

Capítulo 1



10.37423/220706255

ANÁLISE CRÍTICA DE FALHAS EM UNIDADE DE BRITAGEM DE UMA MINERADORA

Hélio Augusto Goulart Diniz

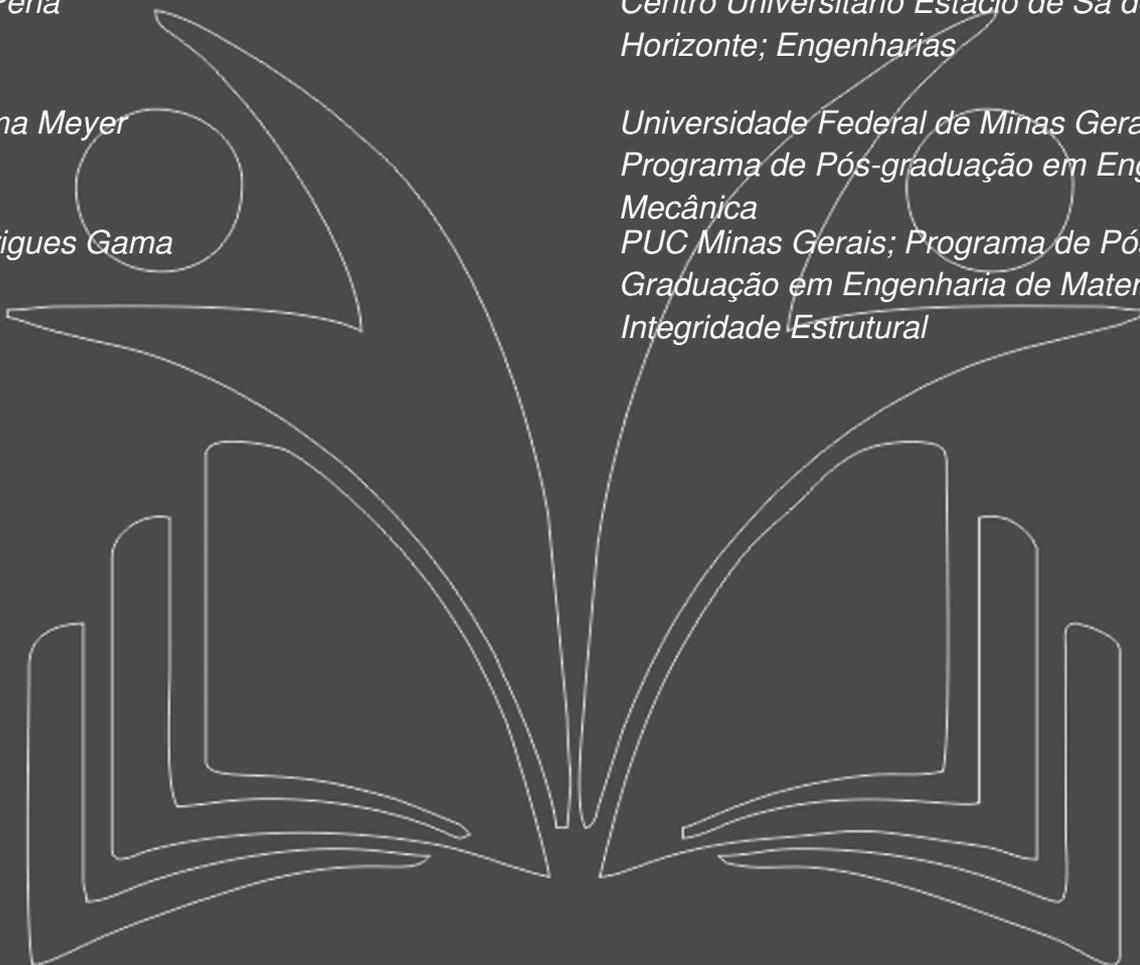
*Universidade Federal de Minas Gerais;
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Mecânica
Centro Universitário Estácio de Sá de Belo
Horizonte; Engenharias*

José Dias Pena

Ivo Zatti Lima Meyer

*Universidade Federal de Minas Gerais;
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Mecânica
PUC Minas Gerais; Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Materiais e
Integridade Estrutural*

Grack Rodrigues Gama



Resumo. Esse artigo foi desenvolvido no contexto do processo de britagem de uma mineradora no qual se apresenta o processo de britagem, mostrado o fluxograma de processo e equipamentos típicos do setor. Problemas corriqueiros de manutenção e de operação são apresentados, assim como sugestões são discutidas para evitar ou reduzir a frequência de reincidência dos mesmos. Foi feita uma análise técnica dos problemas de manutenção e de operação do setor, na qual a produtividade e a disponibilidade são discutidas como forma de embasamento gerencial. Mostra-se a ferramenta FMEA para análise de falhas e aplica-se essa metodologia sobre um equipamento do setor de britagem, mostrando a funcionalidade e importância desse estudo no que diz respeito à tomada de decisão para evitar a falha baseada em risco e em custo.

