminar – gradiente de velocidades no fluido, sendo zero na superfície de escoamento e aumentando com a distância;
- Energia potencial – a tendência das partículas com maiores energias potenciais no início de um processo é se acumular no fundo do leito com o tempo;
- Ação de forças cisalhantes – partículas menos densas são facilmente carregadas pelas forças de cisalhamento e as mais pesadas se alocam próximas à superfície de escoamento.

(Chaves & Carriso, 2001)

A diversidade de equipamentos de concentração gravítica utilizados atualmente é muito grande, e, considerando o mecanismo dominante na separação de cada um deles, pode-se classificá-los em três grupos: densidade, estratificação e escoamento em película d'água.

O primeiro utiliza um meio com densidade intermediária entre os minerais que estão sendo separados (meio-denso ou autógeno). O segundo utiliza a estratificação das partículas para a separação por resultado da pulsação do fluido na direção da força de campo (jigues) e o terceiro concentra minerais a partir do movimento diferencial de partículas em escoamento em película de água (mesas concentradoras, espirais, cone Reichert e MGS). (Sampaio & Tavares, 2005)

No presente trabalho, foram analisados dois equipamentos que efetuam a separação dos minerais com o auxílio do cisalhamento horizontal, resultante do movimento oscilatório de uma superfície sob polpa em escoamento, a mesa vibratória e o *Multy-Gravity Separator (MGS)*. Estes equipamentos se caracterizam pela elevada seletividade de separação e foram muito populares na primeira metade do século 20.

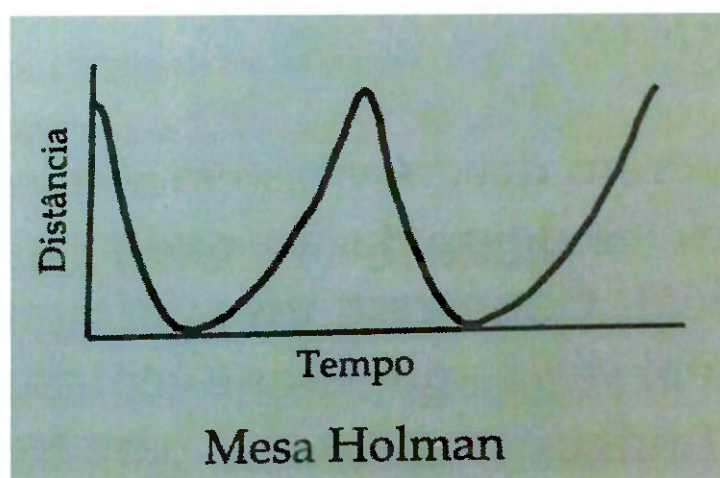
Entretanto, os depósitos de alto teor se extinguíram e a demanda por minerais continuaram crescente, o que gerou uma necessidade de maiores capacidades dos equipamentos e fez com que muitos deles fossem substituídos. Ainda assim, estes aparelhos possuem elevada utilização nos estágios finais de concentração, nos quais a vazão é menor. (Sampaio & Tavares, 2005)

A mesa concentradora ou mesa vibratória consiste, basicamente, de um deque, uma superfície plana, com formato romboidal ou retangular, a qual possui *riffles* ou retentores e inclinação que, geralmente, varia de 0 a 6° em relação à horizontal na direção transversal dos *riffles*. Além disso, há uma pequena elevação no sentido oposto ao motor que gera oscilações.

Existem muitas variáveis na utilização de mesas vibratórias. Primeiramente há variáveis de projeto relacionadas à própria mesa como por exemplo o formato da mesa, o material da composição da superfície da mesa, a configuração dos *riffles*, a frequência dos golpes (ou oscilações) e a amplitude dos golpes. Adicionalmente, há variáveis de operação tais quais o tamanho das partículas da alimentação, a forma das partículas da alimentação, a vazão de alimentação, a concentração de sólidos da alimentação, a vazão de água de lavagem e a inclinação do deque. (Sampaio & Tavares, 2005)

Em relação ao funcionamento e os mecanismos atuantes da mesa vibratória, a água transporta os sólidos na direção da extremidade inferior e durante o percurso, as calhas rifladas retêm as partículas pesadas, enquanto que as leves seguem por cima dos *riffles*. Além disto, a mesa vibratória também possui o movimento de oscilação numa frequência e amplitude específica para a mesa *Holman* (Figura 1) e perpendicular ao fluxo onde a velocidade de volta é maior que a de ida.

