



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS E MEIO AMBIENTE

**METODOLOGIA DE PREPARAÇÃO DE SEÇÃO POLIDA PARA O MINÉRIO DE
COBRE DA MINA DO SOSSEGO**

INALDO DE SOUSA SAMPAIO FILHO

MARABÁ – PA
2009

INALDO DE SOUSA SAMPAIO FILHO

**METODOLOGIA DE PREPARAÇÃO DE SEÇÃO POLIDA PARA O MINÉRIO DE
COBRE DA MINA DO SOSSEGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente junto ao Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará.

Orientador: M.Sc. Clesianu Rodrigues de Lima

Co-orientador: Geovan Olavo Damásio de Oliveira

MARABÁ – PA
2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca II do CAMAR/UFPA, Marabá, PA

Sampaio Filho, Inaldo de Sousa

Metodologia de preparação de seção polida para o minério de cobre da Mina do Sossego / Inaldo de Sousa Sampaio Filho ; orientador, Clesianu Rodrigues de Lima. — 2009.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Marabá, 2009.

1. Cobre - Minas e mineração - Canaã dos Carajás (PA). 2. Cobre - Metalurgia. 3. Flotação. I. Lima, Clesianu Rodrigues de, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 669.3098115

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

**METODOLOGIA DE PREPARAÇÃO DE SEÇÃO POLIDA PARA O MINÉRIO DE
COBRE DA MINA DO SOSSEGO**

Elaborado por

Inaldo de Sousa Sampaio Filho

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente junto ao Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.: M.Sc. Clesianu Rodrigues de Lima
Universidade Federal do Pará
(Presidente/Orientador)

Prof.: M. Sc. Marinésio Lima
Universidade Federal do Pará
(Membro)

Prof.: Dr. Lucinewton Silva de Moura
Universidade Federal do Pará
(Membro)

MARABÁ – PA
2009

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me ter concedido a oportunidade, sabedoria, saúde, o conhecimento e os recursos necessários para realizar este trabalho e concluir mais esta importante etapa da minha vida.

Ao meu orientador e co-orientador, pelo suporte e o profissionalismo dado durante toda a elaboração do presente trabalho.

À minha família, amigos, namorada que sempre me deram forças, acreditando em meu potencial e me incentivando a sempre prosseguir em busca da realização dos meus objetivos.

Enfim, a todos aqueles, que de um jeito ou de outro, estiveram em minha vida contribuindo para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. ASPECTOS GERAIS DA PREPARAÇÃO DE SEÇÃO POLIDA.....	12
2.1.1 Embutimento.....	13
2.1.2. Lixamento.....	14
2.1.3. Polimento.....	15
2.1.4. Repetição e Reprodução de Resultados.....	16
2.1.5. Estrutura Verdadeira.....	17
2.1.6. Resultado Aceitável.....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1. MATERIAIS UTILIZADOS NA PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	19
3.2. MATERIAIS UTILIZADOS NO PROCESSO DE LIXAMENTO E POLIMENTO.....	21
3.3. PREPARAÇÃO DA SEÇÃO POLIDA DO MINÉRIO DE COBRE DO SOSSEGO.....	21
3.3.1. Parâmetros Influenciadores.....	24
3.3.2. Planilha Teste.....	26
3.3.3. Avaliação Amostras Testes.....	28
3.4. LIXAMENTO E POLIMENTO DA SEÇÃO POLIDA.....	28
3.4.1. Lixamento.....	28
3.4.2. Polimento.....	29
3.4.3. Testes Lixamento-Polimento Minério de Cobre.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1. PREPARAÇÃO DO CORPO DE PROVA.....	32
4.2. PROCESSO DE LIXAMENTO-POLIMENTO DA SEÇÃO POLIDA DO MINÉRIO DE COBRE.....	38
4.2.1. Teste 1.....	38
4.2.2. Teste 2.....	40
4.2.3. Teste 3.....	42

5. CONCLUSÕES	44
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXO A Mina de Cobre do Sossego.....	48

RESUMO

O Presente Trabalho de Conclusão de Curso aborda um estudo desenvolvido no período de julho a agosto de 2008, na área da Usina de Beneficiamento da Mina de Cobre do Sossego localizada no Município de Canaã dos Carajás - PA. Este trabalho baseia-se na obtenção de uma Metodologia para a Preparação de Seções Polidas do minério de cobre amostrado no circuito de Flotação da Usina da Mina do Sossego, com o intuito de se analisar as interações dos minerais constituintes da polpa do minério de cobre através de imagens obtidas por meio das seções polidas. Para a obtenção da metodologia foram confeccionadas amostras, que posteriormente passaram por testes de lixamento-polimento. Os resultados tiveram como base a escolha da metodologia que obteve a melhor qualidade de imagem, juntamente com o menor tempo e custo de preparação.

Palavras-chave: Metodologia, Preparação de Amostras, Seções Polidas, Lixamento, Polimento, Qualidade da Imagem.

ABSTRACT

This paper work approaches a study developed from July to August 2008, at the Copper Mill of Sossego located at Canaã dos Carajás-PA. This work is based on obtaining a methodology for the preparation of polished sections of the copper ore samples taken from the flotation circuit at the Copper Mill of Sossego, with the intention of analyzing the interactions of the copper pulp minerals through the images obtained from the polished sections. For the obtaining of the methodology samples have been prepared, which later have been through rub-polish tests. The results had as a basis to choose the methodology that have had the best image quality, as well as the lower preparation time.

Key-Words: Methodology, Sample Preparations, Polished Sections, Rubbing, Polishing, Image Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fôrma e cano PVC.....	20
Figura 2 - Acrílico	20
Figura 3 - Politriz	21
Figura 4 - Cano PVC e Acrílico untados com Cola Branca	22
Figura 5 - Penúltima Fase do Preparo	23
Figura 6 - Fase Final do Preparo.....	23
Figura 7 - Ultrassom.....	25
Figura 8 - Estufa.....	25
Figura 9 - Amostra Bruta Teste 1	39
Figura 10 - Amostra Lixada Teste 1	39
Figura 11 - Amostra Bruta Teste 2	41
Figura 12 - Amostra Pós Lixamento-Polimento Teste 2	41
Figura 13 - Amostra Bruta Teste 3	42
Figura 14 - Amostra Pós Lixamento-Polimento Teste 3	42

1. INTRODUÇÃO

Os minerais possuem propriedades químicas, físicas e ópticas que possibilitam a sua caracterização e identificação. As propriedades físicas dos minerais são de uso fácil e imediatos e observáveis em amostra de mão, e são as mais utilizadas para uma primeira identificação. Por sua vez o estudo e o conhecimento das propriedades ópticas dos minerais também são de grande importância na caracterização e estudo dos minerais (**Instituto Geológico e Mineiro, 2001**).

Entretanto o estudo das propriedades ópticas dos minerais é complexo. Sendo assim, para que os minerais possam vir a serem estudados e caracterizados através dessas propriedades, estes devem ser devidamente preparados de acordo com suas características (NARDY, 2007).

Por muito tempo a preparação de amostras foi um parente “pobre” da Investigação e Desenvolvimento. No entanto logo a comunidade científica percebeu a importância da representatividade de uma dada amostragem para a obtenção de conclusões válidas e sustentadas na caracterização de minérios (PINTO, 2005).

Todavia para que essas conclusões sejam realmente aceitas, estas dependem da representatividade da amostragem e da qualidade da preparação das amostras a serem utilizadas na caracterização mineral (PINTO, 2005).

Dentre os objetivos da caracterização mineralógica de um minério podemos citar o estudo das texturas da rocha, que possibilita a definição do tamanho de partícula necessário para liberação do(s) mineral(is) de interesse dos minerais de ganga, e ainda define diversas propriedades físicas e químicas destes minerais (**Instituto Geológico e Mineiro, 2001**).

Uma das formas de identificação e interpretação de texturas dos minérios é a preparação de superfícies polidas livres de arrancamentos, riscos e relevo (PINTO, 2005).

As superfícies polidas adequadas a estes propósitos podem ser preparadas a partir de vários tipos de materiais, utilizando uma ampla variedade de procedimentos mecânicos ou manuais (PINTO, 2005).

Um dos modelos de preparo dessas superfícies se dá através da seção polida, que é uma forma de preparação de amostras de minérios opacos para avaliação mineralógica por meio de microscópio de luz refletida. Para isto o minério a ser analisado passa por um processo de embutimento a frio, em uma mistura de resina e endurecedor, com o posterior lixamento e polimento da mesma.

Sendo assim o presente trabalho tem como objetivo desenvolver Metodologia para a Preparação de Seção Polida do minério de cobre da mina do Sossego. Visando à posterior análise da mesma por meio de microscópio, já que a composição mineralógica das partículas processadas no beneficiamento varia de partícula e partícula, o que é de muita importância e deve ser levado em consideração na operação de beneficiamento do minério de cobre.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ASPECTOS GERAIS DA PREPARAÇÃO DE SEÇÃO POLIDA

A preparação de uma amostra mineralógica por meio de seções polidas tem por objetivo revelar a verdadeira estrutura do minério em estudo, permitindo identificar os seus constituintes, possibilitando o estudo de suas inter-relações (PINTO, 2005).

A caracterização dos minerais é realizada com base nas modificações sofridas pela luz ao ser refletida. Sendo assim a estrutura interna de cada mineral altera a forma da luz previamente conhecida permitindo a sua identificação e caracterização (MANNHEIMER, 2002).

A importância deste processo na mineralogia se dá ao fato dos minerais em análise serem opacos, o que obriga seu estudo ser realizado por meio de processos de reflexão de luz linearmente polarizada (PINTO, 2005).