Palavras-chave: britagem, manutenção, equipamentos, FMEA

1. INTRODUÇÃO

Paradas inesperadas de manutenção por falhas de equipamentos e intervenções pela operação geram redução de confiabilidade do processo e perdas de produtividade na unidade de britagem estudada.

Intervenções pelo pessoal da operação ocorrem, por exemplo, quando o minério entra no circuito da britagem acima da especificação de umidade e granulometria ou quando traz consigo material não britável.

No que se referem às manutenções nessa uma unidade de britagem, são comuns manutenções corretivas emergenciais, manutenções preventivas e manutenções corretivas baseadas em análise preditivas.

A ferramenta FMEA é uma metodologia para análise de falhas usada para encontrar as causas e efeitos das falhas possíveis de ocorrer em um equipamento. A partir desse estudo propõem-se soluções para atacar os principais modos de falha do equipamento baseados nos riscos e nos custos envolvidos. A sua aplicabilidade na unidade de britagem vai desde estudo das intervenções pela operação ao estudo das falhas que originam as manutenções corretivas emergenciais.

Considerando os fatos expostos, esse trabalho visa analisar as intervenções do pessoal de operação, as manutenções realizadas em equipamentos e aplicação da ferramenta FMEA em um equipamento de uma unidade de britagem de uma mineradora. Nessas análises propõem-se soluções para evitar a reincidência dos problemas e busca mostrar ao leitor as dificuldades de operação e manutenção inerentes ao setor de britagem de uma mineradora.

De início é descrito o processo e equipamentos da unidade de britagem. Logo após vem um estudo sobre os tipos de manutenção, na qual esse trabalho vai se basear. Tem-se assim um contexto na qual os problemas de operação, execuções de manutenções e análise de falhas são tratados posteriormente.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. PROCESSO DE BRITAGEM

A seguir é descrito o processo de britagem de forma simplificada e contextualizada à realidade de uma unidade de britagem de uma determinada mineradora. O processo de britagem consiste basicamente em fragmentação e peneiramento do minério.

2.1.1. FRAGMENTAÇÃO DE MINÉRIO

A fragmentação mineral é o conjunto de operações, que consiste na redução das dimensões físicas de um dado conjunto de blocos ou partículas de minério, através do rompimento de sua coesão, por meio de ação mecânica externa, de forma controlada.

A redução de tamanho do minério apresenta objetivos distintos, os quais podem ser classificados em dois grandes grupos. No primeiro, o objetivo é atingir as especificações granulométricas exigidas por operações subsequentes presentes em um processo de tratamento de bem mineral. No segundo, objetivo é atingir especificação granulométrica exigida para comercialização de produtos (Chaves e Peres, 2003). No caso dessa mineradora, após o minério ser britado ele é encaminhado a uma planta de beneficiamento mineral, ou seja, o objetivo aqui recai sobre o primeiro grupo.

A fragmentação é composta por dois tipos de operações, as quais são: britagem e moagem. Pode-se definir a britagem como uma operação de fragmentação grosseira, cuja faixa operacional de tamanho para alimentação é da ordem de metro a centímetros, e o tamanho do produto britado é da ordem de centímetros. A moagem caracteriza-se por ser uma operação de fragmentação fina, cuja faixa operacional de tamanho para alimentação é da ordem de centímetros, e o tamanho do produto moído é da ordem de micrômetros (Chaves e Peres, 2003). No caso de uma unidade de britagem, interessa-se saber o primeiro conceito, ou seja, a fragmentação por britagem. Já que a fragmentação por moagem pertence ao processo que vem logo após a britagem e que não é foco de estudo nesse trabalho.

2.1.2. BRITADORES

Os Britadores caracterizam-se por apresentar como mecanismo preponderante de fragmentação a compressão, o qual ocorre através do movimento periódico de aproximação e afastamento de uma superfície móvel contra outra fixa. O mecanismo de fragmentação por compressão é o mais comum, aplicado desde a fragmentação de blocos de minério provenientes da frente de lavra (ROM) até as partículas da ordem de centímetros.