Figura 1: Frequência e amplitude dos golpes para Mesa Holman



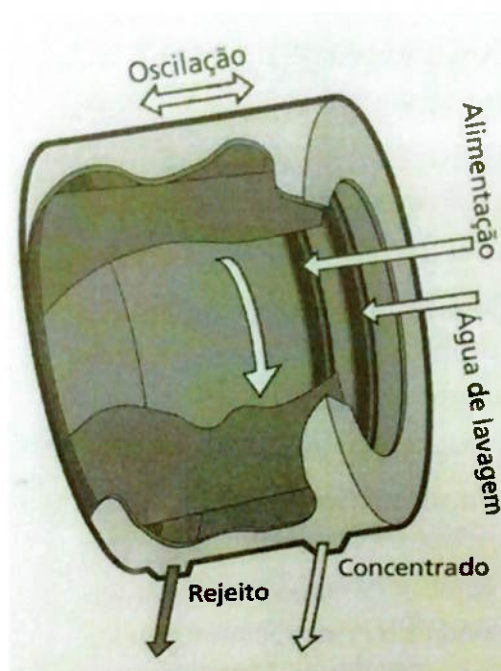
Fonte: (Sampaio & Tavares, 2005)

Deste modo, as partículas retidas nos *riffles* percorrem toda a extensão da mesa no sentido perpendicular ao fluxo d'água e são descarregadas ao fim da área dos *riffles*. Os produtos desta operação são pesados, leves e intermediários. (Chaves & Chaves Filho, 2013)

Em se tratando de minério de ouro, e dependendo do teor da amostra, durante o funcionamento a visualização da faixa dourada é bem nítida, assim, facilitam-se possíveis ajustes no equipamento durante a operação. Entretanto a questão de segurança contra roubos torna-se uma preocupação adicional. Este mecanismo é o preferido para trabalhos de desenvolvimento ou com alimentações com teores baixos, pois não possui muita capacidade de produção. (Chaves & Chaves Filho, 2013)

Assim como a mesa vibratória, o concentrador centrífugo MGS também utiliza movimentos oscilatórios longitudinais. Todavia, como o próprio nome remete, há aplicação de um campo gravitacional de 8 a 22 vezes a aceleração da gravidade através da rotação de um tambor, levemente afunilado na extremidade fechada, com raspadores internos que também giram no mesmo sentido, mas com velocidade um pouco mais alta (Figura 2). Este equipamento recebe alimentação contínua de sólidos e de água pelo eixo longitudinal do tambor e distribuída internamente (Figura 3 e 4).