Esta técnica é geralmente usada na área de processo, visto que se investiga o material na forma de pó com granulometria muito fina para análise do seu grau de liberação e caracterização mineralógica (ROCHA, 200-).

Contudo, para que essa caracterização seja possível a seção polida do minério em análise deve ser devidamente preparada. Já que uma amostra mal preparada acarretará em erros de interpretação ao se analisar as imagens obtidas através da preparação, tornando os resultados não confiáveis (PINTO, 2005).

Portanto, é sobremaneira importante que seja escolhida a técnica de preparação mais adequada quer para o embutimento, lixamento, polimento. Como estes dois últimos são os mais críticos devido às diversas variáveis envolvidas, onde se tem o tempo, a carga, além do sentido de rotação da politriz, o processo automático se torna o mais indicado, pois permite que os mesmos sejam devidamente pré-ajustados, considerando-se paralelamente a dureza da amostra, os

insumos como: lixas, agentes abrasivos, necessários para obtenção de uma superfície devidamente, plana e polida, isenta de deformações plásticas e mecânicas (**Revista Analytica, 2007**).

2.1.1 Embutimento

Embutimento é o processo de montagem da amostra, realizado quando esta tiver dimensões reduzidas que não permitam o seu processamento com segurança e comodidade nas etapas de lixamento e polimento (MANNHEIMER, 2002).

As amostras podem ser embutidas em materiais termoplásticos ou montadas em um suporte, o conjunto formado pela amostra e suporte deve apresentar uma rigidez suficiente para resistir aos esforços durante os processos de lixamento e polimento (ROHDE, 2008).

O embutimento pode ser a quente ou a frio, dependendo das circunstâncias e da amostra a ser embutida. Quando a amostra não tolerar a aplicação de calor, seja por decomposição ou modificação da microestrutura utiliza-se o embutimento a frio (MANNHEIMER, 2002).

No embutimento a quente a amostra é embutida em materiais termoplásticos por meios de prensa de embutimento com uma resina, usa-se uma combinação de pressão e temperatura para efetuar a polimerização da resina. Os materiais utilizados neste caso são o baquelite e as resinas acrílicas (ROHDE, 2008).

Já no embutimento a frio a amostra é colocada em molde apropriado que é preenchido com resinas sintéticas de polimerização a frio, como poliésteres ou epóxi. A resina é adicionada de um catalisador na ocasião do uso (MANNHEIMER, 2002).

2.1.2. Lixamento

Lixamento é a primeira etapa de preparação da superfície da amostra, consiste em lixar a amostra sucessivamente com lixas ou abrasivos de granulometrias cada vez menores. As lixas são classificadas por números relacionados à sua granulometria de abrasivo, geralmente são utilizadas na seqüência de 320, 400, 600 e 1000 mesh (ROHDE, 2008).

O número da lixa está associado com a peneira utilizada para peneirar o abrasivo e representa o número de malhas da peneira por polegada quadrada. Assim quanto maior o número da lixa menor é o tamanho do grão do abrasivo. Quanto menor o grão do abrasivo, menos profunda será a camada deformada deixada pela lixa (ROHDE, 2008).

A operação tem por objetivo eliminar riscos e marcas mais profundas da superfície até que desapareçam os traços da lixa anterior dando um acabamento a esta superfície, preparando-a para o polimento (ROCHA, 2007).

De acordo com a dureza da amostra, da pressão do trabalho e da velocidade de lixamento surgem deformações plásticas de toda a superfície por amassamento e um aumento de temperatura. Estes fatores devem ser evitados ao máximo, pois podem dar origem a uma imagem falseada (BATISTA et al, 200-).

O processo de lixamento pode ser a seco a amostra é lixada diretamente sobre a superfície da lixa, a úmido evitando a formação de poeira e aquecimento demasiado da amostra, manual a amostra é trabalhada pelo preparador diretamente na lixadeira sendo a direção do lixamento dada pelo o preparador e automático quando a amostra é presas a suportes e o equipamento comanda o sentido de lixamento (ROCHA, 2007).

2.1.3. Polimento

Assim como o lixamento, o polimento deve remover os danos oriundos das etapas anteriores, usando para isto a aplicação de partículas abrasivas de granulometrias cada vez mais finas (PINTO, 2005).

O polimento é feito com abrasivos depositados sobre panos especiais cuja textura e composição depende do abrasivo utilizado. No processo de polimento podem ser utilizados como abrasivos; pastas, sprays, e soluções de óxidos de alumínio, cromo, e de magnésio, assim como o diamante, o qual consegue a mais rápida remoção de material e os melhores resultados (BATISTA et al, 200-).

Existem muitas variáveis no processo de polimento, as mais tradicionais e reconhecidas são os panos que são aderidos a discos para que seja efetuado o processo de polimento e podem ser: de veludo, feltro, nylon e seda e os abrasivos. No entanto a velocidade da amostra em relação ao pano pode ser considerada como uma variável tendo uma importante função no resultado final do processo de polimento apesar de ser frequentemente negligenciada (PINTO, 2005).

Tal como o lixamento, o processo de polimento pode ser realizado de diversos modos, tais como: polimento mecânico, eletrolítico e mecânico eletrolítico, o mais comum é o polimento mecânico, em que a amostra é fixada no equipamento por meio de dispositivos especiais e o seu desgaste é obtido através da utilização de uma série de abrasivos impregnados nos discos de polimento (ROHDE, 2008).

Os equipamentos mecânicos têm sido projetados para otimizar a dinâmica do processo de polimento. Através desta otimização é possível produzir um polimento muito uniforme e não direcionado em qualquer material (BATISTA et al, 200-).

Uma amostra lixada e polida está pronta para o exame ao microscópico desde que os seus elementos estruturais possam ser distinguidos uns dos outros, através da diferenciação de cor, relevo e falhas estruturais (ROCHA, 2007).

2.1.4. Repetição e Reprodução de Resultados

Segundo Pinto (2005), repetição trata-se da aproximação entre os resultados de medições sucessivas da mesma. A qual deve ser mensurada e efetuada nas mesmas condições de medição (condições de repetibilidade). Definem-se condições de repetibilidade como sendo:

- Mesmo procedimento;
- Mesmo observador;
- Mesmo Instrumento de Medição, usando as mesmas condições;
- Repetição num curto intervalo de tempo.

Já para Pinto (2005), reprodução é a aproximação entre os resultados das medições da mesma. Mensurando e efetuando com alteração as condições de medição. Uma informação válida de reprodutibilidade exige a especificação das condições alteradas. As condições alteradas podem ser:

- Princípio de Medição;
- Método de Medição;
- Observador;
- Instrumento de Medição;
- Padrão de referência;
- Local;
- Condições de utilização;
- Tempo.

Conforme Pinto (2005), com o método já desenvolvido e ajustado, devem ser obtidos exatamente os mesmos resultados com os mesmos materiais, toda vez que este for utilizado. Para isso, é necessário dispor de alguns produtos fundidos de qualidade elevada e uniforme que servirão como padrões para avaliação do processo. Outro fator relevante é o relacionamento com o controle dos parâmetros da preparação. Os parâmetros de preparação podem ser:

- Velocidade e sentido de rotação do prato;
- Força aplicada sobre as amostras;
- A quantidade, tipo de abrasivo e lubrificante utilizados;
- Tempo de preparação.

Estes fatores têm grande influência sobre o resultado final. Muitos deles só podem ser ajustados e controlados mediante a utilização de aparelhos automáticos (PINTO, 2005).

2.1.5. Estrutura Verdadeira

Segundo Pinto (2005), ao ser analisada uma superfície de seção polida, o que deve ser de fato observado e analisado é uma imagem exata da estrutura do material em estudo. Neste caso os principais requisitos do processo de preparação de amostras devem prevenir a existência de:

- Deformações;
- Introdução de elementos estranhos (contaminações);
- Riscos;
- Arrancamentos;
- Relevos e Bordas arredondadas;
- Danos térmicos.

Não obstante estes pressupostos teóricos, a utilização de métodos mecânicos de preparação, torna quase impossível a obtenção das condições anteriormente mencionadas. E inevitável a ocorrência de alguns danos. As metodologias e as práticas desenvolvidas devem, portanto ser desenvolvidas de tal maneira que reduzam estes danos e minimizem a sua influência nos resultados finais. Esta situação quase perfeita, na qual só é produzido danos superficiais mínimos, é comumente conhecida com o nome de estrutura verdadeira (PINTO, 2005).

A preparação de uma amostra sem defeito é um tarefa árdua, mas nem sempre requerida. Em trabalhos de rotina resultados mais simples são aceitáveis, desde que a estrutura não seja alterada e dificulte a interpretação (MANNHEIMER, 2002).

2.1.6. Resultado Aceitável

De acordo com Pinto (2005), todo método de preparação que atinja este resultado, requer um custo o qual deve ser mensurado, o custo de preparação de uma seção polida, leva em consideração parâmetros como:

- Quantidades de consumíveis utilizados;
- Tempo de preparação;
- Custo do local de instalação;
- Energia consumida;
- Desgaste dos equipamentos.

A utilização de consumíveis mais baratos nem sempre permite obter o menor custo por amostra. A vida útil de cada produto e também a qualidade das superfícies é que devem ser levados em consideração (PINTO, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consiste na preparação de dezesseis amostras do minério de cobre do circuito de flotação, devidamente amostrado adotando-se no processo de preparação quatro variáveis, tendo como objetivos a verificação de qual poderia influenciar no processo e escolha da amostra melhor confeccionada de acordo com os parâmetros adotados.