Na unidade de britagem analisada há dois tipos de britadores, um do tipo mandíbulas e dois do tipo cônicos.

O britador do tipo mandíbula caracteriza-se por apresentar, de forma simplificada, os seguintes elementos: uma mandíbula fixa, e outra móvel dotada de movimento excêntrico; uma câmara de britagem, que se caracteriza por ser o espaço entre as duas mandíbulas; uma abertura de entrada por

onde entra a alimentação do britador e uma abertura de saída local por onde sai o produto britado. A fragmentação do material ocorre quando a mandíbula móvel se aproxima da mandíbula fixa, comprimindo o material localizado dentro da câmara de britagem. Assim a ação de fragmentação caracteriza-se por ser descontínua, pois a mesma só ocorre em metade do movimento da mandíbula móvel, ou seja, quando esta se aproxima da mandíbula fixa. Na outra metade do movimento a mandíbula móvel afasta-se da mandíbula fixa, permitindo o escoamento do material, portanto não promovendo a fragmentação. (Chaves e Peres, 2003). Na figura 1 pode ser visto um modelo simples de britador de mandíbulas.

O britador do tipo cônico caracteriza-se por apresentar, de forma simplificada, os seguintes elementos: uma carcaça metálica de alta resistência fixa; um cone, interno à carcaça metálica, dotado de movimento excêntrico; uma câmara de britagem, que se caracteriza por ser o espaço entre a carcaça e o cone; e uma abertura de entrada corresponde à largura do anel de entrada, e a abertura de saída corresponde ao espaço entre as extremidades inferiores da superfície da carcaça e a superfície do cone. A fragmentação do material ocorre quando o cone dotado de movimento excêntrico se aproxima das paredes internas da carcaça, comprimindo o material localizado dentro da câmara de britagem. Diferentemente do britador de mandíbulas, o mecanismo de fragmentação no britador cônico caracteriza-se por ser contínuo, pois o cone sempre estará aproximando de um dos lados da superfície da carcaça, logo estará continuamente realizando o mecanismo de fragmentação. (Chaves e Peres, 2003). Na figura 2 pode ser visto um modelo de britador tipo cônico.

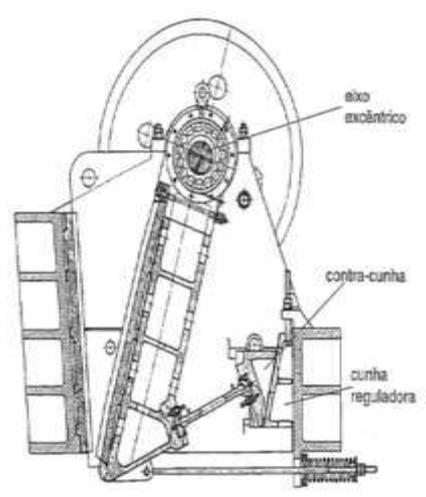


Figura 1: Britador de mandíbulas

Fonte: Chaves e Peres, 2003, p. 437



Figura 2: Britador cônico

Fonte: Metso Minerals, 2005, p. 36

2.1.3. PENEIRAMENTO DE MINÉRIO

O peneiramento é uma operação que consiste na retirada de finos do material que irá alimentar um equipamento de fragmentação, podendo satisfazer diferentes objetivos técnicos, tais como: minimizar a produção de materiais finos; minimizar o desgaste das peças de revestimento; evitar o empastelamento do britador em função da alta umidade contida em frações granulométricas mais finas de minérios; e maximizar a capacidade produtiva (Chaves e Peres, 2003).

2.1.4. PENEIRAS E GRELHAS

Na operação de peneiramento ocorre a separação de uma população de partículas em duas frações de tamanhos diferentes, mediante a sua apresentação a um gabarito de abertura fixa e pré-determinada. Cada partícula tem apenas as possibilidades de passar, chamada de passante ou de ficar retida, chamada de retido (Chaves e Peres, 2003). No caso dessa unidade de britagem, os gabaritos podem ser grelhas de barras paralelas de uma grelha vibratória ou telas de malhas quadradas de uma peneira vibratória.

Na unidade de britagem analisada existem duas peneiras vibratórias inclinadas e uma grelha vibratória.

