LEVANTAMENTO E ANÁLISE DO FLUXO DE MASSA ATRAVÉS DE UMA PLANTA DE REBRITAGEM

Filipe Rocha Furtado

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:

_____

Prof. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro, D.Sc.

_____

Prof[a]. Cândida Cristina Bosich Pinto

_____

Prof. Francisco de Assis Araújo, M.Sc.

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL

DEZEMBRO DE 2006

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DO FLUXO DE MASSA ATRAVÉS DE UMA PLANTA DE REBRITAGEM

Filipe Rocha Furtado

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro, D.Sc

Profª. Cândida Cristina Bosich Pinto

Prof. Francisco de Assis Araújo, M.Sc

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL

DEZEMBRO DE 2006

FURTADO, FILIPE ROCHA
Levantamento e análise do fluxo de massa através de uma planta de rebritagem
[Juiz de Fora] 2006
v, 41 p. 2,5 cm (EPD/UFJF,Engenharia de Produção, 2006)
Tese - Universidade Federal de Juiz de Fora, EPD
1. Fluxo de Massa
I. EPD/UFJF II. Título (série)

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia Produção.

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DO FLUXO DE MASSA ATRAVÉS DE UMA PLANTA DE REBRITAGEM

Filipe Rocha Furtado

Dezembro/2006

Orientador: Eduardo Breviglieri Pereira de Castro

Curso: Engenharia de Produção

A idéia central deste trabalho é levantar e analisar o fluxo de massa através de uma planta de rebritagem em uma pedreira situada no município de Matias Barbosa. Esta planta é basicamente composta por três britadores e quatro peneiras vibratórias, interligados por correias transportadoras. Foram utilizados ensaios granulométricos de amostras coletadas nas correias transportadoras da planta, operando sob condições específicas, para determinar a fração de material passante e retido em cada processo de peneiramento e identificar o destino e o volume deste material. Os ensaios foram realizados para cada britador funcionando isoladamente e, em seguida, os dados foram consolidados para comparar com a situação real, onde os três britadores funcionam simultaneamente. Através desta metodologia, pode-se determinar as taxas de alimentação, de retorno de material e de produção final (brita 0, brita 1, areia fina e areia média) de cada britador da planta. Esses valores serão então resumidos em um fluxograma de funcionamento da planta que poderá ser estudado e utilizado em futuros projetos de otimização da mesma.

Abstract of Thesis presented to EPD/UFJF as a partial fulfillment of the requirements for graduation in Industrial Engineering

RAISING AND ANALYZING THE MASS FLOW THROUGH A ROCK CRUSHING CIRCUIT

Filipe Rocha Furtado

Dezembro/2006

Advisors: Eduardo Breviglieri Pereira de Castro

Department: Industrial Engineering

The main point of this thesis is to raise and analyze the mass flow through a rock crushing circuit on a quarry located in the city of Matias Barbosa. This circuit is basically made of three crusher and four vibrating screens connected through conveyors. The objective is to use sieve analysis on samples collected from the circuit conveyors, running on specific conditions, to find out the passing and retained material at each screening process and assess the destination and the volume of this material. The studies will be done for each crusher working separately, and then this data will be consolidated to compare with the real situation, where the three crushers work simultaneously. Using this methodology it is possible to find out the feeding rate, the returning material rate and the final production rate for each crusher of the circuit. These values will then be summarized on a flowchart of the rock crushing circuit that may be useful for further projects on optimizing the plant.

Sumário

I – INTRODUÇÃO..... 1
1.1 Considerações Iniciais..... 1
1.2 Objetivos..... 1
1.3 Justificativas..... 1
1.4 Escopo..... 2
1.5 Metodologia..... 2

II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 3
2.1 A Lei De Conservação Das Massas..... 3
2.2 Equação De Balanço..... 3
2.2.1 Formulação Conceitual..... 4
2.2.2 Postulados Fundamentais..... 5
2.2.3 Transporte De Massa..... 5
2.2.4 Balanço De Massa..... 5
2.3 Fluxo De Massa..... 6
2.3.1 Fluxo Uniforme..... 6
2.3.2 Fluxo Não-Uniforme..... 7
2.4 Análise Granulométrica..... 8

III – DESCRIÇÃO..... 10
3.1 Descrição Da Empresa..... 10
3.2 Descrição Dos Produtos..... 12
3.3 O Processo De Rebritagem..... 13
3.3.1 Classificação Da Instalação..... 13
3.3.2 Descrição Do Processo..... 14
3.3.3 Descrição Dos Britadores..... 17

IV – OS ENSAIOS..... 19
4.1 O Método..... 19
4.2 A Prática..... 21
4.2.1 Ensaios Com O S3000..... 21
4.2.2 Ensaios Com O H4000..... 24
4.2.3 Ensaios Com O Remco..... 26
4.2.4 Classificação Da Areia..... 27

V – ANÁLISE 30
5.1 Análises Isoladas..... 30
5.1.1 Análise Do S3000..... 30
5.1.2 Análise Do H4000..... 31
5.1.3 Análise Do Remco..... 32
5.2 Análise Global..... 34
5.2.1 Análise Da Faixa De Produção Total..... 36
5.2.2 Análise Do “Sistema 1” 37

VI – CONCLUSÃO..... 39

VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 40

VIII – ANEXO..... 41

Capítulo I
INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS OU APRESENTAÇÃO

O estudo do fluxo de massa através da planta de rebritagem vem sendo realizado desde janeiro de 2006, na empresa Pedra Sul Mineração situada em Matias Barbosa. Neste trabalho, dados levantados através da realização de ensaios granulométricos e através do acompanhamento de balanças instaladas nas correias transportadoras são enviados para serem analisados por especialistas que prestam serviço de consultoria à empresa.

A proposta desta monografia é explicitar como este trabalho vem sendo realizado, fazendo uma análise paralela destes dados e resumindo-os em um fluxograma de funcionamento da planta.

1.2. OBJETIVOS

Basicamente o objetivo deste trabalho é conhecer como a planta está funcionando em sua configuração atual e identificar em que ponto ela se encontra sub-utilizada, para que então seja possível determinar onde e como se pode intervir para otimizar sua capacidade de geração de produto final.

1.3. JUSTIFICATIVAS

Devido a sucessivas modificações na configuração da planta de rebritagem, hoje não se sabe exatamente como está o fluxo de material na mesma e, conseqüentemente, como anda a utilização de seus componentes. Tornou-se necessário um estudo a fundo desta planta para conhecer o papel exato de cada componente na produção, para que então possam ser feitos os ajustes necessários para garantir que nenhum deles se encontre sobrecarregado ou ocioso.

O primeiro passo para a elaboração deste trabalho foi escolher a empresa e o assunto a ser abordado. A escolha da empresa e do assunto se justifica pelo fato de se tratar de uma necessidade real que vem se tornando cada dia maior e de haver relativamente maior facilidade na obtenção de dados. Além disso, essa escolha também possibilita maior disponibilidade de tempo e recursos para serem investidos nesta questão.

1.4. ESCOPO DO TRABALHO OU CONDIÇÕES DE CONTORNO

O foco deste projeto, como foi citado anteriormente, está no processo de rebritagem. A rebritagem é o processo mais complexo da empresa. Neste processo o material flui pela planta através de correias transportadoras e é guiado por peneiras, que direcionam para qual britador o material em processo deve ser levado e em qual pilha o produto final deve ser depositado.

A planta de rebritagem é composta por três britadores: secundário (S3000), terciário (H4000) e quaternário (REMco). Esta configuração proporciona o máximo aproveitamento do equipamento e melhoria na forma do produto.

Os três estágios da rebritagem são dimensionados em função da partição ideal de produção que se objetiva realizar. A geração de brita, produto mais vendido, é otimizada com os britadores secundário (cônico) e terciário (cônico). Já o britador quaternário (VSI), é responsável pela produção de areia de brita.

A classificação dos produtos é feita através de quatro peneiras de grande porte dimensionadas para alcançar o menor índice de contaminação possível.

Uma descrição detalhada da planta e do processo de rebritagem será apresentada adiante.

1.5. METODOLOGIA

Após a escolha do tema, teve início o trabalho de pesquisa bibliográfica, que se estendeu até o final de agosto. Apesar da dificuldade, artigos e livros relacionados ao assunto foram levantados para embasar e enriquecer o trabalho.

Concomitantemente com a revisão bibliográfica, foi analisada a metodologia que seria utilizada para realização do estudo. Para que o levantamento do fluxo de massa através da planta de rebritagem pudesse ser feito, seria necessário realizar uma série de ensaios. Estes ensaios teriam o objetivo de investigar o funcionamento de cada britador isoladamente, para que então fosse possível fazer a comparação com a situação real, em que os britadores funcionam simultaneamente. Foram então realizadas as coletas de materiais, que se estenderam por dois meses, de acordo com a metodologia definida. Estas coletas foram feitas no período de meados de abril a meados de junho.

Finalmente, após essa fase, foi possível iniciar a análise dos dados, para então dar início ao processo de elaboração deste relatório.

Capítulo II
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A LEI DA CONSERVAÇÃO DAS MASSAS

Segundo Wikipédia (2006) “A Lei da Conservação das Massas foi publicada pela primeira vez em 1760, em um ensaio de Mikhail Lomonosov. No entanto, a obra não repercutiu na Europa Ocidental, cabendo ao francês Antoine Lavoisier o papel de tornar mundialmente conhecida o que hoje se chama Lei de Lavoisier.

Preocupado em utilizar métodos quantitativos, Lavoisier tinha a balança como um de seus principais instrumentos em atividades experimentais.

Por volta de 1774, o químico francês realizava experiências sobre a combustão e a calcinação de substâncias. Observou que, dessas reações, sempre resultavam óxidos cujo peso era maior que o das substâncias originalmente usadas.

Informado sobre as características do gás que ativava a queima de outras substâncias (que mais tarde foi denominado pelo próprio Lavoisier como oxigênio, que quer dizer gerador de ácidos), passou a fazer experiências com o mesmo e acabou por deduzir que a combustão e a calcinação nada mais eram que o resultado da combinação desse gás com as outras substâncias. E que a massa aumentada dos compostos resultantes correspondia à massa da substância inicialmente empregada, mais a massa do gás a ela incorporado através da reação.

Lavoisier pôde verificar que a massa de um sistema fechado, durante uma transformação química, permanece constante. Através de seus trabalhos, pôde enunciar uma lei que ficou conhecida como Lei da Conservação das Massas ou Lei de Lavoisier: "Numa reação química que ocorre em sistema fechado, a massa total antes da reação é igual à massa total após a reação". Ou, filosoficamente falando, "Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma".

Esse será um dos pilares no estudo sobre fluxo de massa a ser realizado. Por mais que o material sofra quebra na britagem e que seu volume aumente ou diminua, a massa deste material deve continuar a mesma durante o processo, se não houver alterações causadas por agentes externos.