Por conseguinte a amostra escolhida deve passar por um processo de lixamento mecânico utilizando abrasivos de carbeto de silício de granulometrias decrescente, a fim de eliminar riscos da superfície da amostra e preparar a amostra para o processo de polimento etapa subsequente que visa assim como o lixamento eliminar riscos da superfície da amostra oriundos das etapas anteriores para que assim seja possível obter imagens claras e perfeitas ao microscópio.

Por fim, a definição da metodologia de preparação da seção polida que obteve a melhor qualidade de imagem, juntamente com o menor tempo e custo de preparação.

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS NA PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

- **Fôrma e Cano PVC:** Utilizados no embutimento da amostra, o cano PVC foi utilizado devido a quantidade reduzida de fôrmas para a realização dos testes, Figura 1.



Figura 1 - Fôrma e cano PVC

- **Acrílico:** Utilizado como base para o cano PVC, Figura 2.



Figura 2 - Acrílico

- **Resina Epoxicure e Endurecedor Epoxicure:** Resina utilizada para enclausurar a amostra, endurecedor utilizado como catalisador, para acelerar o processo de endurecimento da amostra.
- **Álcool Iso-propílico e Cola Branca:** Álcool utilizado como solvente permite a melhor sedimentação do minério na seção, cola branca utilizada como desmoldante, para facilitar a retirada da seção das fôrmas de preparo.

3.2. MATERIAIS UTILIZADOS NO PROCESSO DE LIXAMENTO E POLIMENTO

- **Politriz:** Equipamento utilizado nas etapas de lixamento e polimento das seções. Figura 3, este equipamento possui três pratos diferentes, que servem de suporte para as seções nas etapas de lixamento, polimento inicial e polimento final. Os pratos devem ser utilizados de acordo com o abrasivo usado nos processos de lixamento e polimento.



Figura 3 - Politriz

- **Carbeto de Silício:** Utilizado como abrasivo na etapa de lixamento, utilizado nas granulometrias de 320, 600 e 1000 mesh. A utilização de cada granulometria se dar à medida que se avança no processo de lixamento.
- **Solução de diamante 3 μ m:** Abrasivo utilizado na etapa de polimento inicial.
- **Solução de Alumina 0,3 μ m:** Abrasivo utilizado na etapa final do polimento.

3.3. PREPARAÇÃO DA SEÇÃO POLIDA DO MINÉRIO DE COBRE DO SOSSEGO

A preparação das amostras do minério de cobre se constitui basicamente de três etapas conforme descrição a seguir:

1ª Etapa:

A primeira etapa na preparação das amostras consistiu na pesagem da resina em um copo plástico descartável, em seguida realizava-se a pesagem do solvente, posteriormente estes então eram diluídos, logo após utilizando outros dois recipientes eram feitas à pesagem do minério e do endurecedor, este último era diluído na mistura Resina/Solvente, tendo cuidado para não formar bolhas, já que estas dificultam na posterior análise da amostra.

2ª Etapa:

Parti-se então para a segunda etapa, que consistiu no enclausuramento do minério na fôrma de preparo, esta primeiramente era untada com o desmoldante, para facilitar a retirada da amostra da mesma, no caso do cano PVC, a cola branca era usada como desmoldante, esta era espalhada tanto na parte interior dos canos como também no acrílico, conforme pode ser visualizado na Figura 4, em seguida o cano PVC e o acrílico eram levados à estufa durante dois minutos, para que houvesse a secagem da cola, após seca esperava seu resfriamento, para dar seqüenciamento ao preparo da seção.



Figura 4 - Cano PVC e Acrílico untados com Cola Branca

Com as fôrmas já resfriadas era adicionada à primeira parte da resina. Em seguida era adicionado o minério, sendo este misturado com cuidado para evitar

também a formação de bolhas, por último era adicionado o restante da resina, a Figura 5 ilustra a segunda etapa da preparação já concluída.

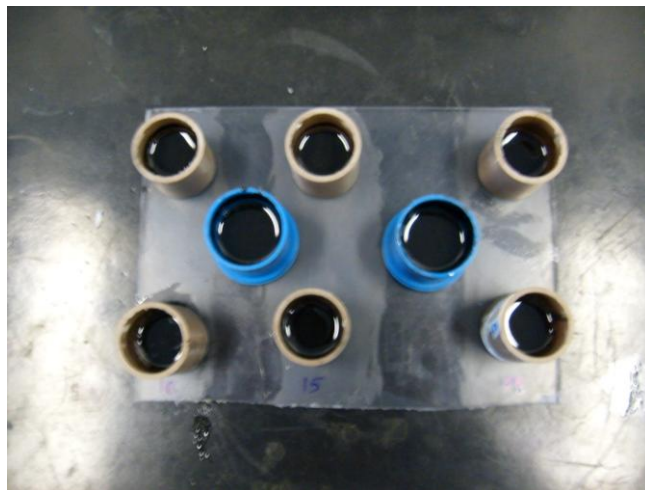


Figura 5 - Penúltima Fase do Preparo

3ª Etapa:

A última etapa de preparação consistia na secagem da amostra em temperatura ambiente no mínimo por seis horas, amostras em suas respectivas fôrmas após secagem, Figura 6.



Figura 6 - Fase Final do Preparo

As seções eram então retiradas das fôrmas, para que posteriormente pudessem passar pelas etapas de lixamento e polimento.

3.3.1. Parâmetros Influenciadores

Para a preparação das dezesseis amostras testes foram adotados quatro tipos de variáveis que poderiam influenciar na preparação das seções polidas, estas se encontram abaixo:

1ª Variável:

- Quantidade de Endurecedor.

2ª Variável:

- Quantidade de Solvente.

3ª Variável:

- Quantidade de Amostra do Minério de Cobre.

4ª Variável:

- Modo de Secagem.

A quantidade em grama das variáveis utilizadas na confecção das seções polidas, bem como o modo de secagem, encontra-se na Tabela 1. Utilizaram-se duas simbologias para diferenciar as quantidades e o modo de secagem que seriam utilizados na preparação das amostras, estes foram os sinais de – (menos), utilizados quando fosse adotada a menor quantidade em gramas das variáveis e o sinal de + (mais), utilizado quando fosse adotada a maior quantidade em gramas das variáveis. O uso das simbologias também se fez necessário para elaboração de uma planilha teste, para acompanhar de forma precisa a seqüência de preparação, evitando assim que amostras viessem a ser preparadas com as mesmas constituições.

Tabela 1 – Valores das Variáveis.

Variável	-	+
Endurecedor	0,8 g	1,6 g
Solvente	0,8 g	1 g
Quantidade de Amostra	4 g	7g
Modo de Secagem	Ultrason	Estufa

Para o modo de secagem da variável de simbologia (-) foi utilizado o equipamento ultrason, Figura 7.



Figura 7 - Ultrason

Já para o modo de secagem da variável de simbologia (+) foi utilizado o equipamento estufa, Figura 8.



Figura 8 - Estufa

Estes equipamentos foram utilizados com o intuito de se obter seções com menor quantidade de bolhas formadas durante o preparo das seções. Já que as bolhas interferem na análise das imagens

A quantidade de resina utilizada na preparação das amostras não foi considerada como variável de preparo, sua quantidade foi sempre a mesma 8,3 gramas.

3.3.2. Planilha Teste

Por ter se adotado no processo de preparação quatro variáveis: quantidade de endurecedor, quantidade de solvente, quantidade de amostra de minério de cobre e modo de secagem, foi elaborada uma planilha teste de malha experimental 2^4 . Totalizando assim, dezesseis tipos de amostras a serem confeccionadas, Tabela 2.

O propósito de confeccionar diversas amostras de constituições diferentes era avaliar quais variáveis influenciavam no processo de confecção da seção polida, para que se pudesse escolher uma amostra para ser submetida às etapas de lixamento e polimento,

Tabela 2 – Teste Seção Polida

Teste Seção Polida					
Teste	Endurecedor	Solvente	Quantidade Amostra.	Modo de Secagem	Realizado
1	+	+	+	+	Sim
2	-	+	+	+	Sim
3	-	-	+	+	Sim
4	+	-	+	+	Sim
5	+	+	-	+	Sim
6	-	+	-	+	Sim
7	+	-	-	+	Sim
8	-	-	-	+	Sim
9	+	+	+	-	Sim
10	-	+	+	-	Sim
11	-	-	+	-	Sim
12	+	-	+	-	Sim
13	+	+	-	-	Sim
14	-	+	-	-	Sim
15	+	-	-	-	Sim
16	-	-	-	-	Sim

Os testes apresentados neste trabalho foram realizados durante o período de julho a agosto de 2008.

3.3.3. Avaliação Amostras Testes

Cada amostra das dezesseis preparadas foi analisada com base em quatro características que influenciam diretamente na análise futura da amostra por meio do microscópio, essas são:

- Endurecimento;
- Quantidade de bolhas;
- Sedimentação;
- Superfície.

3.4. LIXAMENTO E POLIMENTO DA SEÇÃO POLIDA

3.4.1. Lixamento

Com a amostra escolhida partiu-se para a etapa de lixamento. O lixamento pode ser iniciado com a lixa d'água A-100, esta é utilizada quando a superfície da amostra após ser retirada da fôrma apresentar alguma deformação, se não for o caso, a amostra é colocada diretamente na politriz e posicionada de maneira que as hastes da politriz façam pressão suficiente sobre esta, possibilitando assim lixamento satisfatório, já com a amostra posicionada corretamente é adicionado o abrasivo Carbetto de Silício de granulometria 320 mesh, o equipamento é ligado na rotação desejada e habilita-se a entrada de água de maneira moderada, pois a água em excesso pode retirar o carbetto de silício diminuindo a eficiência do lixamento, o equipamento permanece ligado pelo tempo desejado ao fim desse lixamento verifica-se as ranhuras da amostra.