Figura 2: Representação interna do equipamento MGS



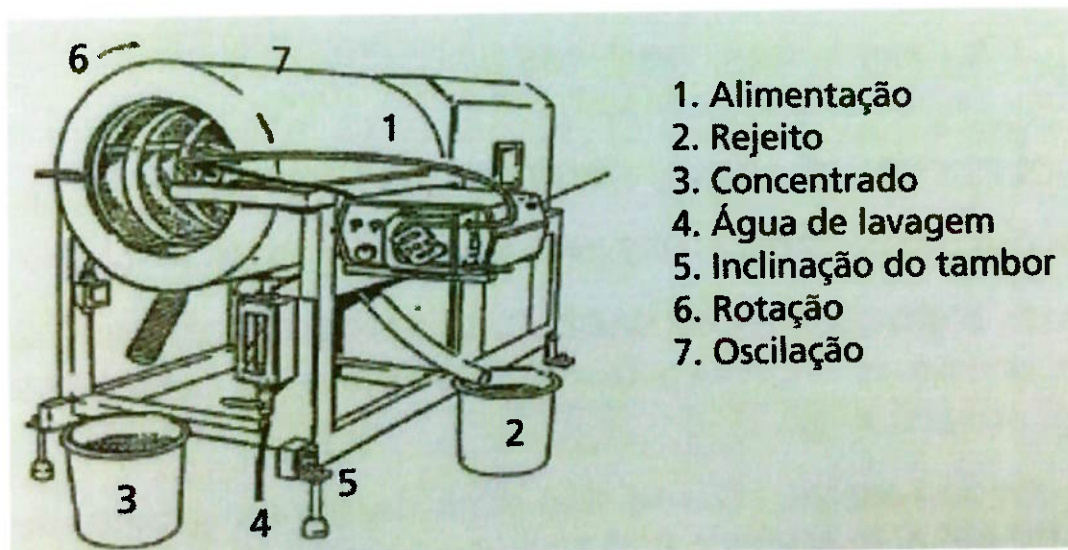
Fonte: (Chaves & Chaves Filho, Separação Densitária, 2013)

Figura 3: Foto do equipamento MGS



Fonte: Elaboração Própria

Figura 4: Representação do MGS



Fonte: (Carriso, 2001)

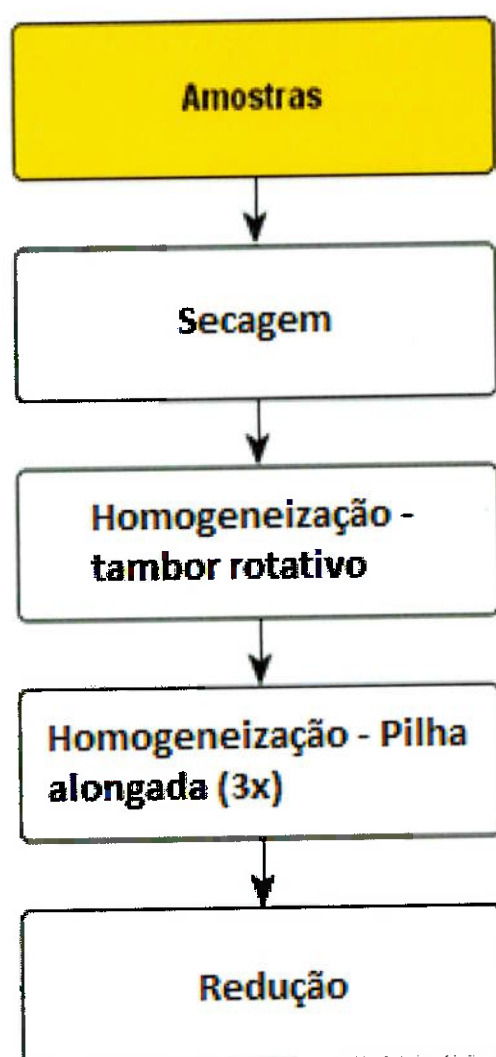
A separação ocorre através dos mecanismos das forças de cisalhamento, devido ao movimento oscilatório e pela aceleração diferencial provocada pela força centrífuga, ou seja, as partículas mais pesadas formam uma camada na superfície do tambor e os raspadores o conduzem para a descarga. Os parâmetros envolvidos neste processo são a velocidade de rotação, a frequência e amplitude da oscilação longitudinal, o ângulo de inclinação do tambor e a água de lavagem. (Chaves e Chaves Filho, 2013)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O minério recebido para a realização deste trabalho provém do estado de Goiás - Brasil. A amostra recebida possuía aproximadamente 290 kg e apresentava alta umidade. Assim, fez-se necessária a secagem do material antes da homogeneização.

A Figura 5 mostra o fluxograma das atividades desde a secagem até a homogeneização e redução das amostras. Depois de seco, o material foi colocado em tambor rotativo (Figura 6). Após essa primeira etapa, o material foi homogeneizado mais três vezes em pilhas alongadas (Figura 7).