2.2. EQUAÇÂO DE BALANÇO

Este item foi integralmente extraído de Bordalo (2004).

2.2.1. FORMULAÇÃO CONCEITUAL

Seja *N* uma das grandezas do sistema cuja variação deseja-se estudar.

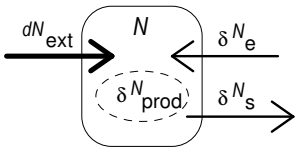
Considere, num intervalo de tempo *dt*,

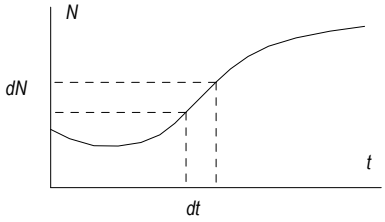
dN a variação de *N;*

dN_{ext} a variação induzida por agentes externos;

δN_{trans} a quantidade de *N* transportada para / do sistema (entra / sai);

δN_{prod} a quantidade de N produzida / consumida no interior do sistema.





Tem-se que:

$$dN = dN_{ext} + \delta N_{trans} + \delta N_{prod} \quad ,$$

De onde se obtém:

$$\frac{dN}{dt} = \left(\frac{dN}{dt}\right)_{ext} + \dot{N} + \dot{\mathrm{P}}_N \ .$$

Conceitualmente, pode-se escrever esta equação assim:

$$\begin{pmatrix}\text{taxa de}\\ \text{variação}\\ \text{de } N\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{taxa de variação}\\ \text{de } N \text{ induzida}\\ \text{no sistema por}\\ \text{agente externo}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{taxa de}\\ \text{transporte}\\ \text{de } N \text{ para}\\ \text{o sistema}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{taxa de}\\ \text{produção}\\ \text{de } N \text{ no}\\ \text{sistema}\end{pmatrix}$$

Equação 1 – Equação conceitual

2.2.2. POSTULADOS FUNDAMENTAIS

O postulado conhecido por lei de conservação de massa (§2.1), diz respeito ao termo de produção de massa que aparece na equação de balanço. Dessa forma:

$$\dot{\mathrm{P}}_N = 0$$

2.2.3. TRANSPORTE DE MASSA

Define-se *fluxo de massa*, ou *vazão mássica*, como:

$$\dot{m} = \frac{\delta m_{trans}}{dt} (\text{ kg/s }) \; ;$$

que representa a taxa de transporte de massa, isto é, a quantidade de massa transportada por unidade de tempo.

2.2.4. BALANÇO DE MASSA

Seguindo a formulação conceitual (§2.2.1), escreve-se:

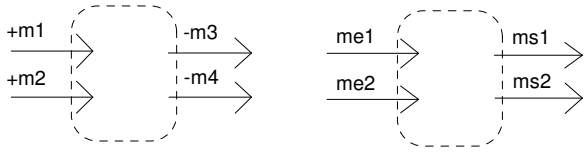
$$\frac{dm}{dt} = \left(\frac{dm}{dt}\right)_{ext} + \dot{m} + \dot{\mathrm{P}}_m$$

Baseando-se no postulado fundamental da massa (§2.2.2), e no desconhecimento de um mecanismo de alteração da massa provocada por um agente externo, e admitindo-se a possibilidade de múltiplos fluxos de massa tem-se:

$$\frac{dm}{dt} = \Sigma \dot{m}$$

No somatório, considera-se positivo ou negativo, respectivamente, o fluxo de massa que entra ou sai do sistema. Alternativamente, usa-se a notação $\dot{m}_e$ e $\dot{m}_s$, para o fluxo entrando e fluxo saindo, em valores absolutos; e reescreve-se o balanço de massa assim:

$$\frac{dm}{dt} = \Sigma \dot{m}_e - \Sigma \dot{m}_s$$



2.3. FLUXO DE MASSA

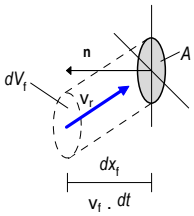
Este item foi integralmente extraído de Bordalo (2004).

O fluxo de massa $\dot{m}$, na equação de balanço de massa, pode ser um dado em um sistema, ou estar relacionado com a velocidade e densidade dos fluidos que fluem para dentro e para fora do sistema.

2.3.1. FLUXO UNIFORME

Considerando a figura abaixo, tem-se a seguinte relação cinemática: a massa que passará através da superfície de **área** *A*, no intervalo de tempo *dt*, é aquela limitada pelo volume dV_f , dado por:

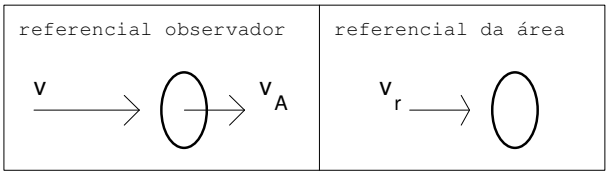
$$dV_f = A.dx_f \quad ,$$



pois somente as partículas contidas neste volume terão tempo de passar. A distância dx_f é dada por:

$$dx_f = \mathrm{v}_f . dt \ ,$$

onde v_f , *velocidade de fluxo*, é a **componente normal** à área *A* da *velocidade relativa* v_r do fluido em relação à área *A* , i.e., no referencial da área *A* (pois a própria área pode estar se movendo). Apenas a componente normal é responsável por levar as partículas de fluido a se aproximar e atravessar a área.



Assim, $dV_f = A.\mathrm{v}_f\, dt$,

e a taxa de transporte de volume, *vazão volumétrica*, será:

$$\boxed{\dot{V} = \mathrm{v}_f \,.\, A} \;.$$

Finalmente, a massa contida no volume transportado é:

$$dm_{trans} = \rho\, dV_f \;,$$

e o fluxo de massa:

$$\boxed{\dot{m} = \rho \mathrm{v}_f \,.\, A} \;.$$

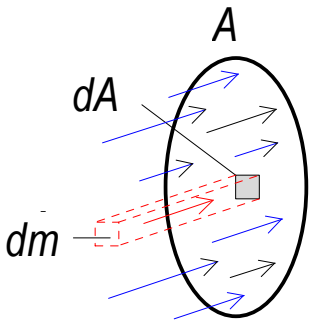
Portanto, a vazão volumétrica unitária (por unidade de área), e o fluxo de massa unitário são respectivamente:

$$\frac{\dot{V}}{A} = \mathrm{v}_f$$

$$\frac{\dot{m}}{A} = \rho \mathrm{v}_f$$

2.3.2. FLUXO NÃO-UNIFORME

Neste caso, a velocidade e a densidade podem variar de ponto para ponto sobre a superfície. Considerando elementos infinitesimais de área, a vazão volumétrica e o fluxo de massa através de cada elemento são dados por:



$$d\dot{V} = \mathrm{v}_f \,.\, dA$$
$$d\dot{m} = \rho \mathrm{v}_f \,.\, dA$$

e os totais sobre a área serão

$$\boxed{\dot{V} = \int_A \mathrm{v}_f \; dA}$$

$$\boxed{\dot{m} = \int_A \rho \mathrm{v}_f \; dA}$$

2.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Outra ferramenta a ser utilizada na formulação e análise deste estudo de caso é a análise granulométrica.

Esta análise fornece a distribuição percentual, em peso, dos tamanhos dos grãos que constituem o material. Essa caracterização é essencial para os processos físicos voltados para a extração e síntese. Ou seja, a análise granulométrica permite identificar o tamanho e a distribuição dos grãos.

A análise granulométrica é feita através de peneiras de diferentes aberturas e que são padronizadas internacionalmente. Cada peneira tem um número de aberturas por polegada linear denominado “mesh”. Logo, quanto maior o “mesh”, maior o número de aberturas e, conseqüentemente, mais fino deverá ser o grão para que passe por ela. Assim, para materiais grosseiros, usam-se peneiras de baixo “mesh” e para finos usam-se peneiras com maior “mesh”.

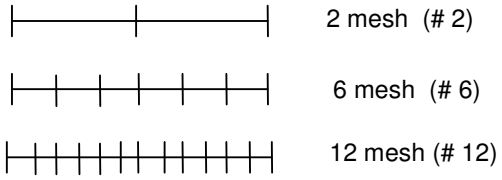


Figura 1 - Comparação das aberturas de peneiras

Para facilitar a compreensão deste estudo, adotou-se a conversão da medida da abertura das peneiras de “mesh” para milímetros. Segue em anexo a tabela de conversão destas unidades obtida no Manual de Britagem da Faço (1994).

A figura a seguir exemplifica como é realizada esta análise:

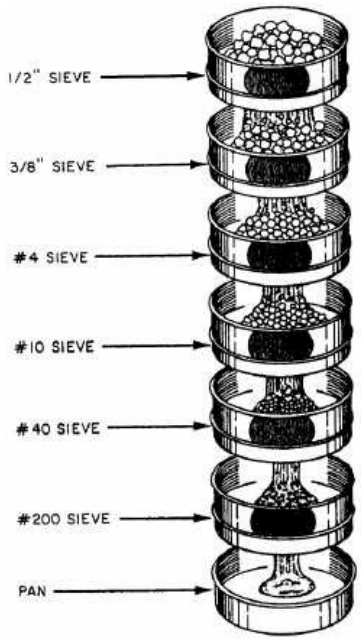


Figura 2 - Análise granulométrica

Capítulo III
DESCRIÇÃO

3.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A Pedra Sul Mineração Ltda é uma mineração de agregados para construção civil, cujo mineral explorado é o gnaisse. A empresa produz toda a linha de agregados (Britas e pedras britadas de todos os tamanhos convencionais), além da areia de brita, seu novo produto.

Localizada no Empresarial Park Sul, encontra-se na BR-040 no município de Matias Barbosa (MG).

A Pedra Sul está situada numa área de 120.000 m^2, com uma jazida de 80.000m^2 e volume útil estimado de 15.000.000 m^3 "in situ". Com sua capacidade de produção horária de 270 m^3, a estimativa do tempo de vida da lavra é de aproximadamente 20 anos.

Fundada em Dezembro de 1997, a sociedade limitada entrou em operação em Abril de 1999, período em que se desenvolveu o projeto de lavra e do beneficiamento, tornando-se líder de mercado no mesmo ano em que iniciou suas atividades, mantendo sempre o foco na qualidade de seus produtos.

Hoje, atua no mercado regional que compreende a Zona da Mata mineira, Sul de Minas e interior do Estado do Rio de Janeiro, em um raio aproximado de 150 km. Com o novo produto, a areia de brita comercialmente chamada de "Areia Industrial", alcança mercados em até 300 km devido ao seu alto valor agregado. As regiões são separadas por rotas de atuação e as rotas segmentadas por atividades específicas.

Com 40 funcionários, a Pedra Sul possui uma força de trabalho operacional, de idade média de 33 anos e escolaridade mínima de 1º. Grau. O grupo de gestão, com média de idade de 29 anos, é em quase toda sua totalidade proveniente de programas de estágio da empresa. Estes programas de estágio são feitos com universidades locais, tanto de nível médio como superior, de acordo com a demanda de cada setor ou para o acompanhamento de novos projetos.