Dá-se então continuidade ao lixamento com Carbetto de Silício de granulometrias de 600 e 1000, repetindo os procedimentos do lixamento com o abrasivo de granulometria de 320 mesh.

3.4.2. Polimento

Ao fim da etapa de lixamento, passa-se para o polimento, primeiramente deve-se trocar o prato de ferro fundido da politriz, pelo prato com o tecido para polimento inicial, para que possa haver impregnação do abrasivo no tecido, pois para cada tipo de abrasivo deve-se utilizar o prato adequado, em seguida posiciona-se a amostra e adiciona-se uma solução de diamante $3\mu\text{m}$, o equipamento é ligado na rotação desejada e habilita-se a entrada de água de maneira moderada, para que esta fique somente gotejando, após o tempo desejado desliga-se o equipamento, então a amostra é retirada da politriz para verificação de possíveis riscos na superfície da mesma.

Por fim passa-se para o polimento final com solução de alumina $0,3\mu\text{m}$, também nesta etapa deve-se trocar o prato da politriz, é o utilizado o prato com tecido para polimento final, repetem-se então os procedimentos do polimento inicial.

Após o polimento final, a amostra deve ser posicionada no microscópio para a análise.

3.4.3. Testes Lixamento-Polimento Minério de Cobre

Os testes de lixamento-polimento foram realizados utilizando como variáveis o tempo e a rotação do equipamento politriz, três testes foram efetuados. A quantidade de abrasivos e a pressão sobre as amostras, apesar de serem parâmetros no processo de lixamento-polimento não foram variadas.

Antes de cada teste foi capturada uma imagem da amostra, esta foi denominada de amostra bruta, isto se fez necessário para se avaliar a evolução do processo de lixamento-polimento, comparando a primeira imagem com uma imagem capturada após cada teste de lixamento-polimento.

Teste 1:

Para o primeiro teste na etapa de lixamento utilizou-se o abrasivo de Carbetto de Silício com as granulometrias 320, 600 e 1000 mesh, sendo a duração de lixamento utilizando cada abrasivo de cinco minutos, a rotação do equipamento utilizada para o teste foi sempre de 250 RPM.

Ao fim do lixamento, inicia-se a etapa de polimento, no entanto neste primeiro teste não houve polimento, pois não se obteve lixamento satisfatório na etapa de lixamento.

Como não foi possível realizar o polimento a imagem capturada para que se possam discutir os resultados, foi a imagem obtida ao fim do processo de lixamento.

Teste 2:

Para o segundo teste na etapa de lixamento utilizou-se o abrasivo Carbetto de silício com granulometria de 320 e 600 mesh com duração do processo de lixamento de 15 minutos, enquanto que o processo de lixamento utilizando o abrasivo de carbetto de silício de granulometria de 1000 mesh por um intervalo de tempo de 10 minutos, a rotação do equipamento utilizada no processo foi de 150 RPM.

Ao fim do lixamento, inicia-se a etapa de polimento o abrasivo utilizado para o polimento inicial foi a Suspensão de Diamante de granulometria de $3\mu\text{m}$ com o tempo de polimento de cinco minutos e rotação do equipamento de 150 RPM.

Ao término do polimento inicial a amostra seguiu para o polimento final utilizando o abrasivo de Alumina com granulometria de $0,3\mu\text{m}$ com o tempo de polimento também de cinco minutos e rotação do equipamento de 150 RPM. Com o processo já finalizado a seção foi levada ao microscópio para a captura da imagem.

Teste 3:

Para o terceiro e último teste na etapa de lixamento utilizou-se o abrasivo Carbetto de silício de granulometrias de 320 e 600 mesh com duração do processo de lixamento de 5 minutos, enquanto que o processo de lixamento utilizando o abrasivo de carbetto de silício de granulometria de 1000 mesh teve duração de 10 minutos, a rotação utilizada no processo foi de 150 RPM.

Ao fim do lixamento, inicia-se a etapa de polimento o abrasivo utilizado para o polimento inicial foi a Suspensão de Diamante de granulometria de $3\mu\text{m}$ com o tempo de polimento de dez minutos e rotação do equipamento de 150 RPM.

Ao término do polimento inicial a amostra seguiu para o polimento final utilizando o abrasivo de Alumina com granulometria de $0,3\mu\text{m}$ com o tempo de polimento também de dez minutos e rotação do equipamento de 150 RPM. Com o processo já finalizado a seção foi levada ao microscópio para a captura da imagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. PREPARAÇÃO DO CORPO DE PROVA

Amostra 01:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 01 apresentou um endurecimento satisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma grande quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma boa superfície.

Amostra 02:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 02 apresentou um endurecimento insatisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma grande quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma péssima superfície.

Amostra 03:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 03 apresentou um endurecimento insatisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma grande quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma péssima superfície.

Amostra 04:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 04 apresentou um endurecimento satisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma grande quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma boa superfície.

Amostra 05:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 05 apresentou um endurecimento satisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma grande quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma boa superfície.

Amostra 06:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 06 apresentou um endurecimento insatisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma grande quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma péssima superfície.

Amostra 07:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 07 apresentou um endurecimento satisfatório, na análise da segunda característica a

quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma pequena quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma ótima superfície.

Amostra 08:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 08 apresentou um endurecimento insatisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma grande quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma péssima sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma péssima superfície.

Amostra 09:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 09 apresentou um endurecimento satisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma pequena quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma ótima superfície.

Amostra 10:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 10 apresentou um endurecimento insatisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma pequena quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma péssima sedimentação do minério

embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma péssima superfície.

Amostra 11:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 11 apresentou um endurecimento insatisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma grande quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma péssima superfície.

Amostra 12:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 12 apresentou um endurecimento satisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma grande quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma ótima superfície.

Amostra 13:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 13 apresentou um endurecimento satisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma pequena quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma péssima superfície.

Amostra 14:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 14 apresentou um endurecimento insatisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma pequena quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma péssima superfície.

Amostra 15:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 15 apresentou um endurecimento satisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma grande quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma boa superfície.

Amostra 16:

Analisando a primeira característica o endurecimento, a amostra 16 apresentou um endurecimento insatisfatório, na análise da segunda característica a quantidade de bolhas presente na amostra esta apresentou uma pequena quantidade de bolhas por todo seu interior, já na análise da terceira característica a sedimentação a amostra apresentou uma boa sedimentação do minério embutido na amostra, na análise da quarta e última característica a superfície esta apresentou uma péssima superfície.

Após a avaliação, foi atribuída para todas as características das amostras uma nota no intervalo de zero a cinco, este intervalo foi escolhido aleatoriamente, com o objetivo de diferenciar a qualidade das amostras, verificando assim quais das variáveis influenciaram no processo de preparação.

Cada amostra recebeu uma nota final, com base na média das notas das características avaliadas, como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Notas Amostras

Amostra 01				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
5	1	4	3	3,25
Amostra 02				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
1	2	3	0	1,5
Amostra 03				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
1	2	3	0	1,5
Amostra 04				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
5	1	4	3	3,25
Amostra 05				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
5	0	4	3	3
Amostra 06				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
2	1	3	2	2
Amostra 07				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
5	3,5	3	4	3,875
Amostra 08				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
0	0	0	0	0
Amostra 09				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
5	3	4	4	4
Amostra 10				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
0	3	0	0	0,75
Amostra 11				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
0	2	4	2	2
Amostra 12				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
5	2	3	4	3,5
Amostra 13				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
5	3	3	2	3,25
Amostra 14				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
0,5	3	4	1	2,125
Amostra 15				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
5	2	3	3	3,25
Amostra 16				
Endurecimento	Qtde de Bolhas	Sedimentação	Superfície	Nota Final
1	3	4	2	2,5

Após a avaliação foi constatado que apenas a quantidade de endurecedor influenciava no resultado final da amostra, já que as amostras que receberam a nota cinco na característica de endurecimento foram as que apresentaram maiores notas finais. Por este motivo a amostra escolhida para passar pelas etapas de lixamento e polimento, apresentava a seguinte constituição:

- **Quantidade de Resina:** 8,3 g
- **Quantidade de endurecedor:** 1,6g
- **Quantidade de amostra:** 4 g
- **Quantidade de solvente:** 0,8 g

Como tanto a secagem na estufa quanto no ultrassom apresentaram resultados semelhantes foi adotado a secagem na estufa para amostra escolhida, outro motivo relevante para se adotar à secagem na estufa foi o fato do aparelho de ultrassom ter que ser programado a cada trinta minutos para funcionar, impossibilitando assim a escolha deste modo de secagem.

4.2. PROCESSO DE LIXAMENTO-POLIMENTO DA SEÇÃO POLIDA DO MINÉRIO DE COBRE

A análise dos resultados do processo de lixamento-polimento, levou em consideração a qualidade das superfícies obtidas ao fim do processo de lixamento-polimento e o tempo total gasto em cada teste.

4.2.1. Teste 1

O primeiro passo na análise dos resultados foi à comparação da imagem da amostra bruta antes do processo lixamento-polimento Figura 9 e da amostra final depois do processo de lixamento-polimento. No entanto no teste 1 a comparação não pôde ser feita desta maneira, já que não houve polimento, desta forma a

comparação foi feita com a imagem da etapa de lixamento Figura 10, com o intuito de discutir as possíveis causas que levaram a má qualidade do lixamento.