Figura 5: fluxograma de tratamento da amostra inicial



Fonte: Elaboração Própria

Figura 6: Tambor rotativo

Fonte: Elaboração Própria

Figura 7: Pilha alongada

Fonte: Elaboração Própria

Da pilha alongada mostrada na Figura 7, foi retirada uma alíquota de cerca de 100 kg que foi enviada para ensaios de caracterização tecnológica. O restante da amostra foi reduzido e duas amostras de 50 kg foram separadas para a realização dos ensaios de peneiramento em 2,0 mm, sendo a fração retida cominuída em britador de rolos (Figura 8) com a repetição do processo de cominuição em britador de rolos até que nenhum material fosse retido na peneira de malha 2,0 mm.

Figura 8: Britador de Rolos



Fonte: Elaboração Própria

Após essa etapa de cominuição, o material foi novamente homogeneizado em pilha alongada e novamente reduzida (Figura 9), sendo retirado duas alíquotas de 300 g para análise química “cabeça” e uma alíquota de 500 g para análise granulométrica.

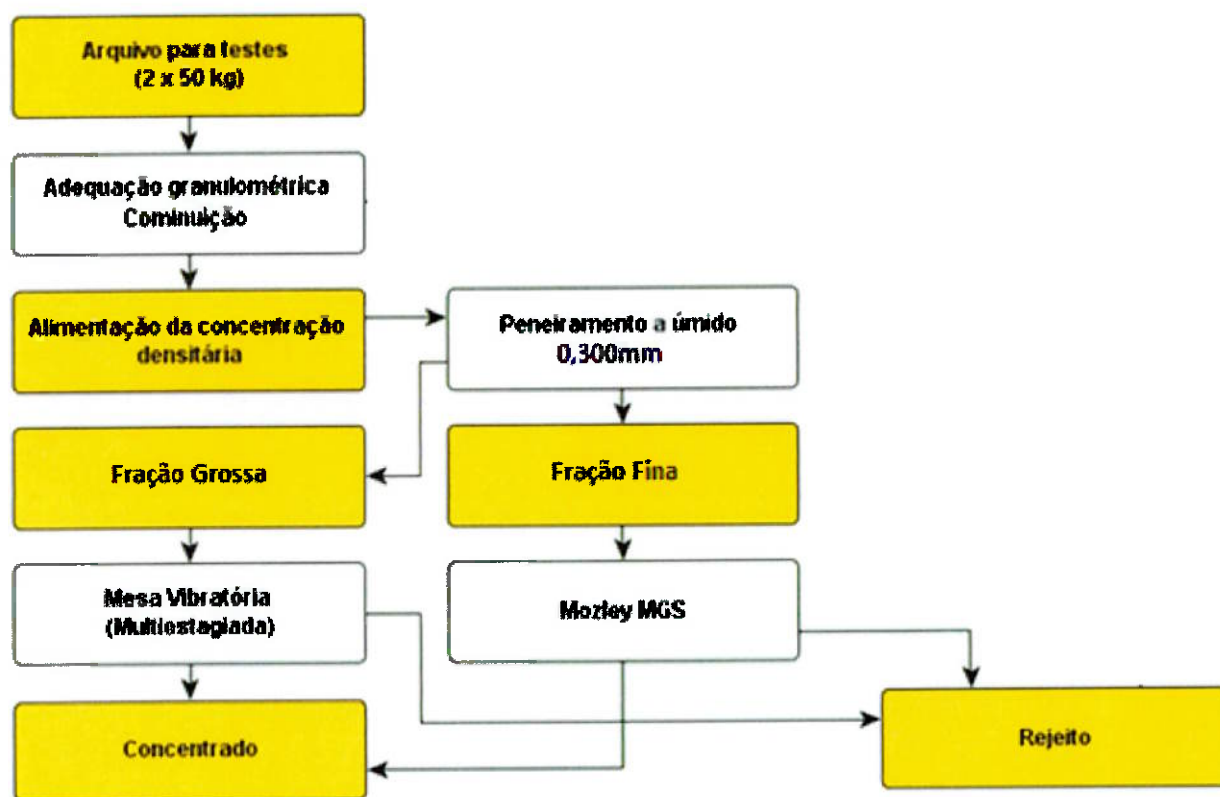
Figura 9: Pilhas Alongadas – Segundo Quarteamento