A Pedra Sul mantém parcerias constantes com consultores de todos os setores: da área de Engenharia de Minas e Civil, passando pela Administração e Comercial, com o desenvolvimento permanente de novos conceitos e melhoria contínua de processos. Tem serviços terceirizados nas áreas de informática, manutenção, segurança e meio ambiente. Todo o frete é terceirizado com caminhoneiros autônomos, com frota aproximada de 25 caminhões.

Com um projeto inovador em termos de conceito de qualidade e produtividade para o setor de mineração de agregados, a Pedra Sul é benchmarking no setor. Utiliza equipamentos de última geração em todos os processos produtivos, que são otimizados e acompanhados de forma a manter os índices pré-estabelecidos em projeto.

No primeiro processo, perfuração e detonação, procedimentos de maximização da energia aplicada à rocha são realizados com o auxílio do acompanhamento topográfico. Este acompanhamento garante a perfeição da furação e melhor utilização do explosivo bombeado líquido, tecnologia recente no Brasil, que proporciona maior agilidade, potência e segurança.

O setor de carga e transporte também foi um item de inovação da Pedra Sul por utilizar uma escavadeira frontal para a carga, alcançando produtividade compatível com pá-carregadeiras de grande porte e gerando significativa redução de custos. Hoje esta prática é largamente empregada e aprovada em minerações de mesmo porte.

A concepção da planta de beneficiamento contempla as mais modernas técnicas de produção, com circuitos fechados nos rebritadores e pilhas individuais de aproximadamente 2.000 m^3 para máxima alimentação e melhoria da forma dos grãos. O *layout* da britagem facilita a expedição de produtos e execução de manutenção e limpeza da planta. Para a produção da areia de brita foram feitas adaptações no *layout*, introduzindo um britador tipo VSI (*Vertical Shaft Impactor*), uma peneira de grande porte para os produtos convencionais e utilizando uma peneira exclusiva para realizar a separação da areia de concreto da areia de argamassa, gerando qualidade de classificação e padrão para o produto.

A Pedra Sul é a única pedreira da região a vender seus produtos via balança rodoviária, garantindo segurança e confiabilidade aos clientes, e que possui usina misturadora de agregados, proporcionando graduações diversas e precisas para as bases de pavimentação. Além disso, mantém laboratório de ensaios e pesquisas em diversas aplicações de seus produtos. Os trabalhos desenvolvidos com seus consultores também visam ensinar ao público consumidor a melhor forma de aplicação de seus produtos. São realizados freqüentemente cursos gratuitos em suas instalações, promovendo melhoria e capacitação da mão de obra.

O Processo Produtivo é formado por três etapas:

- **Perfuração e Detonação**: A perfuração da rocha é feita através de uma perfuratriz de carreta pneumática, dimensionada para atender a demanda dos processos seguintes. No acompanhamento topográfico da bancada a ser detonada, identifica-se a cota de cada mina. Estes valores são lançados em um software que utiliza a cota de projeto do banco inferior para realizar o cálculo da profundidade de cada mina, garantindo um

perfeito nivelamento dos bancos e conseqüentemente, pistas planas e menor utilização de forros para regularização das mesmas. Este procedimento, além de aumentar a produtividade da carga e transporte, garante maior segurança no momento da detonação.

- **Carga, Transporte e Britagem Primária**: Processo de transferência do mineral da praça de exploração até o início da cominuição da rocha. A carga é feita através de uma escavadeira hidráulica retro, com o apoio de uma pá-carregadeira. O transporte do material da praça ao britador primário é realizado por dois caminhões fora de estrada. Este ciclo operacional, com capacidade de produção de 300 m^3/h, está previsto no projeto de lavra de forma contínua e linear em termos da distância de transporte, sendo um dos principais fatores de redução de custo operacional contemplados no projeto.

- **Rebritagem:** É o processo que segue a britagem primária. É responsável pela cominuição do rachão (produto da britagem primária) até a geração dos produtos finais. Este processo será descrito em maiores detalhes no próximo item.

- **Expedição:** Área designada ao carregamento dos produtos vendidos. O carregamento é feito através de uma pá-carregadeira com o acompanhamento de um auxiliar que espalha e acomoda o produto na caçamba do caminhão, de forma a proporcionar maior segurança no transporte é acompanhado via rádio pela expedidora que opera os pedidos para cada caminhão de acordo com a ordem de chegada. Isso facilita o trabalho de carregamento e acesso do cliente à balança de pesagem dos produtos.

3.2. DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS

A carteira de produtos da empresa engloba britas de todas as faixas de tamanho, pedra marroada, bica corrida e areia de brita. Uma breve descrição destes produtos será apresentada a seguir:

- **Brita:** pedra quebrada mecanicamente em fragmentos de variados diâmetros, usada na fabricação de concretos, no lastro de rodovias e em outras obras. Dependendo de seu diâmetro máximo, é classificada de zero a quatro, da menor para a maior. A faixa de tamanho utilizada para as britas de zero a quatro na empresa é a seguinte:
    - Brita 0: faixa granulométrica de 4 a 10mm
    - Brita 1: faixa granulométrica de 10 a 25mm

- Brita 2: faixa granulométrica de 25 a 38mm
- Brita 4: faixa granulométrica de 38 a 100mm

- **Pedra Marroada:** É obtida a partir do rachão, produto da britagem primária que alimenta a planta de rebritagem. Para obtenção da pedra marroada, direciona-se o material retido no primeiro deck da peneira UCP-01 para uma pilha isolada. Dessa forma, este produto tem uma faixa granulométrica acima de 100mm. A pedra marroada é normalmente utilizada em obras de pavimentação, drenagens, terraplenagem, etc.

- **Bica corrida:** É a porção de material retirada do processo de beneficiamento logo no primeiro peneiramento. É característica deste material possuir alto teor de terra e argila misturado ao pó de pedra. A bica corrida é geralmente utilizada em obras de base, sub-base, reforço do subleito e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.

- **Areia de Brita:** É oferecida pela empresa em duas graduações: fina e média. A areia fina possui granulometria abaixo de 2mm, enquanto a média se encontra abaixo de 4mm. Este produto é normalmente utilizado substituindo a areia convencional em obras de construção civil, usinas de concreto, asfalto, etc.

3.3. O PROCESSO DE REBRITAGEM

3.3.1. CLASSIFICAÇÃO DA INSTALAÇÃO

De acordo com o Manual De Britagem Da Faço (1994) “pode-se identificar três tipos diferentes de instalações de rebritagem: fixa, semi-móvel e móvel. A escolha e as aplicações destas dependem principalmente do tempo de permanência da instalação, tempo disponível para montagem e disponibilidade de mão-de-obra no local.

As instalações fixas são empregadas em empreendimentos de localização definitiva, tais como: pedreiras, minerações e fábricas de cimento.

Em virtude da facilidade, rapidez e economia de montagem, por requerer pouca obra civil e por dispensar ajustes de máquinas e bicas, as instalações semi-móveis são empregadas principalmente em empreendimentos a médio prazo, com tempo de montagem limitado, tais como: instalações para barragens hidrelétricas, pedreiras para construção de estradas, etc.

As instalações móveis são indicadas para os empreendimentos que requerem locomoção constante e tempo mínimo de montagem. Minimizam os inconvenientes e os custos das sucessivas montagens, desmontagens e transporte. São comumente empregadas em serviços de manutenção de estradas, prospecção geológica e exploração de jazidas espalhadas em uma determinada área.“

Por se tratar de um investimento de longo prazo, de localização definitiva, a instalação utilizada na Pedra Sul é fixa.

3.3.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O processo de rebritagem é o responsável pela geração de produto final. Ele é alimentado com o rachão, produto gerado pela britagem primária.

No processo de rebritagem, o rachão passa primeiramente pela peneira UCP-01. Esta peneira possui dois decks de peneiramento. O material retido no primeiro deck (tela de 100mm) é utilizado como alimentação do britador secundário (S3000), enquanto o material passante no primeiro e segundo deck (tela de 15mm) é depositado na pilha de bica corrida e retirado do processo, por possuir alto teor de contaminação por terra e argila. Já o material passante no primeiro deck e retido no segundo é encaminhado à correia transportadora UTC-03, onde se juntará ao material produzido pelos britadores terciário (H4000) e quaternário (REMco) que serão levados à peneira UCP-02, para que possam participar do próximo estágio de peneiramento.

No segundo estágio de peneiramento, os cortes realizados são de 38mm no primeiro deck e 25mm no segundo. O material retido no primeiro deck será depositado na pilha de brita 4, que alimenta o britador terciário (H4000) e o material retido no segundo deck irá para a pilha de brita 2, que alimenta o britador quaternário (REMco). Já o material passante pelos dois decks é produto final que será encaminhado à correia transportadora UTC-05 e será classificado pelos próximos estágios de peneiramento.

O processo de classificação do material transportado pela correia UTC-05 é feito através de duas peneiras. A primeira delas (UCP-03) utiliza telas de 10mm no primeiro deck e 4mm no segundo. O material retido no primeiro deck é encaminhado à pilha de brita 1, enquanto o material retido no segundo deck é encaminhado à pilha de brita 0. O material passante por este peneiramento é areia de brita, que será classificada em areia média e areia fina através de um peneiramento ineficiente realizado com uma tela de 2mm pela UCP-04.

A Figura 3 resume o processo de rebritagem descrito acima através de um desenho esquemático e a Tabela 1 identifica seus componentes.