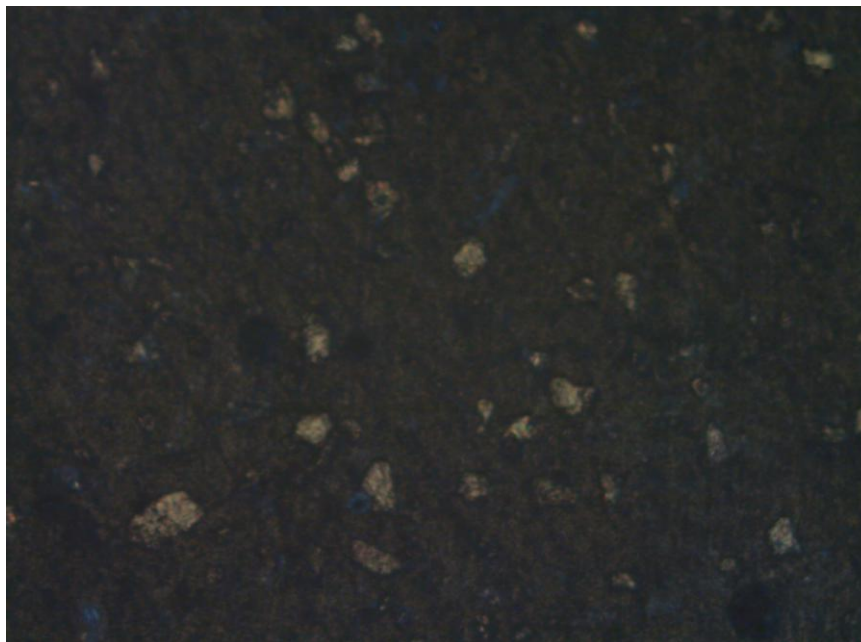


Figura 9 - Amostra Bruta Teste 1

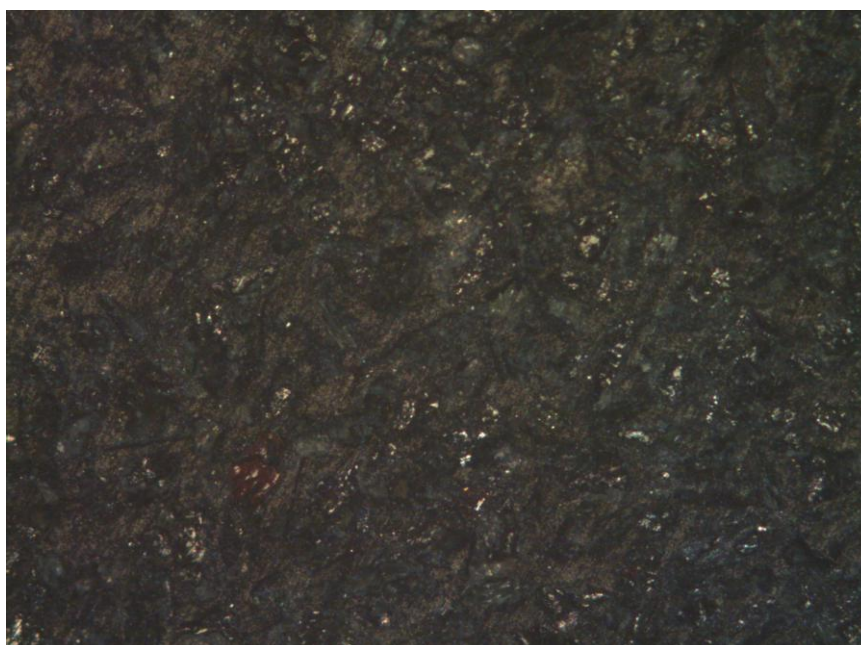


Figura 10 - Amostra Lixada Teste 1

Ao observar as imagens é possível notar que houve pouco progresso na etapa de lixamento, a amostra lixada apresenta relevo, sendo assim não foi possível obter um planicidade da amostra.

A provável causa do lixamento não obter resultados satisfatórios, deve-se a orientação de lixamento dada a amostra durante o processo de lixamento ocasionado pelo numero pequeno de amostras sendo lixadas ao mesmo tempo no equipamento politriz, desta maneira a orientação de lixamento era dada pelo operador, girando o prato da politriz na direção desejada.

Constatou-se assim que o ideal seria utilizar a politriz com no mínimo oito amostras, já que assim a orientação de lixamento seria feita pela própria politriz, a partir de então os demais testes, de lixamento-polimento foram realizados utilizando pelo menos oito amostras no prato da politriz.

O tempo total gasto no teste 1 foi de quinze minutos, entretanto esse tempo não pôde ser tomado como referência, por não ter havido a etapa de polimento.

4.2.2. Teste 2

Assim como o teste 1 o primeiro passo na análise dos resultados foi à comparação da imagem da amostra bruta antes do processo lixamento-polimento, Figura 11 e da amostra final depois do processo de lixamento-polimento, Figura 12.

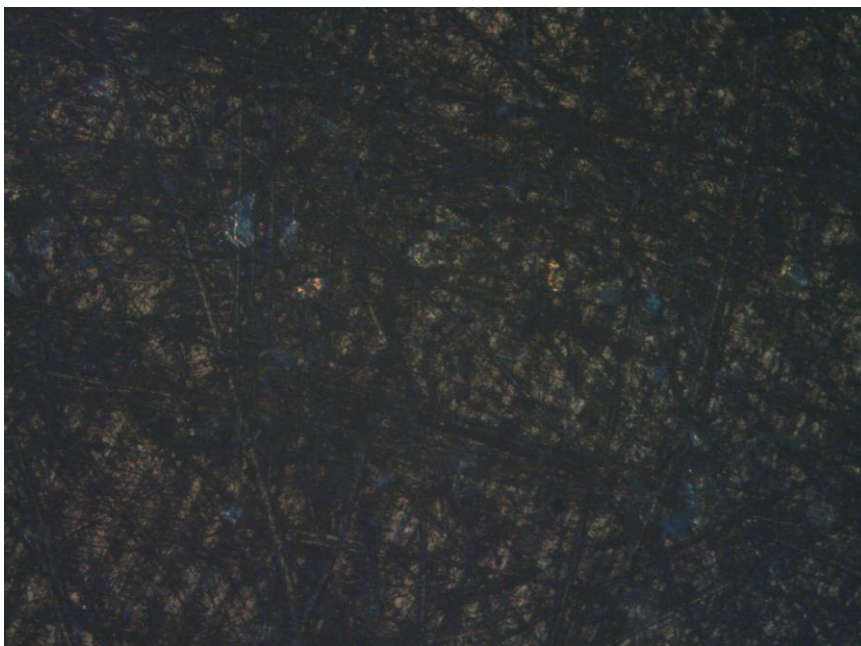


Figura 11 - Amostra Bruta Teste 2

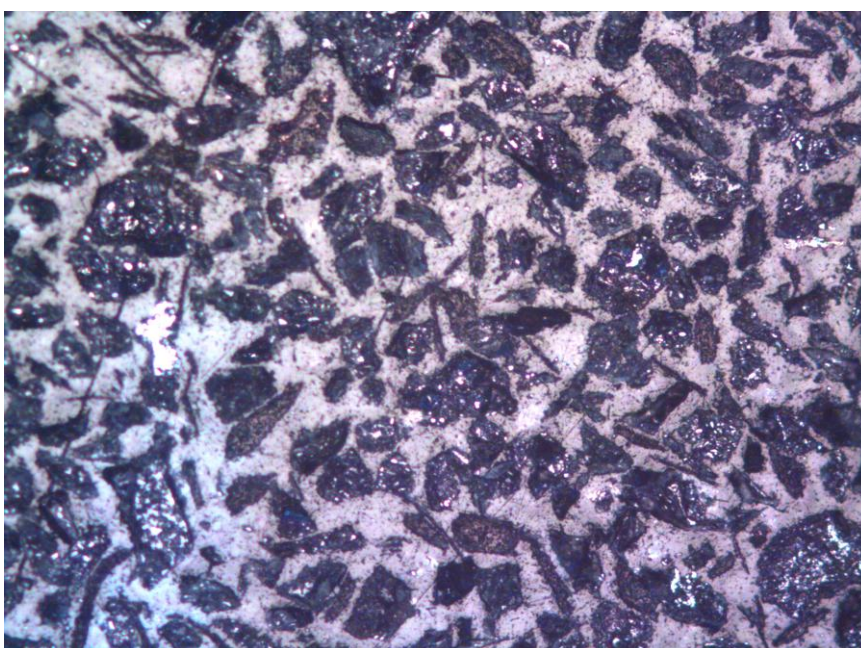


Figura 12 - Amostra Pós Lixamento-Polimento Teste 2

Ao observar as imagens é possível notar que houve um bom progresso, no entanto a amostra ainda apresentou algum relevo e riscos em sua superfície chegando a apresentar um risco que se prolonga por quase toda superfície da amostra.

O tempo total gasto no processo de lixamento-polimento do teste 2 foi de cinquenta minutos.

4.2.3. Teste 3

Assim como os testes anteriores, o primeiro passo na análise dos resultados foi à comparação da imagem da amostra bruta antes do processo lixamento-polimento Figura 13 e da amostra final depois do processo de lixamento-polimento Figura 14.