Fonte: Elaboração Própria

Em seguida, o material restante passou pelas etapas de concentração gravítica (material com tamanho abaixo de 0,300 mm – concentrador Mozley; material com tamanho acima de 0,300 mm e abaixo de 2,0 mm– mesa vibratória), para concentração do ouro contido. (Figura 10)

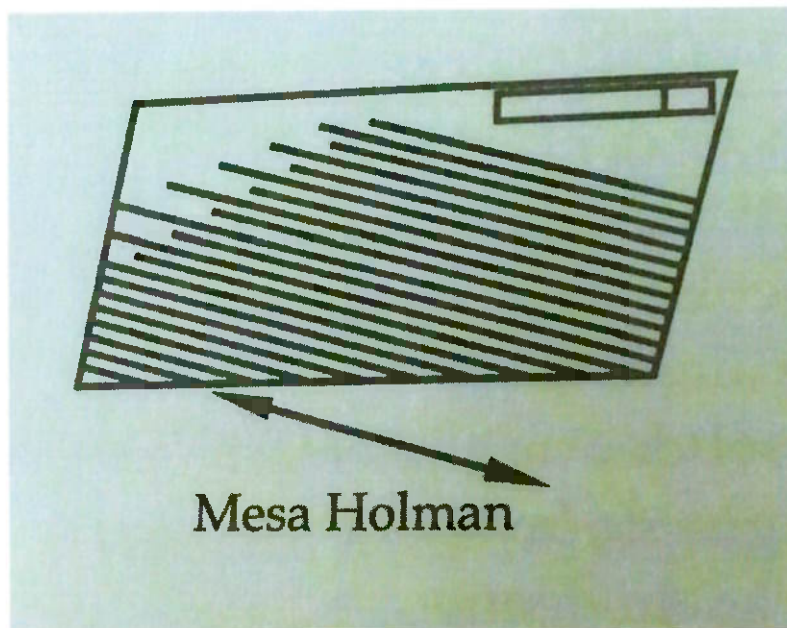
Figura 10: Fluxograma de Recuperação do Ouro Gravítico



Fonte: Elaboração Própria

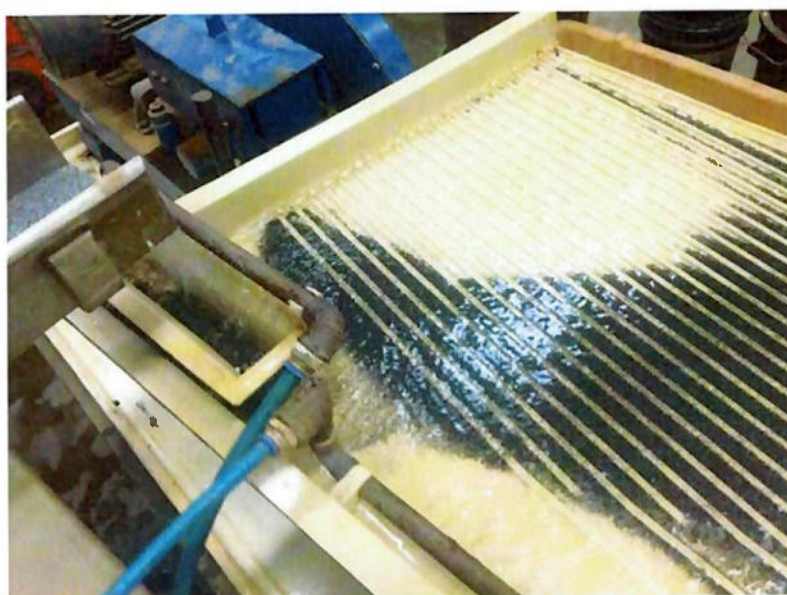
A mesa vibratória utilizada neste trabalho era da marca *Wilfley* composta por uma superfície de fibra de vidro reforçada com resina poliéster com *riffles* e formato de deque tipo *Holman* (Figura 11) em sua superfície. A alimentação de água ocorre na extremidade superior e a de sólidos na aresta superior e ao lado do mecanismo gerador de oscilação (Figura 12).