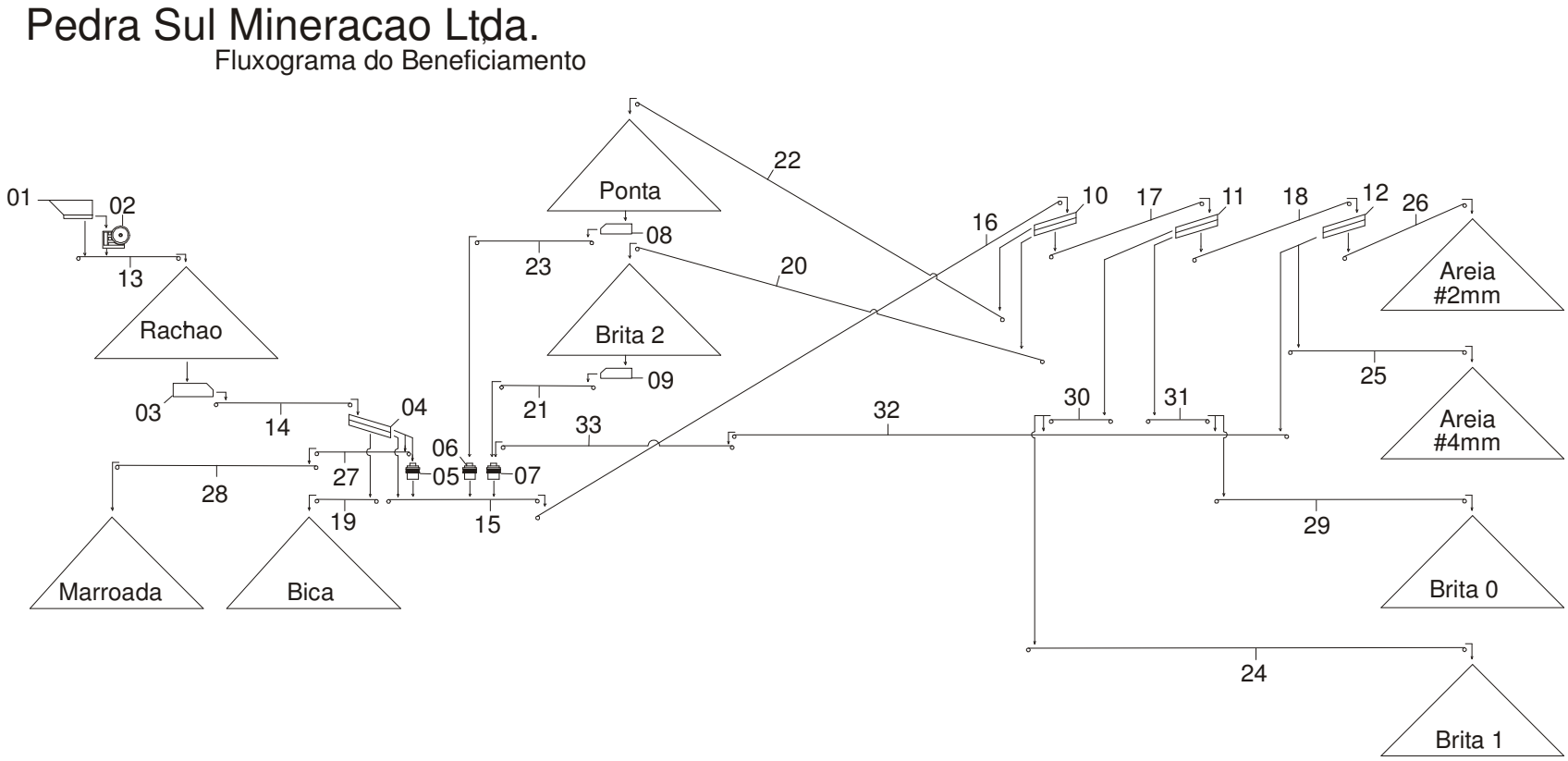


Figura 3 – Fluxograma do beneficiamento

Ref	Descrição do Equipamento	Fabricante	Modelo	Código
1	Alimentador vibratório	FAÇO	MV-60128	UA-01
2	Britador de Mandibula	FAÇO	1208 HD	UB-01
3	Calha vibratória	FAÇO	CV-1510	UA-02
4	Peneira vibratória intermediária	FAÇO	XH 5x14DD	UCP-01
5	Rebritador giratório	FAÇO	S-3000	UR-01
6	Rebritador hidrocone	FAÇO	H-4000	UR-03
7	VSI	OMNI	REMco	UR-02
8	Calha Vibratória	FAÇO	CV-1308	UA-03
9	Calha vibratória	FAÇO	CV-1308	UA-04
10	Peneira vibratória intermediária	FAÇO	BS60024/2A	UCP-02
11	Peneira vibratória classificatória	OMNI		UCP-03
12	Peneira vibratória classificatória	FAÇO	BS50020/2A	UCP-04
13	Correia Transportadora	FAÇO	26.80mx36"	UTC-01
14	Correia Transportadora	FAÇO	24.70mx30"	UTC-02
15	Correia Transportadora	FAÇO	11.80mx36"	UTC-03
16	Correia Transportadora	FAÇO	23.80mx36"	UTC-04
17	Correia Transportadora	FAÇO	17,80mx30"	UTC-05
18	Correia Transportadora	FAÇO	21.70mx24"	UTC-06
19	Correia Transportadora	FAÇO	16.70mx20"	UTC-07
20	Correia Transportadora	FAÇO	36.56mx24"	UTC-08
21	Correia Transportadora	FAÇO	34.30mx24"	UTC-09
22	Correia Transportadora	FAÇO	52.33mx24"	UTC-10
23	Correia Transportadora	FAÇO	34.30mx24"	UTC-11
24	Correia Transportadora	FAÇO	28.00mx24"	UTC-12
25	Correia Transportadora	FAÇO	29.70mx20"	UTC-13
26	Correia Transportadora	FAÇO	23.70mx20"	UTC-14
27	Correia Transportadora	CORGOSINHO	4,00mx30"	UTC-15
28	Correia Transportadora	CORGOSINHO	36,40mx30"	UTC-16
29	Correia Transportadora	FAÇO	40,60mx20"	UTC-17
30	Correia Transportadora	CAMPOS	4,80mx20"	UTC-18
31	Correia Transportadora	CAMPOS	4,80mx20"	UTC-19
32	Correia Transportadora	CAMPOS	34,80mx24"	UTC-20
33	Correia Transportadora	CAMPOS	17,60mx30"	UTC-21

Tabela 1 - Legenda

3.3.3. DESCRIÇÃO DOS BRITADORES

Para complementar a descrição do funcionamento da planta de rebritagem, será abordado neste tópico o funcionamento e as características específicas dos principais componentes presentes neste arranjo, os britadores.

Como foi apresentado anteriormente, a empresa trabalha com quatro britadores diferentes, onde três deles fazem parte da planta de rebritagem. Estes britadores não possuem a mesma especificação. Cada um deles foi escolhido para realizar uma tarefa específica. Uns são mais eficientes para trabalhar com uma alimentação pesada, enquanto outros são melhores com uma alimentação mais fina.

Antes de fazer a diferenciação dos britadores, é importante definir o termo "britagem". De acordo com o Manual de Britagem da Faço (1994), "Britagem é a fase grosseira da cominuição de minerais. O processo mais empregado na britagem consiste na quebra de material principalmente pela ação da força de compressão, aplicada através do movimento periódico de aproximação e afastamento de uma superfície de britagem móvel contra outra fixa".

Feita esta definição podemos diferenciar os quatro britadores existentes na empresa em três grupos:

• **Britador de Mandíbulas:** É um equipamento robusto com boa capacidade de até 100 t/h, composto basicamente de duas mandíbulas que se aproximam e afastam através de eixo. Este é o tipo de britador utilizado na britagem primária, que recebe as pedras oriundas da detonação, processando-as para alimentar a planta de rebritagem.

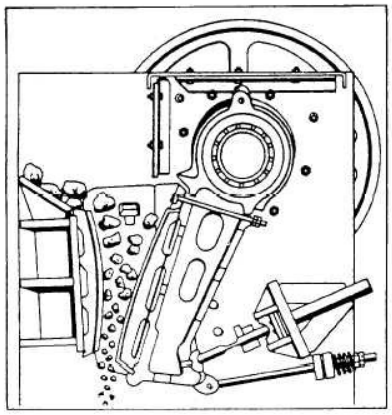


Figura 4 - Britador de mandíbula

• **Britador Cônico:** O princípio de funcionamento é a movimentação do eixo central que comprime as partículas contra a carcaça que possui um distanciamento com o eixo

invertido. O movimento ascendente e descendente do eixo é que regula a APF (abertura na posição fechada) e o tempo que as partículas ficam retidas no interior do britador. A medida desta abertura pode ser feita de duas formas. Medindo-se a distancia entra a carcaça e o cone quando este está se movimentando para comprimir o material encontra-se a abertura na posição fechada (APF). A media quando o cone encontra-se afastado da carcaça é a APA (abertura na posição aberta). Este tipo de britador é utilizado na empresa para realizar as britagens secundária e terciária, com os britadores S3000 e H4000, respectivamente.

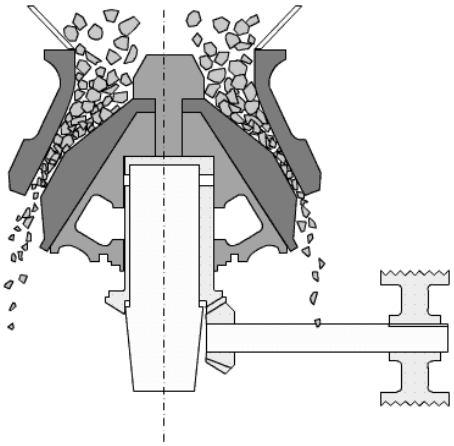


Figura 5 – Britador cônico

• **Britador VSI:** O britador VSI, rocha–contra-rocha é um impactador de eixo vertical que se diferencia dos convencionais pela utilização de acúmulos de rocha dentro da máquina para minimizar o desgaste metálico. O processamento do material realizado por este equipamento é o que mais se aproxima do processo de erosão da areia natural em leito de rios. Este britador é o mais adequado para a obtenção de areia artificial quando se trabalha com alimentação fina. O REMco é o britador VSI utilizado para a britagem quaternária pela empresa.

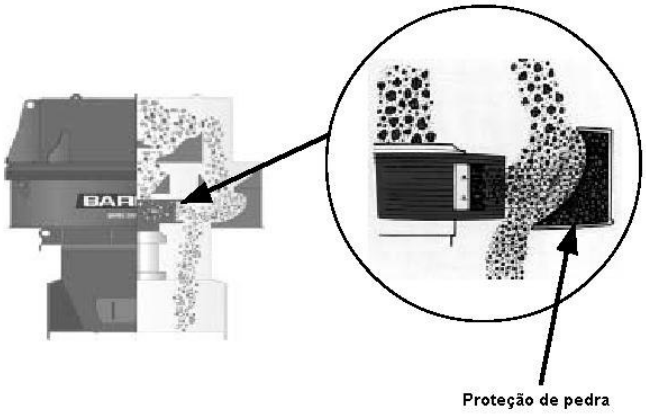


Figura 6 – Britador VSI

Capítulo IV
OS ENSAIOS

4.1. O MÉTODO

Em vista do que foi apresentado na pesquisa teórica, entende-se fluxo de massa como a taxa de transporte de massa, isto é, a quantidade de massa transportada por unidade de tempo (ex.: Kg/s).

Analisando o objetivo que se pretende atingir, adotou-se o método de coleta em correias para a realização destes ensaios.

Através deste método, realiza-se a medição do comprimento e do período de rotação das correias transportadoras, para que então seja possível calcular a velocidade tangencial da mesma. Com a velocidade calculada, faz-se então a coleta do material, que é pesado para que seja possível encontrar o fluxo de massa através da correia. Posteriormente, o material coletado é levado ao laboratório para a realização de ensaios granulométricos, que irão identificar em que faixa de tamanho está o material coletado naquela correia. Este método foi utilizado para analisar o funcionamento de cada britador funcionando isoladamente.

A seguir, serão detalhados os passos realizados para a utilização deste método.