Figura 13 - Amostra Bruta Teste 3

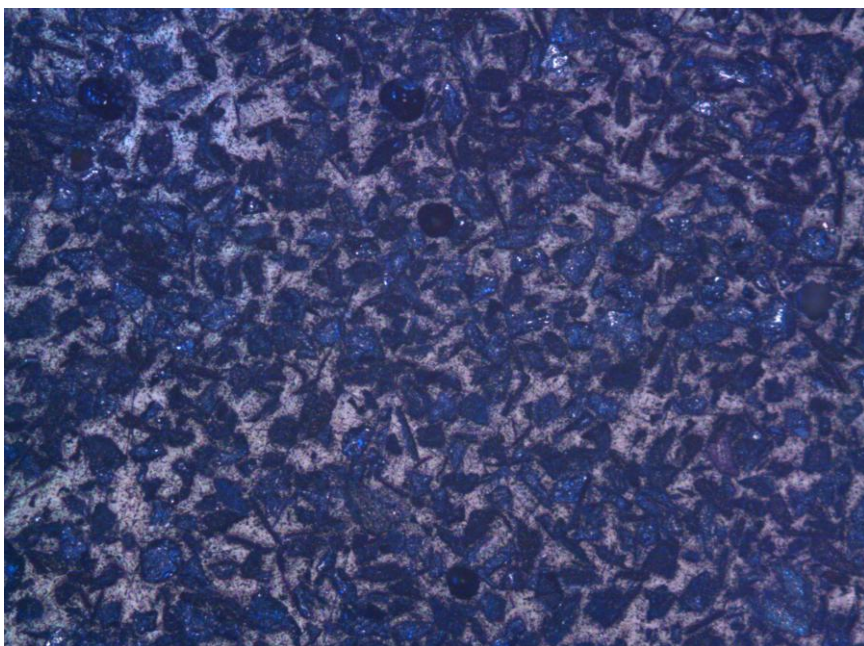


Figura 14 - Amostra Pós Lixamento-Polimento Teste 3

Ao observar as imagens é possível notar que assim como o teste 2 houve um bom progresso também no teste 3, a amostra apresentou uma boa planicidade com pouco relevo e em relação aos riscos em sua superfície existem poucos. O tempo total gasto no processo de lixamento-polimento do teste 3 foi de quarenta minutos. Avaliando tanto a qualidade da superfície da amostra, quanto o tempo de preparação o teste 3 de lixamento-polimento foi o que obteve o melhor resultado.

5. CONCLUSÕES

Com Base nos testes realizados o método que apresentou resultado mais satisfatório levando em consideração o tempo, custo de preparo e a qualidade das imagens obtidas e que pode ser adotado para a preparação de seção polida está descrito a seguir: Quantidade de resina 8,3 gramas, Quantidade de endurecedor 1,6 gramas, Quantidade de Solvente 0,8 gramas, Quantidade de amostra 4 gramas, duração do lixamento utilizando o carbeta de silício de granulometria 320 mesh, 5 minutos com rotação de 150 RPM, duração do lixamento utilizando o carbeta de silício de granulometria 600 mesh, 5 minutos com rotação de 150 RPM, duração do lixamento utilizando o carbeta de silício de granulometria 1000 mesh, 10 minutos com rotação de 150 RPM, duração do polimento utilizando solução de diamante, 10 minutos com rotação de 150 RPM, duração do polimento utilizando solução de alumina, 10 minutos com rotação de 150 RPM.

Vale ressaltar que a metodologia descrita não pode ser considerada definitiva na preparação da seção polida do minério de cobre da Mina do Sossego, tendo em vista que esta, dependendo do método a ser escolhido para a análise das imagens pode ou não vim a ser utilizada, já que até o momento da escolha da metodologia ainda não havia um método de análise das imagens definido.

Outro fator relevante é que à medida que às seções polidas venham sendo preparadas, seja possível identificar outros aspectos importantes no processo de preparação, acarretando assim na melhoria do processo o que possibilitará cada vez mais em um método confiável e seguro na caracterização do minério de cobre processado na usina de beneficiamento da Mina do Sossego.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar novos testes, adotando a resina como variável no processo de confecção da seção polida.

Realizar novos testes, utilizando consumíveis mais baratos como: resina e endurecedor, visando a redução dos custos no processo de preparação, sem que haja a perda na qualidade das superfícies obtidas no final do processo de preparação.

Realizar novos testes com resinas de acrílico ou poliésteres que polimerizam num tempo mais curto, diminuindo-se assim o tempo de preparação das amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA et al. **O Ensaio Metalográfico no Controle da Qualidade**, Laboratório de Metalografia, [200-].

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE - DIOC – GEUSY **Apresentação UFPA –** Operação de Mina, [200-]

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE - DIOC. **Apresentação Geral da Usina**, Mina do Sossego, 2007.

GUALBERTO, L. P. S., **Perfil Analítico do Cobre na Mina do Sossego**, CANAÃ DOS CARAJÁS/PA, UFPA, 2º Semestre / 2004.

Instituto Geológico e Mineiro (2001). **Litoteca de Portas Abertas**. Instituto Geológico e Mineiro Versão Online no site do INETI: http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/guiao_litoteca/indice.htm

LOYOLA. L.M., **Avaliação do Desempenho da Mini Planta-Piloto de Flotação da CVRD: Estudo Comparativo com Plantas Industriais**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Minas Gerais - Outubro / 2006

LUZ et al. **Tratamento de Minérios**. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

MANNHEIMER, W. A., **Microscopia dos Materiais: uma introdução**, Edição da sociedade Brasileira de Microscopia e Microanálise, 2002.

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE - **Manual Descritivo Usina Mina do Sossego**, [200-]

MORAIS, S. D. O. de, **Relatório de Conclusão do Estágio**, CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO RIO GRANDE DO NORTE, Dezembro de 2005.

NARDY, A.J.R., **Mineralogia Óptica** versão 3b.1 – 2007.

PINTO. A., **O Processo de Preparação de Amostras Para Pesquisa e Desenvolvimento em Mineralogia Fundamental e Aplicada**—Lisboa maio de 2005.

Revista Analytica - Fevereiro/Março 2007 - Nº27 - Artigo Determinando-se o tamanho de grãos em ligas de cobre-zinco através da análise de imagem.

Revista Minérios & Minerale, Edição 308, sexta-feira - 15-08-2008 - 13:41:14, Sequeirinho (Complexo Sossego) / Cobre.

Ribeiro, C.; Prado, J. B.. **Planejamento de Lavra a Longo Prazo – Estudo De Caso Da Mina Do Sossego.** Belém, 2008.

ROCHA, A. L.; SOLÓRZANO, G.. **Estudo Microanalítico da Precipitação de Micro e Nanopartículas Magnéticas em Ligas Diluídas de Cu-Co.** Rio de Janeiro, 2007. 120p. Tese de Doutorado – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

ROCHA, A. M. R. da, **Microscopia Óptica Aplicada à Caracterização de Minério de Cobre Sulfetado CVRD-DIOC-FUNCERN.** [200-]

ROHDE, R. A. **Metalografia Preparação de Amostras Versão-2.1.** Laboratório de Ensaio Mecânicos e Materiais. Setembro 2008.

SILVA, N. H. C. da, **Estudo de Otimização na Utilização dos Tratores Caterpillar D11 na Mina do Sossego,** (Trabalho de Conclusão de Curso), UFPA, Marabá/PA, 2009.

ANEXO A

1. MINA DE COBRE DO SOSSEGO

O Complexo do Sossego foi fundado em 2002 e teve a sua operação de lavra iniciada em julho de 2004 com uma vida útil prevista de 17 anos. Sossego foi o primeiro projeto de cobre da CVRD. A mina tem uma reserva provada de aproximadamente 245 milhões de toneladas de minério sulfetado (LOYOLA, 2006).

A mina de cobre do Sossego fica localizada no município de Canaã dos Carajás, no Sudeste do Pará, a 835 km de Belém. O acesso principal à mina, partindo-se de Marabá (PA) ou Carajás (PA), é feito por via das rodovias estaduais PA-150 e PA-275, até a cidade de Parauapebas (PA). A partir daí toma-se a rodovia estadual PA-160, Figura 1 (RIBEIRO et al, 2008).

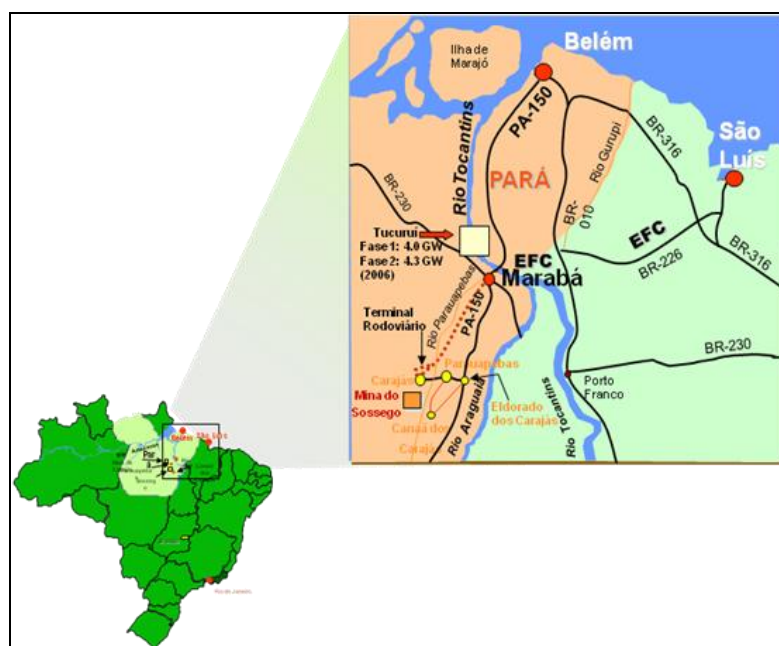


Figura 1 - Mapa de localização da Mina do Sossego (SILVA, 2009)

No Complexo Sossego são lavrados dois tipos de minério de cobre, o sulfetado e o oxidado. O bem mineral produzido na mina é o concentrado de cobre, o qual é processado na usina de beneficiamento, que utiliza somente o minério sulfetado. O concentrado possui um teor de 30% de cobre e 6 g/t de ouro, tendo sua produção anual estipulada de 400.000 toneladas (DIOC, 2004).