Figura 11: Deque tipo Holman



Fonte: (Sampaio & Tavares, 2005)

Figura 12: Alimentação da mesa vibratória



Fonte: Elaboração Própria

O tamanho de partícula da alimentação do ensaio realizado foi de 2 mm, o que, segundo Burt (1984), requer as seguintes variáveis operacionais: inclinação longitudinal de 0,63-1,40 graus e inclinação lateral de 1,1-1,4 graus, amplitude de 12-25 mm, frequência de 260-300 rpm, vazão de alimentação de 3 t/h, 30% de sólidos. Além disto, a vazão deve ser suficiente para garantir a mobilidade adequada das correntes dos produtos e permitir a formação de um filme suficientemente espesso para garantir que mesmo as partículas mais grossas sejam cobertas.

Os valores adotados das variáveis do processo de concentração por MGS - Mozley foram as seguintes: concentração de sólidos na polpa de aproximadamente 30%, uma vazão de alimentação de 0,25 t/h de sólidos, rotação de 300 rpm, frequência de oscilação de 5 Hz, amplitude de oscilação de 20 mm e inclinação do tambor de 3°.

Na última etapa experimental do trabalho as amostras dos concentrados finais da mesa concentradora e do MGS foram retiradas e analisadas para a determinação dos respectivos teores de ouro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos do peneiramento encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados obtidos do peneiramento

Peneiramento				
Fluxo	Massa (kg)	Distribuição Mássica (%)	Teor de Au (ppm)	Distribuição de Au (%)
-2,00 +0,300 mm	22,2	36,6	3,339	44,3
-0,300 mm	38,5	63,4	2,424	55,7
Alimentação	60,7	100	2,759	100

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados da Tabela 1 indicam que:

- A recuperação mássica do peneiramento para a faixa -2,00 mm +0,300 mm foi 36,6%;
- A recuperação mássica do peneiramento para a faixa de - 0,300 mm foi 63,4%;
- O teor de ouro para a faixa -2,00 mm +0,300 mm foi 3,339 ppm;
- O teor de ouro para a faixa -0,300 mm foi 2,424 ppm.

Portanto, a maior parte da alimentação se encontra na fração grosseira (63,4%), e mesmo com maior teor (3,339 ppm), a fração mais fina ainda contém menos ouro (44,3%).

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de concentração gravítica encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados obtidos da concentração gravítica

Ensaio de Concentração Gravítica					
Fração	Fluxo	Massa (kg)	Recuperação Mássica (%)	Teor de Au (ppm)	Recuperação de Au (%)
Mesa Vibratória	Concentrado	2,9	13,1	11,567	45,4
-2,00 +0,300 mm	Rejeito	19,3	86,9	2,097	54,6
MGS	Concentrado	7,5	19,4	7,971	63,8
-0,300 mm	Rejeito	31,0	80,6	1,089	36,2