1º) Medição das correias:

Para realizar esta medição, foi feita uma marca em determinado ponto da correia e a partir dali foram feitas consecutivas medições até encontrar a marcação novamente. Dessa forma foi possível encontrar o comprimento total de cada correia.

2º) Medição do período das correias:

Para medição do período, novamente foi feita uma marcação na correia e o tempo entre cada passagem desta marca em frente a um determinado ponto de referência foi medido dez vezes. O período da correia foi então encontrado através da média aritmética destes dez tempos.

3º) Cálculo da velocidade da correia:

Encontrado o comprimento ($\mathbf{C_c}$) e o período de rotação da correia ($\mathbf{T_c}$), a simples divisão do comprimento pelo período nos leva à velocidade tangencial da mesma ($\mathbf{v_c}$).

Foram utilizadas as unidades metro e segundo para comprimento e período, respectivamente.

$$v_c = \frac{C_c}{T_c} m/s$$

4º) Coleta de material na correia:

A coleta de material nos fornece o último dado necessário para realizar o cálculo do fluxo de massa através da correia: qual é em média, a massa transportada por metro.

Para encontrar este dado, primeiramente foi preciso que o funcionamento de dois britadores fosse interrompido e que a correia fosse parada para coletar o material produzido por um britador trabalhando isoladamente. Para realizar esta coleta, foi feita uma marcação de um metro no comprimento da correia transportadora e foi coletado todo o material dentro desta marcação. Este procedimento foi realizado cinco vezes para cada ensaio e foi feita a média dos dados.

5º) Cálculo do fluxo de massa através da correia:

Neste passo já se têm todos os dados necessários para encontrar o fluxo de massa através da correia (**F_c**). Com a velocidade da correia (**v_c**) em metros por segundo e a massa transportada (**m_c**) em quilogramas por metro, torna-se fácil realizar este cálculo. Para tanto, basta multiplicar estas grandezas e obtém-se o fluxo em quilogramas por segundo. É usual dividir esta grandeza por mil e multiplicar por três mil e seiscentos, para se obter o resultado em toneladas por hora.

Dessa forma, tem-se a equação:

$$F_c = \frac{v_c \times m_c}{1000} \times 3600 t/h$$

6º) Análise granulométrica em laboratório:

Após a pesagem total do material coletado para realizar o cálculo do fluxo de massa, inicia-se a análise granulométrica do mesmo. Esta análise é importante para identificar a faixa de tamanho em que se encontra o material produzido pelo britador, tornando possível prever qual será o comportamento deste material no estágio de peneiramento a que será submetido.

A análise granulométrica realizada se resume simplesmente no peneiramento do material coletado em laboratório e pesagem da quantidade retida nestes peneiramentos. Inicia-se com peneiras de maior abertura e o processo termina utilizando as peneiras de menor abertura. Na análise granulométrica do material coletado na correia UTC-02 foram

utilizadas as peneiras de 100, 75, 60, 38, 25 e 15mm, enquanto nos outros ensaios as peneiras de 75, 38, 25, 10 e 4mm. As aberturas das peneiras selecionadas para realizar estes ensaios se justificam por coincidir com as aberturas das telas utilizadas nas peneiras integrantes da planta de rebritagem.

Esta análise nos permite identificar a porcentagem de material presente em cada faixa de tamanho, para que então seja possível multiplicar pelo fluxo de massa presente na correia e encontrar o fluxo de massa por faixa de tamanho. Seja $\mathbf{m_c}$ a massa total em um metro de correia, $\mathbf{v_c}$ a velocidade da correia, $\mathbf{m_{75}}$ a massa retida na peneira de 75mm durante a análise granulométrica, tem-se o fluxo de material na faixa de 75mm ($\mathbf{F_{75}}$):

$$F_{75} = \frac{m_c \times v_c \times 3600}{1000} \times \frac{m_{75}}{m_c}$$

7º) Consolidação dos dados levantados:

Após realizar os seis passos anteriores, tem-se todos os dados necessários para levantar o fluxo de massa através da planta de rebritagem.

Nesta etapa, as informações obtidas através dos ensaios realizados com os três britadores funcionando isoladamente são consolidadas para gerar um panorama global do funcionamento da planta de rebritagem.

A partir deste ponto pode-se realizar uma análise crítica do funcionamento desta planta, para que futuras mudanças possam ser sugeridas.

4.2. A PRÁTICA

Tendo como base o método apresentado acima, foram feitos os ensaios para cada britador funcionando isoladamente. A bateria de ensaios teve início com foco no britador secundário (S3000), depois o terciário (H4000) e em seguida o quaternário (REMco).

4.2.1. ENSAIOS COM O S3000

Os ensaios realizados com o S3000 possuem uma peculiaridade. Como foi exposto na descrição do processo de rebritagem e pode ser acompanhado na Figura 3, o S3000 (componente 05, na figura) é alimentado diretamente pelo primeiro deck da peneira UCP-01 (componente 04) e deposita seu produto na correia UTC-03 (componente 15). Entretanto, com a peneira funcionando para alimentar o britador, o material retido no seu segundo deck também é depositado na correia UTC-03. Dessa forma, ao realizar os ensaios, o material coletado teria uma porção processada no S3000 e outra vinda diretamente da pilha de rachão, através do segundo deck da peneira UCP-01. Assim, uma forma de tentarmos

distinguir estas duas porções de material, com diferentes origens, é analisando o fluxo de massa através da coleta e granulometria do material passante na correia UTC-02 (componente 14), que alimenta a peneira UCP-01. Com isso, seria possível ter uma base do fluxo de material passante no segundo deck desta peneira, que nos ajudaria a distinguir estes dados para futuras análises.

1) Identificação do material passante no segundo deck da UCP-01:

Diferentemente do que foi feito nos outros ensaios, para fazer esta identificação foram feitas três coletas em dois metros de correia da UTC-02. Isto porque este ensaio se mostrou um procedimento difícil de ser realizado por se tratar de um local de difícil acesso e da correia transportar grande volume de material com uma faixa de tamanho elevada. A Tabela 2 mostra o resultado das coletas com as análises granulométricas dos ensaios realizados nesta correia.

Data	100mm	75mm	60mm	38mm	25mm	15mm	Fundo	Total
17/04/2006	57,582	10,090	15,190	17,630	4,940	2,670	22,520	130,622
17/04/2006	53,568	9,935	13,375	17,785	6,020	5,374	23,300	129,357
19/04/2006	55,150	11,942	14,265	18,400	6,815	6,490	20,845	133,907
Média	**55,433**	**10,656**	**14,277**	**17,938**	**5,925**	**4,845**	**22,222**	**131,295**
%	**42,22%**	**8,12%**	**10,87%**	**13,66%**	**4,51%**	**3,69%**	**16,93%**	**100,00%**
Fluxo (t/h)	**169,275**	**32,540**	**43,597**	**54,777**	**18,093**	**14,795**	**67,859**	**400,933**

Tabela 2 – Análise granulométrica dos ensaios realizados na correia UTC-02

O comprimento, o período e a velocidade da correia também foram identificados para realização da análise:

Tamanho da correia: 55 m
Período médio: 32,42 s
Velocidade: 1,70 m/s
Comprimento da coleta: 2m

Tela do primeiro deck da UCP-01: 100mm
Tela do segundo deck da UCP-01: 15mm

A partir dos dados apresentados acima, pode-se prever o seguinte comportamento do fluxo de massa presente na correia UTC-02, ao ser submetido a peneiramento na UCP-01.

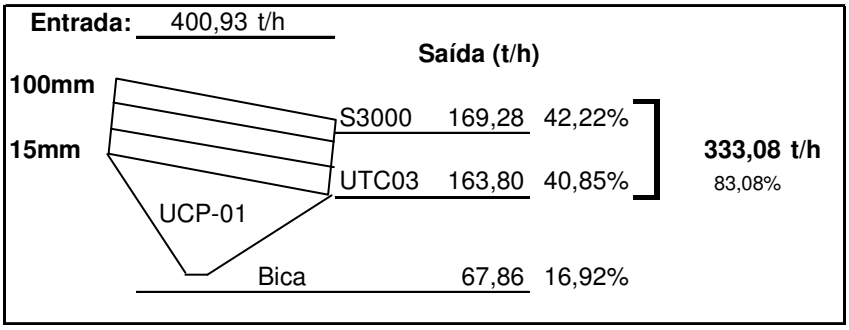


Figura 7 – Previsão do peneiramento do material da correia UTC-02

2) Identificação do material coletado na correia UTC-04:

O segundo passo necessário para concluir os ensaios com o britador S3000 é realizar a coleta do material passante na correia UTC-04 (componente 16, na Figura 3), que recebe da UTC-03 o material processado pelo S3000 e o material vindo do segundo deck da peneira UCP-01. A Tabela 3 mostra o resultado das coletas com as análises granulométricas dos ensaios realizados nesta correia.

Data	75mm	38mm	25mm	10mm	4mm	Fundo	Total
24/04/2006	2,075	12,070	4,585	4,330	0,627	0,922	24,609
25/04/2006	2,730	21,335	4,445	5,270	0,865	1,114	35,759
25/04/2006	3,460	22,450	4,550	3,715	0,686	1,137	35,998
27/04/2006	1,175	17,365	4,110	4,695	0,843	1,339	29,527
28/04/2006	2,850	15,915	3,725	4,230	0,685	1,019	28,424
Média	**2,458**	**17,827**	**4,283**	**4,448**	**0,7412**	**1,1062**	**30,8634**
%	**7,96%**	**57,76%**	**13,88%**	**14,41%**	**2,40%**	**3,58%**	**100,00%**
Fluxo (t/h)	**26,422**	**191,630**	**46,040**	**47,814**	**7,967**	**11,891**	**331,764**

Tabela 3 - Análise granulométrica dos ensaios realizados na correia UTC-04

Reunindo as informações acima, com as informações da coleta anterior, pode-se chegar ao seguinte fluxograma:

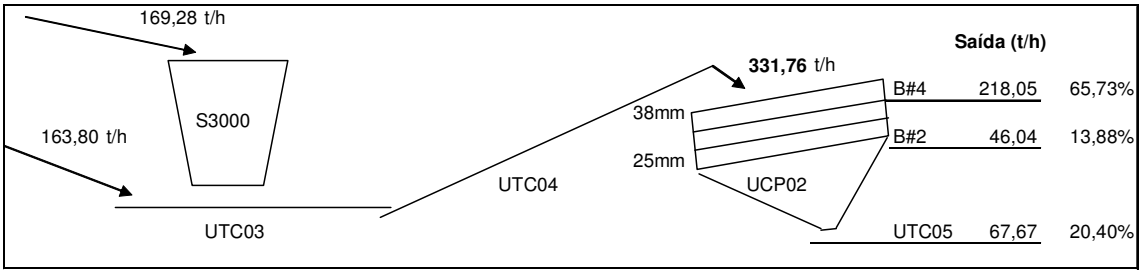


Figura 8 - Resumo das informações obtidas através dos ensaios com o S3000

4.2.2. ENSAIOS COM O H4000

Como se pode acompanhar a partir da Figura 3, o britador terciário (componente 06, na figura) é alimentado diretamente pela pilha de brita quatro (também chamada de "ponta"), através da correia UTC-11 (componente 23) e deposita seu produto na correia UTC-03 (componente 15). Para realizar este ensaio, as coletas de material foram feitas nas correias UTC-11 e UTC-04 (componente 16), que recebe o material vindo da correia UTC-03. Vale ressaltar que a coleta realizada na correia UTC-11 não passa por análise granulométrica, isto porque é feita apenas para se calcular a taxa de alimentação do britador e pelo fato de já se conhecer a faixa granulométrica da brita quatro.