A Mina de Cobre do Sossego é constituída de duas cavas, o Sequeirinho, com dimensionamentos previstos do pit final de aproximadamente 1.000 m de largura por 2.800 m de comprimento e profundidade avaliada de 500 m, sendo esta a principal cava Figura 2.

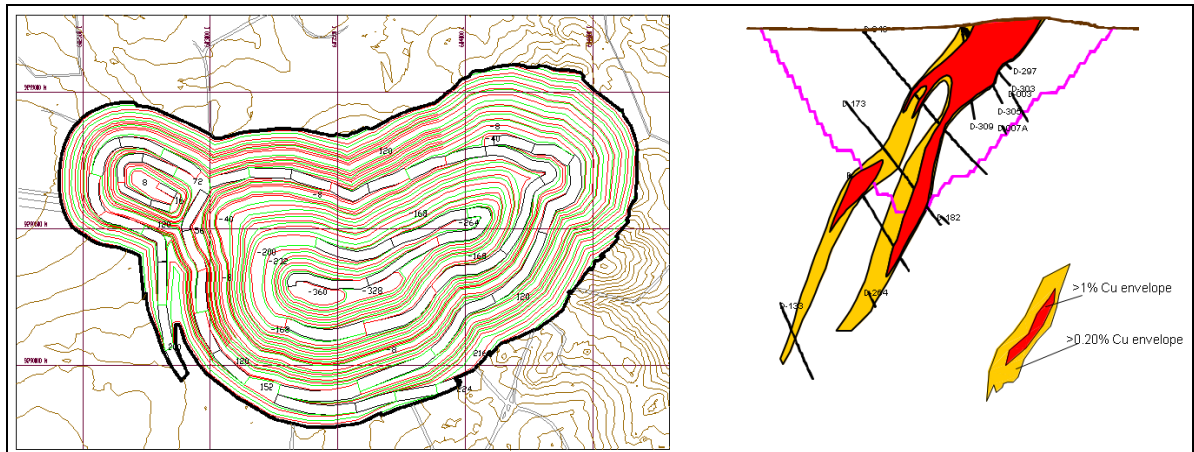


Figura 2 - Pit final Sequeirinho (SILVA, 2009)

E o Sossego, com dimensões de 1.000 m de comprimento e 800 m de diâmetro e profundidade final estimada de 350 m Figura 3. Ambas as minas são lavradas a céu aberto, fazendo uso de equipamento de grande porte para o desmonte, carregamento e transporte. A altura das bancadas operacionais é de 16 m, bermas de 8 m a 15 m, ângulo de face variando de 42° a 85°, a relação estéril/minério é de 4:1 (Revista Minérios & Mineraleis, 2008).

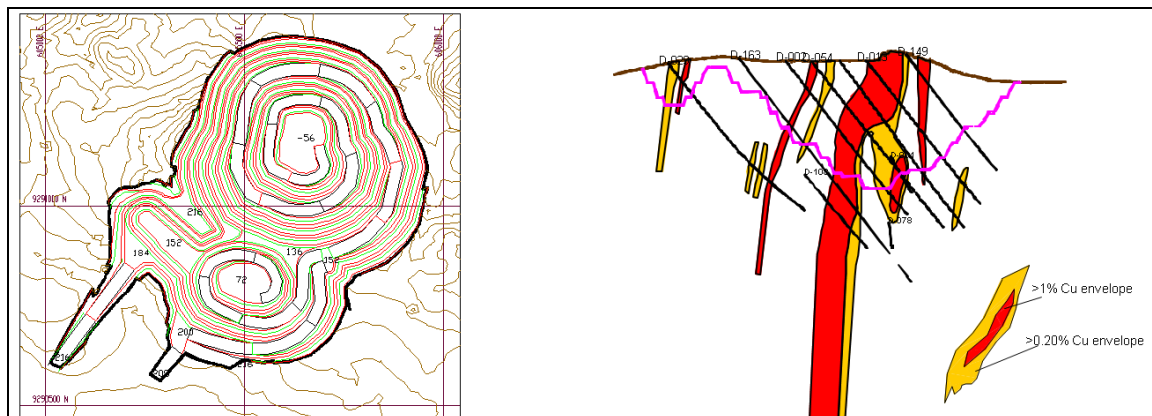


Figura 3 - Pit final Sossego (SILVA, 2009)

Nas operações de minas do complexo Sossego é empregado o chamado ciclo padrão que consiste nas seguintes operações unitárias: perfuração, desmonte, carregamento e transporte (LOYOLA, 2006).

1.1. OPERAÇÕES UNITÁRIAS

1.1.1. Perfuração

A perfuração Figura 4, é a primeira operação dentro do campo dos desmontes que é realizada e tem como finalidade abrir furos com uma distribuição e geometria adequada dentro dos maciços para alojar as cargas de explosivos e acessórios iniciadores (GUALBERTO, 2004).



Figura 4 – Perfuração Mina do Sossego

No complexo do Sossego quase todo material é perfurado antes de seguir para as etapas subseqüentes de produção mineral, no processo de perfuração são utilizadas perfuratrizes de grande porte, as quais furos com 16 metros de comprimento e uma sub furação de 1,5 metros, com 12 ¼ e 9 7/8 polegadas de diâmetros para atender a escala de produção no minério e estéril (DIOC-GEUSY, 200-).

Utiliza-se também uma perfuratriz de pequeno porte de 3,5 a 4,5 polegadas de diâmetro a qual perfura furos com 18 metros de comprimento, com objetivo de realizar acabamento de bancadas, detonação de repés e matações (DIOC-GEUSY, 200-).

1.1.2. Desmorte

A extração com explosivos é aquela que o material é desagregado com auxílio de uma substância explosiva através de uma ação térmica ou mecânica, transformado total ou parcialmente em gás liberando uma considerável quantidade de calor. Após a perfuração, os furos são carregados com explosivos e detonados Figura 5, fragmentando em tamanhos capazes de serem carregados, transportados e descarregados na abertura do britador (GUALBERTO, 2004).



Figura 5 - Desmorte (DIOC-GEUSY, 200-)

1.1.3. Carregamento

Após o desmorte o material deve ser carregado Figura 6 para em seguida ser transportado. No Complexo Sossego todo o carregamento é mecânico utiliza equipamentos apropriados com grandes capacidades, como: Escavadeira Shovel elétrica a cabo e pá carregadeira diesel hidráulica (GUALBERTO, 2004).



Figura 6 – Carregamento Mina do Sossego

A escavadeira Shovel possui caçamba frontal equipada com implemento constituído de lança e braço transversal articulado. Este equipamento é um dos mais utilizados em mineração. Pela combinação do movimento da lança e do braço articulado, esta escava de baixo para cima elevando a carga, deslocando-a no sentido horizontal e efetuando a sua descarga (MORAIS, 2005).

1.1.4. Transporte

O material desmontado a ser transportado requer equipamentos rápidos, de custo baixo e que tenham a maior produção, pois as distâncias a ser percorridas podem ser grandes. Se o material desmontado for minério, ele é transportado para as instalações de beneficiamento, se for estéril, é transportado para o depósito de estéril (DIOC-GEUSY, 200-).

Uma má distribuição dos caminhões na operação de transporte Figura 7 na mina resulta em prejuízo de produção, quer seja pela paralisação de caminhões aguardando descarga no britador primário ou aguardando carregamento na mina (DIOC-GEUSY, 200-).



Figura 7 – Transporte Mina do Sossego

Desta maneira é muito importante conhecer os tempos de ciclos de transporte em cada frente de lavra, para que haja uma perfeita sincronia entre a frota transportadora e os equipamentos de carregamento obtendo assim as maiores produções (GUALBERTO, 2004).

1.2. BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE COBRE SOSSEGO

1.2.1. Britagem Primária

Britagem é a primeira etapa de cominuição, a qual é o processo de redução progressiva da granulometria do minério. Reduções adicionais da granulometria do minério para adequação à flotação ocorrem na moagem. No caso do minério de cobre do Sossego a britagem primária Figura 8 é realizada por um britador giratório, depois de britado este é retomado por um alimentador de sapatas. No caso de obstrução na alimentação do britador é utilizado um rompedor hidráulico para reduzir o tamanho dos matacos retidos (MANUAL, 200-).



Figura 8 - Britagem Primária

A britagem tem como objetivo atingir a granulometria ideal para a alimentação do Moinho SAG. O minério britado é transportado por uma correia transportadora Figura 9 de 4.045 metros de comprimento até a pilha pulmão.



Figura 9 - Correia Transportadora (GUALBERTO, 2004)

A pilha de estocagem do minério britado garante um estoque de minério entre a operação de britagem na mina e a operação de moagem. A retomada é feita através alimentadores de sapatas, de velocidade variável, situado em linha, em um túnel sob a pilha (GUALBERTO, 2004).

1.2.2. Moagem

O circuito de moagem é constituído por uma única linha de moagem semi-autogena (SAG) com rebitagem de pebbles, seguida de dois moinhos de bolas em paralelo, que operam, em circuito fechado, com ciclones. A capacidade nominal de alimentação nova é de 1.841 t/h (**Revista Minérios & Minerales, 2008**).

A moagem semi-autogena é realizada por um moinho SAG de 11,6 m de diâmetro e 6,4m de comprimento, com motor de 20 MW, de velocidade variável Figura10.