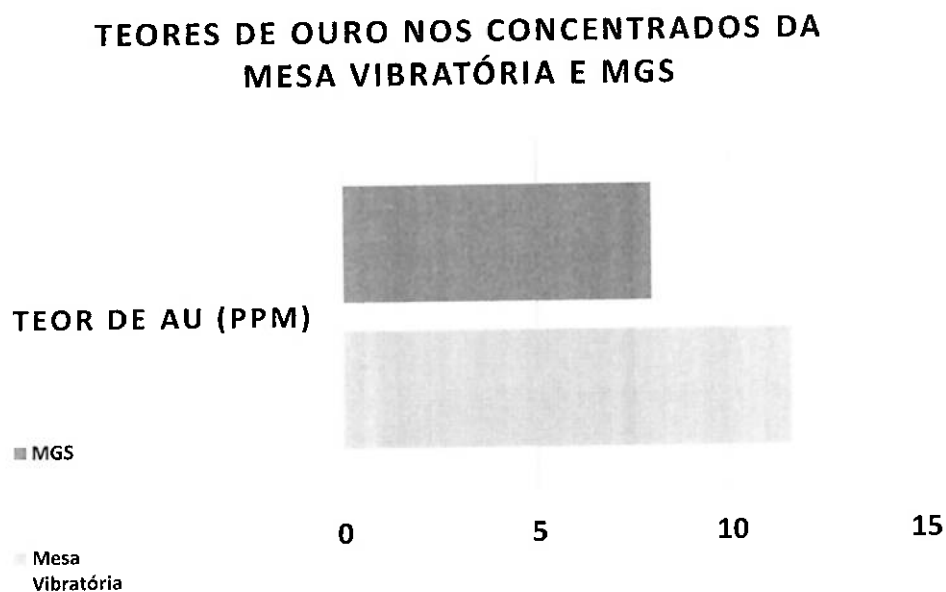
Fonte: Elaboração Própria

Os resultados da tabela 2 indicam que:

- A recuperação mássica da mesa vibratória foi 13,1%;
- O teor de ouro do concentrado da mesa vibratória foi 11,567 ppm;
- A recuperação metalúrgica de ouro foi 45,4%;
- A recuperação mássica do MGS foi 19,4%;
- O teor de ouro do concentrado do MGS foi 7,971 ppm;
- A recuperação metalúrgica de ouro para o MGS foi 63,8%.

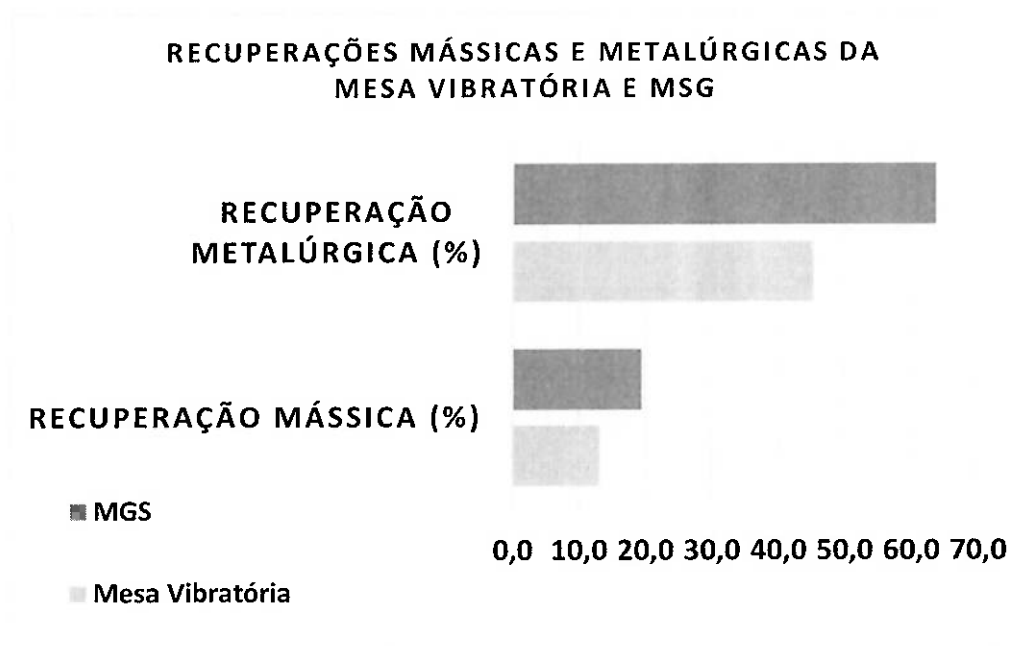
Pode-se notar que houve um enriquecimento significativo tanto no ensaio da mesa vibratória, obtendo um teor de ouro de 11,567 ppm, quanto no ensaio do MGS, teor de ouro de 7,971 ppm (Figura 13). Os valores de recuperação mássica e recuperação metalúrgica de ouro estão apresentados na Figura 14.