A seguir são apresentados os comprimentos, os períodos e as velocidades relativas a cada correia. Os dados referentes às coletas nas correias UTC-04 e UTC-11 são exibidos nas tabelas 4 e 5, respectivamente.

Alimentação: UTC-11
Tamanho da correia: 78m
Período: 31,46s
Velocidade: 2,48m/s
Comprimento da coleta: 1m

Descarga: UTC-04
Tamanho da correia: 53,15m
Período: 17,80s
Velocidade: 2,99m/s
Comprimento da coleta: 1m

Tela do primeiro deck da UCP-02: 38mm
Tela do segundo deck da UCP-02: 25mm

Data	75mm	38mm	25mm	10mm	4mm	Fundo	Total
05/6/2006	0,000	7,800	11,950	7,420	1,695	2,210	31,075
05/6/2006	0,000	7,945	12,551	6,231	1,045	2,011	29,783
07/6/2006	0,000	6,713	12,653	8,422	2,543	3,101	33,432
07/6/2006	0,000	7,121	11,352	7,549	1,388	1,245	28,655
07/6/2006	0,000	8,524	13,255	7,247	1,600	2,015	32,641
Média	**0,000**	**7,621**	**12,352**	**7,373**	**1,654**	**2,116**	**31,117**
%	**0,00%**	**24,49%**	**39,70%**	**23,69%**	**5,32%**	**6,80%**	**100,00%**
Fluxo (t/h)	**0,000**	**81,922**	**132,778**	**79,256**	**17,780**	**22,746**	**334,492**

Tabela 4 - Análise granulométrica dos ensaios realizados na correia UTC-04

Data	UTC 11 (kg/m)
12/6/2006	34,758
12/6/2006	36,191
12/6/2006	40,745
13/6/2006	36,101
13/6/2006	37,102
Média	**36,979**
Fluxo (t/h)	**330,064**

Tabela 5 – Massa das coletas realizadas na correia UTC-11

A partir dos dados apresentados acima, pode-se chegar ao seguinte esquema que resume o funcionamento deste britador.

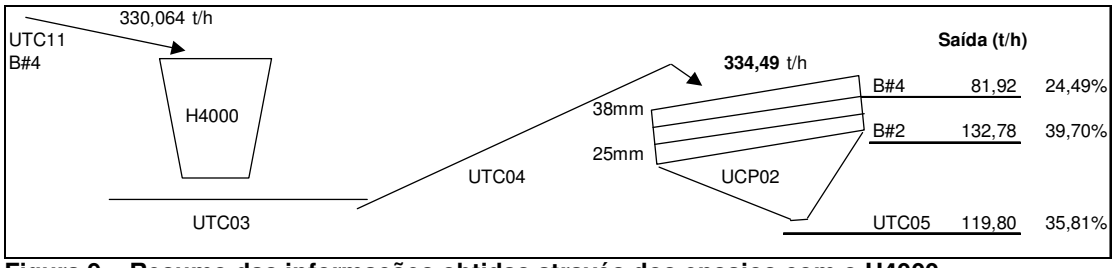


Figura 9 – Resumo das informações obtidas através dos ensaios com o H4000

4.2.3. ENSAIOS COM O REMco

A forma como o REMco está conectado à planta de rebritagem é parecida com forma como se encontra conectado o H4000. Ele é alimentado de brita dois, pela correia UTC-09 (componente 21, na Figura 3) e deposita seu produto também na correia UTC-03, assim como os outros britadores. Logo, a forma como os ensaios foram realizados para este britador é análoga à forma como foram feitos para o H4000.

A seguir são apresentados os dados relativos às correias de alimentação e descarga deste britador, assim como os dados referentes às coletas nestas correias.

Alimentação: UTC-09
Tamanho da correia: 76,9m
Tempo da volta: 34,75s
Velocidade: 2,21m/s
Comprimento da coleta: 1m

Descarga: UTC-04
Tamanho da correia: 53,15m
Tempo da volta: 17,80s
Velocidade: 2,99m/s
Comprimento da coleta: 1m

Data	75mm	38mm	25mm	10mm	4mm	Fundo	Total
15/5/2006	0,000	0,000	3,304	12,980	3,005	5,490	24,779
15/5/2006	0,000	0,000	3,241	13,010	2,875	6,404	25,530
18/5/2006	0,000	0,000	4,010	12,542	2,987	5,852	25,391
18/5/2006	0,000	0,000	3,518	11,997	3,341	5,386	24,242
18/5/2006	0,000	0,000	2,980	12,634	3,104	4,503	23,221
Média	**0,000**	**0,000**	**3,410**	**12,632**	**3,062**	**5,527**	**24,633**
%	**0,00%**	**0,00%**	**13,84%**	**51,28%**	**12,43%**	**22,44%**	**100,00%**
Fluxo (t/h)	**0,000**	**0,000**	**36,655**	**135,785**	**32,914**	**59,411**	**264,787**

Tabela 6 - Análise granulométrica dos ensaios realizados na correia UTC-04

Data	UTC 09 (kg/m)
15/06/2006	36,368
15/06/2006	31,029
15/06/2006	33,079
16/06/2006	35,201
16/06/2006	28,741
Média	**32,884**
Fluxo (t/h)	**261,971**

Tabela 7 – Massa das coletas realizadas na correia UTC-09

Assim, as informações obtidas através deste ensaio ficam então resumidas da seguinte forma:

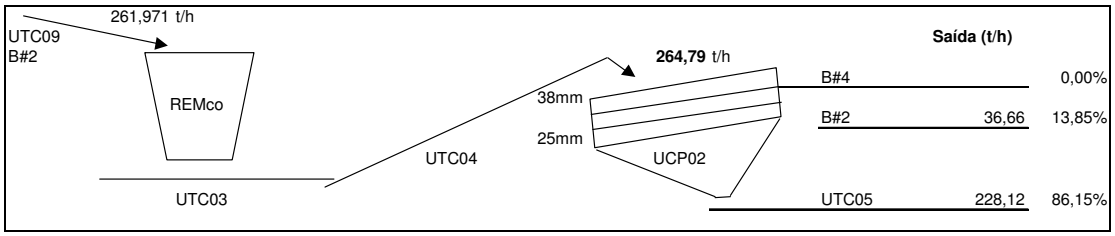


Figura 10 - Resumo das informações obtidas através dos ensaios com o REMco

4.2.4. CLASSIFICAÇÃO DA AREIA

Até agora, com os dados obtidos através dos ensaios anteriores, é possível completar quase todo o fluxograma de beneficiamento da planta de rebritagem. Entretanto, para que este fluxograma seja completo, é necessário conhecer o comportamento da areia quando é submetida ao peneiramento ineficiente da UCP-04.

A obtenção destes dados envolve ensaios que identificam a taxa de produção de cada tipo de areia para que estas possam ser comparadas com a taxa total de produção de areia. Para tal, o procedimento realizado neste ensaio é análogo ao realizado nos ensaios anteriores. Os dados obtidos através destes ensaios são resumidos nas tabelas a seguir.

	Areia Fina	Areia Média
Correia de descarga	**UTC-14**	**UTC-13**
Comprimento (m)	48,64	51,03
Período (s)	21,25	30,41
Velocidade (m/s)	2,29	1,68

Tabela 8 - Informações sobre as correias

Data	UTC 14 (kg/m)
20/2/2006	2,929
20/2/2006	3,084
23/2/2006	2,375
23/2/2006	3,725
24/2/2006	2,929
Média	**3,008**
Fluxo (t/h)	**24,80**

Tabela 9 - Dados das coletas na correia de areia fina

Data	UTC 13 (kg/m)
20/2/2006	12,053
20/2/2006	11,781
23/2/2006	15,359
23/2/2006	12,702
24/2/2006	12,900
Média	**12,959**
Fluxo (t/h)	**78,38**

Tabela 10 - Dados das coletas na correia de areia média

Através dos fluxos de massa presente nas correias de descarga das areias fina e média, pode-se realizar o seguinte cálculo:

F_T = 78,38 t/h + 24,80 t/h = 103,18 t/h

$AF_{\%}$ = 24,80/103,18 = 24,04%

$AM_{\%}$ = 100% - 24,04% = 75,96%

Isso representa que 24,04% do material que entra na peneira UCP-04 é classificado como areia fina, e o restante é classificado como areia média.

Capítulo V
ANÁLISE

Neste capítulo, os dados levantados no capítulo anterior são consolidados e analisados criticamente procurando explorar e levantar cada aspecto do funcionamento real da planta de rebritagem.

5.1. ANÁLISES ISOLADAS

5.1.1. ANÁLISE DO S3000

Como foi apresentado no item de descrição dos britadores, o S3000 possui a abertura regulável através do ajuste da altura do eixo central. Quando estes ensaios foram feitos, a regulagem de APA utilizada era de 70mm e sua câmara de britagem era do tipo EC.

Utilizando os dados acima fornecidos, pode-se comparar a situação real deste britador com a especificada no Manual de Britagem da Faço (1994). De acordo com este manual, operando nas condições existentes o S3000 deveria ter uma taxa de produção de 245 a 325 t/h, com uma média de 285 t/h.

Para conhecer a taxa de produção real do S3000 devemos primeiro levar em conta a classificação de produto da porção de material vinda do segundo deck da peneira UCP-01 e da coleta de material realizada na correia UTC-04. Através das Tabelas 2 e 3, tem-se respectivamente:

Produto	**Brita 4**		**Brita 2**	**Brita 1**	**Bica**
Faixa	**75mm**	**38mm**	**25mm**	**15mm**	**Fundo**
Fluxo (t/h)	32,54	98,374	18,093	14,795	67,859
%	8,12%	24,53%	4,51%	3,69%	16,93%

Tabela 11 - Classificação de produto: 2º deck UCP-01

Produto	**Brita 4**		**Brita 2**	**Brita 1**	**Brita 0**	**Areia**
Faixa	**75mm**	**38mm**	**25mm**	**10mm**	**4mm**	**Fundo**
Fluxo (t/h)	26,422	191,63	46,04	47,814	7,967	11,891
%	7,96%	57,76%	13,88%	14,41%	2,40%	3,58%

Tabela 12 - Classificação de produto: Ensaio S3000 (UTC-04)

Subtraindo-se da produção obtida através do ensaio na correia UTC-04 a porção oriunda do segundo deck da UCP-01, tem-se então a produção efetiva do britador por faixa de produto:

Produto	Brita 4	Brita 2	Brita 1	Brita 0	Areia	Total
Fluxo (t/h)	87,138	27,947	33,019	7,967	11,891	167,962
%	51,88%	16,64%	19,66%	4,74%	7,08%	100,00%

Tabela 13 – Classificação de produto: Produção efetiva S3000

- **Análise de produtividade**

Verificando os dados apresentados acima, percebe-se que a produtividade real (167,692 t/h) deste britador representa 58,83% do valor especificado (285 t/h) e logo, ele se encontra sub-utilizado em 41,17%.