Figura 4 - Moinho SAG (DIOC, 2007)

A classificação da descarga do SAG é feita por duas peneiras vibratórias. O retido nas peneiras é conduzido para o circuito de rebitagem de pebbles, rebitado, retorna ao moinho SAG. O passante nas peneiras vibratórias é bombeado para o circuito de classificação realizada por ciclones (**Revista Minérios & Minerales, 2008**).

O underflow destes ciclones alimenta a moagem de bolas Figura11, constituída por dois moinhos de 6,7 m de diâmetro e 8,8 m de comprimento, cada um com 8.500 kW de potência instalada. A descarga dos moinhos de bolas retorna

para a ciclonagem (circuito reverso), cujo overflow alimenta o circuito de flotação (Revista Minérios & Minerais, 2008).



Figura 5 - Moinho de Bola (DIOC, 2007)

1.2.3. Classificação

A classificação é um processo de separação de um conjunto de partículas de vários tamanhos em classes de tamanhos. No circuito da Usina de Cobre do Sossego, é utilizada a ciclonagem, o qual é um processo de classificação que se utiliza de forças centrífugas para obter a separação. O ciclone Figura 12 é um equipamento que separa o produto dos moinhos de bolas em dois fluxos: o overflow produto de granulometria fina, dependendo da necessidade que alimenta o circuito de flotação, e o underflow granulometria mais grosseira, que retorna aos moinhos de bolas para nova redução granulométrica (MANUAL, 200-).



Figura 6 - Conjunto de Ciclones

Esta operação é de fundamental importância para o sucesso da operação da Usina do Sossego. A granulometria do minério que irá alimentar as operações seguintes deve estar dentro das especificações. As partículas com granulometria fora das especificações desejadas, podem não estar suficientemente liberadas para recuperação de cobre no processo de flotação. Se o minério não estiver suficientemente liberado, a produção de cobre cai, com pouca alteração nos custos operacionais. Se o minério for moído muito fino, a recuperação de cobre poderá atingir o especificado, mas a produção da usina ficará abaixo do aceitável (MANUAL, 200-).

1.2.4. Flotação e Remoagem

O overflow da ciclonagem alimenta o circuito de flotação rougher, constituída de duas linhas de sete células, Figura13. A polpa flui de uma célula para outra em cada linha sendo o cobre coletado na espuma que se forma na superfície das células (GUALBERTO, 2004).



Figura 7 - Flotação Rougher (DIOC, 2007)

A flotação rougher é o primeiro e mais importante estágio do processo de flotação. A flotação é um processo de separação de minerais que se utiliza das diferenças de propriedades das partículas em aderir às bolhas de ar em uma polpa. O objetivo geral do circuito de flotação é maximizar a recuperação do metal e maximizar o teor do concentrado de cobre (MANUAL, 200-).

No processo de flotação, são produzidas bolhas de ar que sobem à superfície através da polpa, formando uma espuma, para que seja mantida a estabilidade das bolhas, evitando que essas estourem antes de atingir a superfície são adicionados reagentes químicos, para que os minerais possam aderir a essas bolhas são adicionados outros reagentes que alteram de forma seletiva as propriedades de superfícies de alguns minerais.

No entanto, muitos minerais não aderem às bolhas de ar nas células rougher. Desta forma, fluem com a polpa e saem da célula como rejeito rougher. Cada linha de células rougher é ordenada de forma que os rejeitos fluam por gravidade de uma célula a outra, saindo na última célula rougher e passando ao estágio final de disposição de rejeitos (MANUAL, 200-).

Já a espuma contendo os minerais de interesse flui para as calhas de concentrado rougher, quando o teor de cobre é suficientemente alto a polpa das três primeiras células pode ser direcionada para o espessador de concentrado final, não

sendo este o caso a polpa segue por gravidade para o circuito de classificação e remoagem a qual é realizada por moinhos verticais Figura 14. Nesse circuito, a granulometria do minério é reduzida para aumentar a eficiência do processo de concentração.



Figura 8 - Moinhos verticais (DIOC, 2007)

O produto do circuito de classificação e remoagem é bombeado para o circuito de flotação cleaner Figura 15, constituída por seis colunas de flotação iguais entre si cada coluna possui 4,27 metros de diâmetro por 14 metros de altura onde o concentrado final de cobre é obtido.



Figura 9 - Flotação Cleaner (DIOC, 2007)

O rejeito das colunas alimenta a flotação scavenger-cleaner Figura 16, constituída de uma linha de seis células de 160 m³, cujo concentrado se junta ao concentrado rougher, na alimentação da remoagem, constituindo a carga circulante do circuito de flotação.



Figura 10 - Flotação Scavenger-cleaner

A polpa de rejeito das células scavenger-cleaner se junta à polpa de rejeito das células de flotação rougher, como rejeito final também sendo lançada no sistema de disposição de rejeitos (LOYOLA, 2006).

O concentrado das colunas de flotação é o concentrado final e encaminhado para o espessamento por gravidade.

1.2.5. Espessamento e Filtragem

O concentrado produzido no circuito de flotação é direcionado para um espessador de concentrado Figura17, com diâmetro de 20 metros, isso é feito para retirar parte da água antes do bombeamento para os filtros-prensa.



Figura 17 - Espessador de Concentrado

O underflow do espessador é bombeado para um filtro prensa de placas verticais. O concentrado filtrado, sob a forma de torta e com aproximadamente 8,5 por cento de umidade, é transportado por correia para uma pilha de estocagem coberta e então transportado por caminhões para Parauapebas, onde fica armazenado. De Parauapebas segue por ferrovia ao porto de São Luis (MA), de onde segue para fundição e refino do cobre no exterior (GUALBERTO, 2004).

Na Figura 18, fluxograma simplificado do processo de beneficiamento da Mina do Sossego.

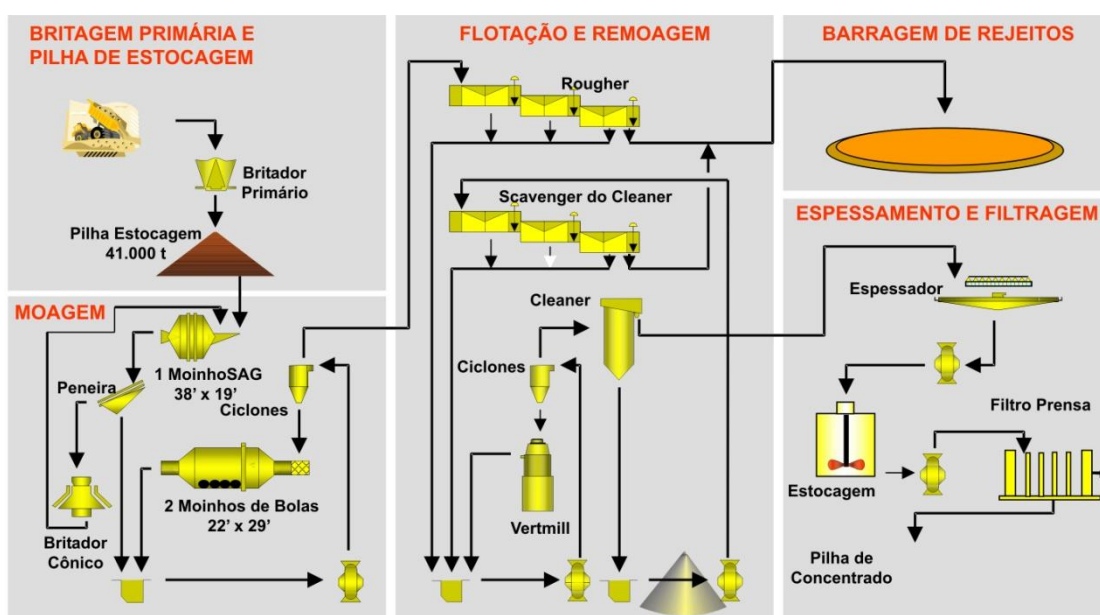


Figura 18 – Fluxograma (SILVA, 2009)

1.3. CONTROLE DE TEOR E GRANULOMETRIA

Para que a usina opere conforme o projeto e possa alcançar todos os resultados esperado em todas as fases do processo de produção, certas variáveis dentro do processo devem ser cuidadosamente controladas (MANUAL, 200-).

Dentre dessas variáveis incluem parâmetros do processo como: pressão, vazão, nível, densidade, rotação, entre várias outras de suma importância no beneficiamento do minério de cobre.

O controle dessas variáveis interfere diretamente no funcionamento dos equipamentos, que por sua vez interferem na capacidade de se alcançar a granulometria e a recuperação metalúrgica desejada na usina.

Para o controle da granulometria a Usina provê de um medidor de tamanho de partículas PSI (“indicador de tamanho de partículas”) Figura 19 nas linhas de overflow dos ciclones, com o objetivo de coletar amostras e fornecer dados sobre a granulometria do produto e sobre a porcentagem de sólidos. Essa granulometria é relatada e sua tendência avaliada no SSC (Sistema de Supervisão e Controle). Cada linha de overflow dos ciclones é amostrada antes de entrar no distribuidor da flotação rougher (MANUAL, 200-).



Figura 19 – PSI (“indicador de tamanho de partículas”)

Já para o controle de teor da polpa a usina dispõe do Courier equipamento de análise por raios X Figura 20. O principal objetivo do sistema de amostragem e análise por raios X é fornecer informações de teores para determinados fluxos do circuito de flotação. Existem dois tipos de sistemas de amostragem. Um deles fornece amostras para o sistema de análise por raios X, e outro fornece amostras para análise de laboratório.



Figura 20 - Courier