Figura 13: Gráfico de Teores de Ouro nos concentrados da mesa vibratória e MGS



Fonte: Elaboração Própria

Figura 14: Gráfico de Recuperações Mássicas e Metalúrgicas



Fonte: Elaboração Própria

Os resultados combinados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados Combinados

Resultados Globais				
Fluxo	Massa (kg)	Recuperação Mássica (%)	Teor de Au (ppm)	Recuperação de Au (%)
Concentrado	10,4	17,1	8,980	55,7
Rejeito	50,3	82,9	1,476	44,3
Alimentação	60,7	100	2,759	100

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados da Tabela 3 indicam que:

- A recuperação mássica combinada foi 17,1%;
- O teor de ouro no concentrado foi 8,980 ppm;
- A recuperação metalúrgica de ouro foi 55,7%.

O resultado global indicou um enriquecimento significativo de ouro (de 2,759 ppm para 8,980 ppm, 325%), recuperação metalúrgica de ouro de 55,7% e recuperação mássica de 17,1% para o concentrado.

6 CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho foi possível concluir que o minério aurífero selecionado pode ser processados por métodos de concentração gravítica utilizando mesa vibratória para granulometria na faixa -2,00 mm +0,300 mm e MGS para a faixa granulométrica -0,300 mm. Verificou-se que os valores da recuperação mássica e metalúrgica de ouro obtidos na mesa vibratória (13,1% e 45,4% respectivamente) são menores que os obtidos no MGS (19,4% e 63,8% respectivamente), pela diferença de 6,3% para a recuperação mássica e 18,4% para a recuperação metalúrgica do ouro.

Os resultados obtidos mostram, portanto, a viabilidade técnica de concentração de ouro mediante utilização dos equipamentos selecionados. Em etapas posteriores recomenda-se a execução de ensaios de limpeza (*cleaner*) no concentrado obtido, assim como o emprego de outros métodos de concentração para o ouro contido nos rejeitos, principalmente flotação ou lixiviação de ouro por cianeto.

7 REFERÊNCIAS

BURT, R. The Role of Gravity Concentration in Modern Processing Plants. E. S. Ltd., **Minerals Engineering**, Amsterdam, p. 1291-1300. Elsevier. 1999.

CARRISO, R. C. **Aplicação do concentrador centrífugo Multi-Gravity Separator (MGS) na recuperação de finos de minerais pesados**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2001. 92 p.

CHAVES, A. P. Bombeamento de polpa e classificação. In: A. P. CHAVES, **Teoria e Prática de Tratamento de Minérios**. São Paulo: Oficina de Textos. 2012. Volume 1.

CHAVES, A. P., & CARRISO, R. C. **Mecanismos atuantes na concentração gravítica e principais equipamentos utilizados na concentração centrífuga**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 2001. 36p.

CHAVES, A. P., & CHAVES FILHO, R. C. Separação Densitária. In: A. P. CHAVES, **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. São Paulo: Oficina de Textos. 2013. Volume 6.

CHAVES, A. P., & PERES. Britagem, Peneiramento e Moagem. Em A. P. CHAVES, **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. São Paulo: Oficina de Textos. 2012. Volume 3.

SAMPAIO, C. H., & TAVARES, L. M. **Beneficiamento Gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade**. Porto Alegre: UFRGS. 2005. 603 p.

TAGGART, A. F. **Handbook of mineral dressing, ores and industrial minerals**. New York: John Wiley and Sons. 1945. 1679 p.