- **Análise da faixa de produção**

Os valores relativos à faixa de produção do britador S3000 encontram-se resumidos na Tabela 14. A partir desta tabela, verifica-se a participação do S3000 na produção final da seguinte forma:

Produto	Brita 4	Brita 2	Brita 1	Brita 0	Areia
Produção total (t/h)	299,970	215,481	262,871	58,668	94,053
Participação	29,05%	12,97%	12,56%	13,58%	12,64%

Tabela 14 - Participação na produção final: S3000

5.1.2. ANÁLISE DO H4000

Assim como o S3000, o H4000 também possui regulagem de APF. Quando estes ensaios foram realizados, o APF deste britador era de 32mm e sua câmara de britagem era a MC (Médio-Grossa). Através destes valores, pode-se consultar novamente o Manual de Britagem da Faço (1994) para se obter a taxa de produção especificada para este britador.

Segundo este manual, o H4000 deveria ter uma produtividade na faixa de 120 a 385 t/h, com uma média de 202,5 t/h. Observando a Tabela 4, verifica-se que a produtividade real deste britador se encontra na faixa de 334,492 t/h.

- **Análise de produtividade**

Através dos dados apresentados acima, percebe-se que este britador se encontra com um bom desempenho de funcionamento, produzindo de acordo com a faixa especificada pelo manual.

- **Análise da taxa de retorno**

Por estar em um circuito fechado, pode-se também analisar a taxa de retorno existente no material processado por este britador. Como o H4000 é alimentado de brita 4, toda produção de brita 4 realizada por ele será reprocessada, sendo portanto material de retorno. Assim, analisando a Figura 9, verifica-se que sua taxa de retorno é de 24,49%.

De acordo com o Manual de Britagem da Faço (1994), admite-se como aceitável uma taxa de retorno de 10% a 30%. Como a taxa real existente no britador se encontra dentro dos limites especificados pelo manual, verifica-se que a regulagem e o regime de serviço escolhido estão adequados.

- **Análise da faixa de produção**

Outra análise que pode ser realizada para este britador é a de faixa de produção. Através da Tabela 4, pode-se construir as seguintes tabelas que resumem a faixa de produção do H4000 e sua respectiva participação na produção total.

Produto	Brita 4	Brita 2	Brita 1	Brita 0	Areia
Fluxo (t/h)	**81,922**	**132,778**	**79,256**	**17,78**	**22,746**
%	**24,49%**	**39,70%**	**23,69%**	**5,32%**	**6,80%**

Tabela 15 - Classificação de produto: H4000

Produto	Brita 4	Brita 2	Brita 1	Brita 0	Areia
Produção total (t/h)	299,970	215,481	262,871	58,668	94,053
Participação	27,31%	61,62%	30,15%	30,31%	24,18%

Tabela 16 - Participação na produção final: H4000

5.1.3. ANÁLISE DO REMco

De acordo com o manual do britador, o modelo REMco RockMax500/400HP utilizado na empresa, trabalhando com a alimentação na faixa de 25 a 38mm, deveria ter uma produtividade total de 360 a 400 t/h. Ainda de acordo com este manual, 320 a 330 t/h deste material deveriam passar pelo peneiramento da UCP-02, não retornando ao britador.

Analisando a Figura 10, percebe-se que esta produtividade encontra-se a 264,79 t/h e que a fluxo do material passante na tela de 25mm da UCP-02 é de 228,12 t/h.

Para comparar os valores reais com os valores especificados pelo manual do britador, serão utilizadas as médias dos intervalos informados. Ou seja:

$$P_{espec} = \frac{360+400}{2} = 380t/h$$

$$P_{pass} = \frac{320+330}{2} = 325t/h$$

- **Análise de produtividade**

Tendo em vista os valores apresentados acima, a produtividade real deste britador representa 69,68% do valor especificado e a taxa de produção de material passante no peneiramento da UCP-02 representa 70,19% do valor especificado.

Através destas observações, percebe-se que o britador encontra-se sub-utilizado em aproximadamente 30%.

- **Análise da taxa de retorno**

Observando-se os dados informados no manual do britador, é possível ainda encontrar o valor especificado para taxa de retorno de material:

$$TR_{esp} = 1 - \frac{325}{380} = 14,47\%$$

Analogamente, pode-se calcular a taxa de retorno real:

$$TR_{real} = 1 - \frac{228,12}{264,79} = 13,85\%$$

Percebe-se então que a taxa de retorno de material presente no britador, além de próxima ao valor especificado pelo manual, encontra-se mais baixa que este. Isso indica que a regulagem e o regime de serviço escolhido para o mesmo estão adequados.

- **Análise da faixa de produção**

Analisando a Tabela 6, pode-se ainda classificar o produto deste britador por faixa de tamanho e verificar a participação deste na produção final.

Produto	Brita 2	Brita 1	Brita 0	Areia
Fluxo (t/h)	36,655	135,785	32,914	59,411
%	13,84%	51,28%	12,43%	22,44%

Tabela 17 - Classificação de produto: REMco

Produto	Brita 4	Brita 2	Brita 1	Brita 0	Areia
Produção total (t/h)	299,970	215,481	262,871	58,668	94,053
Participação	0,00%	17,01%	51,65%	56,10%	63,17%

Tabela 18 - Participação na produção final: REMco

Britador	Tx. Retorno indicada	Tx. Retorno real	Utilização	Sub-utilização
S3000	**-**	**-**	**58,83%**	**41,17%**
H4000	**10 – 30%**	**24,49%**	**86,88%**	**13,12%**
REMco	**14,47%**	**13,85%**	**69,68%**	**30,32%**

Tabela 19 – Resumo geral das análises dos britadores

5.2. ANÁLISE GLOBAL

Pretende-se realizar agora uma análise global desta planta, reunindo todos os dados resumidos nas Figuras 7, 8, 9 e 10 e nas Tabelas de 2 a 10 em um fluxograma geral, simulando a situação em que os três britadores trabalham concomitantemente.

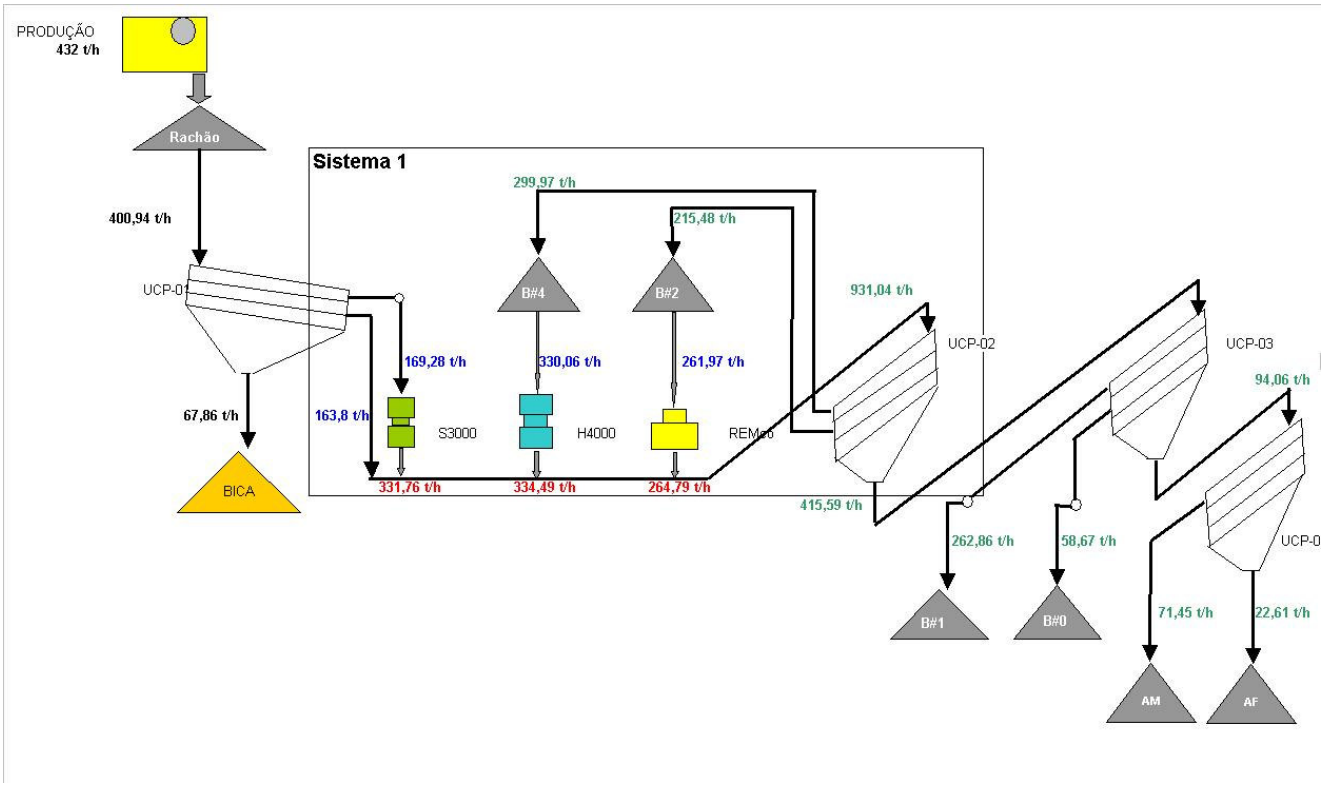


Figura 11 – Fluxograma global da planta de beneficiamento

Os valores de fluxo em vermelho indicam que estes foram calculados a partir dos ensaios realizados na correia UTC-04, para cada britador isoladamente. Os valores em azul indicam que são provenientes de coletas nas correias de alimentação. Já a cor verde indica que os fluxos são frutos de projeções realizadas a partir dos valores em vermelho e suas respectivas análises granulométricas. Observe que os valores em azul se aproximam muito dos valores em vermelho, apesar de toda variabilidade estatística presente nestes ensaios.