As peneiras vibratórias são constituídas por um chassi robusto, apoiado em molas, um mecanismo acionador do movimento vibratório e dois suportes para as telas, chamadas de decks. Elas possuem um movimento vibratório circular ou elíptico, no qual faz com que as partículas sejam lançadas para cima e para frente, de modo que possam se apresentar à tela várias vezes, sempre sobre aberturas sucessivas. Este movimento vibratório causa estratificação do conjunto de partículas sobre a tela, de

modo que as partículas maiores fiquem por cima e as partículas menores por baixo (Chaves e Peres, 2003). Na figura 3 é possível ver uma peneira vibratória inclinada.

As grelhas vibratórias são aplicadas no peneiramento primário de materiais, onde envolve matacões que podem pesar algumas toneladas. São equipamentos extremamente robustos e resistente ao desgaste, comprimento menor e ocorre a substituição das telas por grelhas de trilhos ou barras (Chaves e Peres, 2003). Na figura 4 é possível ver uma grelha vibratória.

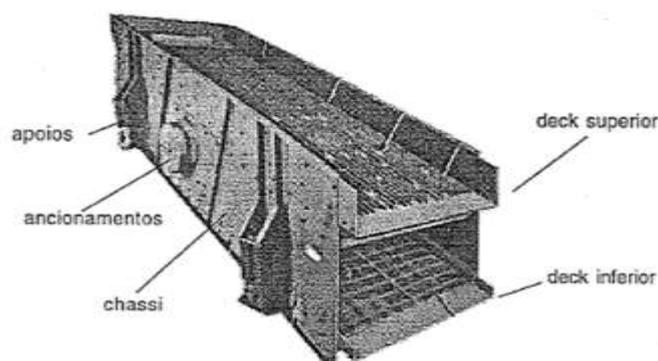


Figura 3: Peneira vibratória

Fonte: Chaves e Peres, 2003, p. 514

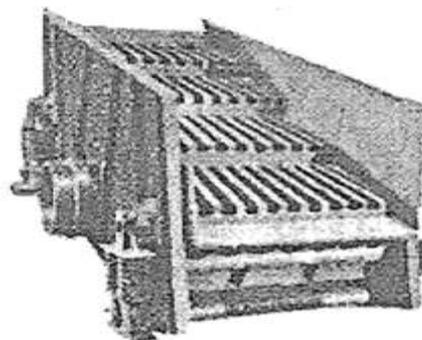


Figura 4: Grelha vibratória

Fonte: Chaves e Peres, 2003, p. 521

2.1.5. OUTROS EQUIPAMENTOS DO PROCESSO

Os principais equipamentos do processo de britagem foram apresentados e descritos com maior ênfase anteriormente, por se tratar do sistema conceitual básico de um processo de britagem. Eles são: britadores cônicos e de mandíbulas, peneiras e grelhas vibratórias.

O equipamento responsável pelo transporte do minério na linha de britagem é o transportador de correia (figura 5). Há também equipamentos que auxiliam na retomada do minério ao circuito após

esse ser armazenado em silo (reservatório) de estocagem, eles são os alimentadores, que no caso dessa unidade de britagem podem ser do tipo vibratório (figura 6) e de sapatas (figura 7).