Para realizar esta análise global, os dados das tabelas de 2 a 10 também foram reunidos na seguinte tabela, que simula a análise granulométrica de uma coleta realizada na correia UTC-04 com os três britadores funcionando simultaneamente:

	75mm	38mm	25mm	10mm	4mm	Fundo	Total
Média (Kg/m)	2,458	25,448	20,045	24,453	5,457	8,749	86,613
%	2,84%	29,38%	23,14%	28,23%	6,30%	10,10%	100,00%
Fluxo (t/h)	26,422	273,552	215,472	262,856	58,662	94,049	931,045

Tabela 20 - Análise granulométrica com os três britadores funcionando

O seguinte gráfico de curva de produto pode ser elaborado a partir da tabela acima:

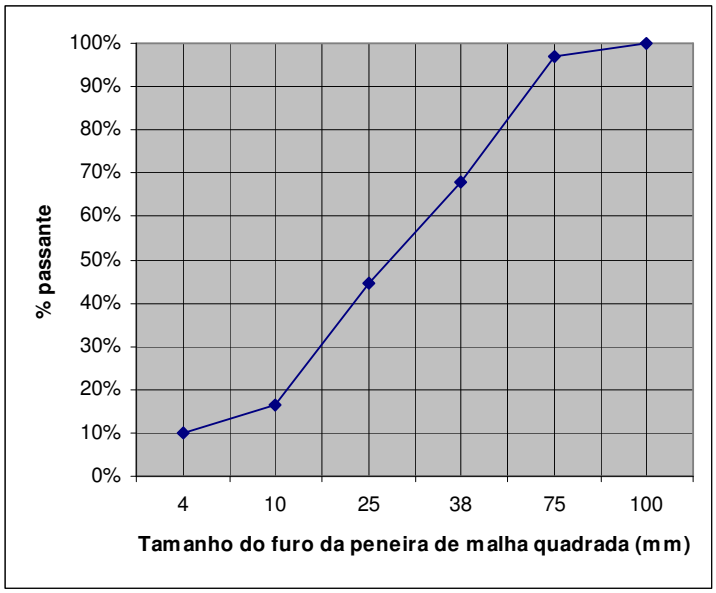


Gráfico 1 - Curva de Produto

5.2.1. ANÁLISE DA FAIXA DE PRODUÇÃO TOTAL

Através das tabelas de faixa de produção elaboradas para cada britador na análise isolada realizada acima, pode-se construir a seguinte tabela que resume a faixa de produção total.

Produto	Produção total (t/h)	Origem	Produção (t/h)	Participação % na produção total
Brita 4	299,97	S3000	87,138	29,05%
		H4000	81,922	27,31%
		REMco	0	0,00%
		2ºD. UCP-01	130,914	43,64%
Brita 2	215,481	S3000	27,947	12,97%
		H4000	132,778	61,62%
		REMco	36,655	17,01%
		2ºD. UCP-01	18,093	8,40%
Brita 1	262,871	S3000	33,019	12,56%
		H4000	79,256	30,15%
		REMco	135,785	51,65%
		2ºD. UCP-01	14,795	5,63%

Brita 0	58,688	S3000	7,967	13,58%
		H4000	17,78	30,30%
		REMco	32,914	56,08%
		2ºD. UCP-01	0	0,00%
Areia	94,053	S3000	11,891	12,64%
		H4000	22,746	24,18%
		REMco	59,411	63,17%
		2ºD. UCP-01	0	0,00%

Tabela 21 - Faixa de produção total

5.2.2. ANÁLISE DO "SISTEMA 1"

A fim de utilizar o conceito definido pela Equação 1, da formulação conceitual (2.2.1), pode-se definir como "Sistema 1" (vide Figura 11) o conjunto formado pelos três britadores, a peneira UCP-02 e os pulmões de brita 2 e brita 4.

Para analisar este sistema, é importante identificar, através do fluxograma da Figura 11, a taxa de entrada e saída de material no sistema.

$T_{entrada}$ = 169,28 t/h + 163,8 t/h = 333,08 t/h

$T_{saída}$ = 415,59 t/h

$T_{entrada} - T_{saída}$ = -82,51 t/h

A partir das observações acima, percebe-se que existe uma taxa de saída de 82,51 t/h de material do sistema delimitado. É normal existir uma taxa de saída de material do sistema, pois na prática observa-se ocasionalmente a ocorrência do esvaziamento total dos pulmões de brita 2 e brita 4, sendo necessário realizar o desligamento dos britadores H4000 e REMco.

Pode-se então atribuir esta taxa de saída a dois fatores principais:

- Esvaziamento dos pulmões de brita 2 e brita 4 durante a operação.
- Perda de material em processo.

A porção deste material relativa ao esvaziamento dos pulmões pode ser encontrada também através da Figura 11 da seguinte forma:

$TS_{B\#4}$ = 299,97 t/h – 330,06 t/h = - 30,09 t/h

$TS_{B\#2}$ = 215,48 t/h – 261,97 t/h = - 46,49 t/h

TS_{TOTAL} = -30,09 t/h - 46,49 t/h = -76,58 t/h

Este cálculo pode também ser realizado utilizando os dados dos ensaios realizados na UTC-04:

$TS_{B\#4}$ = 299,97 t/h – 334,49 t/h = - 34,52 t/h

$TS_{B\#2}$ = 215,48 t/h – 264,79 t/h = - 49,31 t/h

TS_{TOTAL} = -34,52 t/h – 49,31 t/h = -83,83 t/h

Assim, percebe-se que o principal motivo de saída de material do sistema é o esvaziamento dos pulmões de britas 2 e 4.

Capítulo VI
CONCLUSÃO

Através das análises realizadas no capítulo anterior, pode-se identificar duas grandes deficiências na planta de rebritagem que possivelmente encontram-se interligadas por uma relação de causa e efeito: o esvaziamento dos pulmões de britas 2 e 4; e a sub-utilização dos britadores secundário e quaternário.

O esvaziamento dos pulmões de britas 2 e 4 é um fato que pode ser observado esporadicamente durante o funcionamento da planta. Acreditava-se que este fato fosse causado essencialmente por fatores aleatórios tais como características do fogo detonado ou ocorrência de paradas não programadas para manutenção nos britadores. Através deste estudo, pode-se perceber que esta é uma tendência natural do sistema. Ou seja, mesmo que a planta esteja funcionando em tempo integral com os três britadores, existe a tendência de esvaziamento destes pulmões.

A sub-utilização dos britadores certamente contribui para este esvaziamento dos pulmões. Como se pode ver na tabela de faixa de produção total, o britador secundário (S3000) é o maior produtor de brita 4 e possui uma considerável taxa de produção de brita 2. No entanto, este britador se encontra sub-utilizado em aproximadamente 40%. Além disso, a sub-utilização do britador quaternário também diminui a produtividade final da planta.

Tendo em vista os problemas levantados, algumas propostas podem ser sugeridas. É indispensável que a eficiência dos britadores secundário e quaternário seja melhorada. Para tanto, sugere-se utilizar as informações levantadas neste artigo para estudar a melhor forma de melhorar a utilização destes britadores. Por exemplo, a utilização do S3000 pode ser melhorada diminuindo a tela do primeiro deck da UCP-01. Isto aumentaria o volume de material que alimenta este britador. No entanto, existe também a opção de manter a taxa de alimentação atual e diminuir sua APF, para que este retenha o material por mais tempo, diminuindo a faixa granulométrica de seu produto. Logo, percebe-se que inúmeras abordagens podem ser feitas para tentar solucionar este problema e muitas vezes a otimização local de um britador pode gerar a sub-utilização global da planta. Assim, este é um assunto que pode ser alvo de um futuro estudo que utilize os dados levantados por este artigo para otimizar o funcionamento desta planta.

Após melhorar a eficiência dos britadores, caso ainda exista a tendência de esvaziamento dos pulmões, sugere-se também que sejam programadas manutenções preventivas, nos períodos em que os pulmões estejam vazios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BERGMAN, Peter, 2005, **Optimisation of Fragmentation and Comminution at Boliden Mineral, Aitik Operation**, Tese de D.Sc., Luleå University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Rock Engineering.

Bohloli, B. 2001, **Mechanics of Rock Fragmentation; Static and Dynamic Laboratory Testing Applied to Aggregate Production**. Ph.D thesis, Publ A 95, Department of Geology, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

BORDALO, Sérgio N, 2004, **EM-461 Mecânica de Fluidos I**, Departamento de Engenharia de Petróleo. Disponível em: http://www.dep.fem.unicamp.br/~bordalo/em461/. Acesso em: 12 de novembro de 2006.

BROCCI, Eduardo, 2001, **Introdução À Engenharia Metalúrgica – IEM**, DCMM - Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia. Disponível em: http://www.dcmm.puc-rio.br/download/Apostila%20-%20IEM%2001.doc. Acesso em: 12 de novembro de 2006.

CARRISSO, R. C., CORREIA, J. G. C., Classificação. In: LUZ, A. B. et alii (ed.),**Tratamento de minérios** (3ª ed). Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.

CHAVES, A. P., PERES, A. E. C. **Teoria e prática do tratamento de minérios - britagem, peneiramento e moagem**. 1. ed. São Paulo: Signus, 1999. v. 3. 238p.

Conservação da massa. Disponível em: http://pt.wikipedia.org. Acesso em: 16 de julho de 2006.

FAÇO, 1994, **Manual de britagem Faço**. 5 ed.

Glossário Pratec. Disponível em: http://www.pratec.com.br. Acesso em: 16 de novembro de 2006.

Jaeger, J.C. and Cook, N.G.W. 1979, **Fundamentals of Rock Mechanics**, 3rd edition, Chapman and Hall, London.

REMco, 2003, **REMco Crushers Manual**.

ANEXO:

FAÇO

PENEIRAS E GRELHAS

SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO

TABELA COMPARATIVA DE TELAS NORMALIZADAS **tab. 5.05**

Aberturas em mm	ASTM/ASA/USS	TYLER/MESH	ABNT-EB-22-R
101,6	4"	-	-
88,9	3 1/2"	-	-
76,2	3"	-	76
63,5	2 1/2"	-	
50,8	2"	-	50
44,4	1 3/4"	-	-
38,1	1 1/2"	-	38
31,7	1 1/4"	-	-
25,4	1"	-	25
19,1	3/4"	-	19
15,9	5/8"	-	-
12,7	1/2"	-	
9,52	3/8"	-	9,5
7,93	5/16"	-	-
6,35	1/4"	-	-
5,66	3,5	3,5	-
4,76	4	4	4,8
4,00	5	5	-
3,36	6	6	-
2,83	7	7	-
2,38	8	8	2,4
2,00	10	9	2
1,68	12	10	
1,41	14	12	-
1,19	16	14	1,2
1,00	18	16	-
0,84	20	20	-
0,71	25	24	-
0,59	30	28	0,6
0,50	35	32	-
0,42	40	35	0,42
0,35	45	42	-
0,297	50	48	0,30
0,250	60	60	-
0,210	70	65	-
0,177	80	80	-
0,149	100	100	0,15
0,125	120	115	-
0,105	140	150	-
0,088	170	170	-
0,074	200	200	0,075
0,062	230	250	-
0,053	270	270	-
0,044	325	325	-
0,037	400	400	-