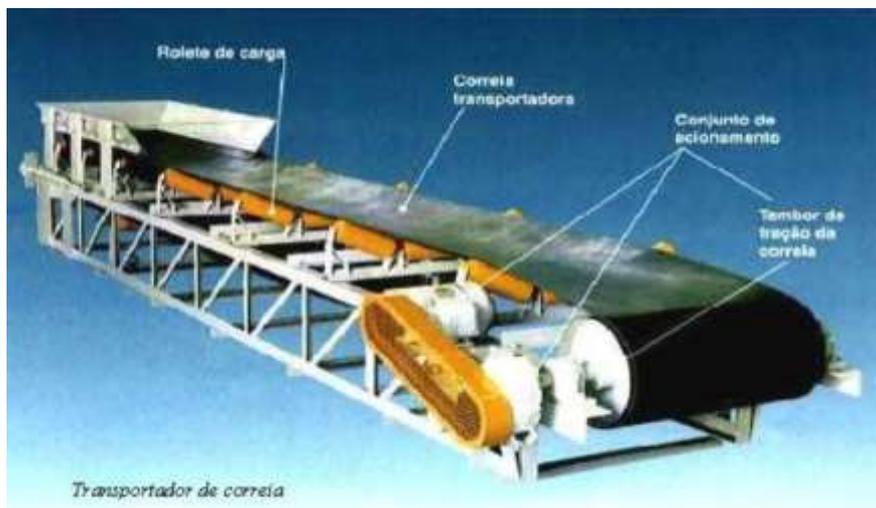


Figura 5: Transportador de correia

Fonte: Acervo técnico da unidade de britagem analisada



Figura 6: Alimentador vibratório

Fonte: Metso Minerals, 2005, p. 20



Figura 7: Alimentador de sapatas

Fonte: Metso Minerals, 2005, p. 5

Há equipamentos auxiliares ao pessoal de operação como o extrator de sucatas (figura 8) que retira material ferroso não britável dos transportadores de correia quando em operação, impedindo que esse material siga em frente e possa paralisar o circuito, como por exemplo, rasgando uma correia. Outro equipamento auxiliar é o supressor de pó (figura 9), responsável por reduzir o nível de poeira de minério quando ele acaba de passar pelo britador.



Figura 8: Extrator de sucatas

Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada



Figura 9: Supressor de pó

Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada

2.1.6. FLUXOGRAMA DO PROCESSO

Definidos os principais conceitos envolvidos quando se fala de uma unidade de britagem e mostrados os equipamentos da unidade, é apresentado na figura 10 o fluxograma simplificado do processo.

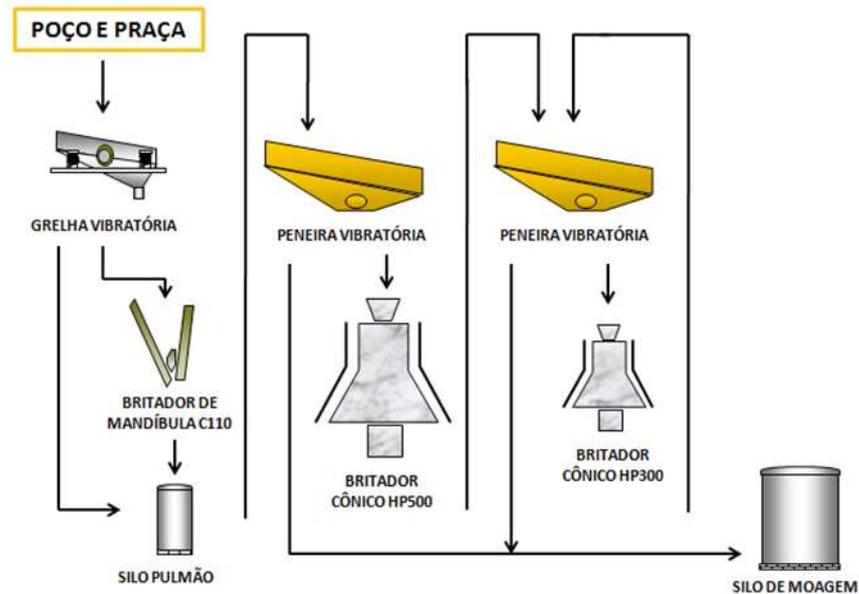


Figura 10: Fluxograma simplificado do processo

Na figura 10 estão representadas as três linhas de britagem; a primária, secundária e terciária. Na britagem primária, o minério que vem do poço (mina subterrânea) ou da praça de estocagem (cujo minério é oriundo de outra mina da empresa) passa pela grelha vibratória, o material passante vai para o silo pulmão e o não passante vai para o britador de mandíbulas e depois de britado é encaminhado ao mesmo silo. Esse silo tem a função de “backup” do sistema de britagem secundária e terciária quando há falta de minério no poço e na praça. Na britagem secundária, o material armazenado no silo é encaminhado à primeira peneira vibratória, o passante vai para o silo de moagem e o não passante vai para o britador cônico e depois de britado é encaminhado a britagem terciária. Na britagem terciária, o minério vindo da britagem secundária passa pela segunda peneira vibratória, o passante vai para o silo de moagem e o “não passante” volta para a britagem terciária, ou seja, para o mesmo destino inicial. Percebe-se que na britagem primária e secundária o circuito é aberto, ou seja, o minério passa por lá uma única vez, já na britagem terciária o circuito é fechado e o material recircula nessa etapa até atender a granulometria especificada e ir para o silo de moagem. O silo de moagem é o local para onde se destina o produto final da britagem. O minério que chega à unidade de britagem com granulometria média de 150 mm transforma-se em produto final com granulometria de 9,5 mm. Do silo de moagem em diante, trata-se do processo de beneficiamento de minério, cujo tema não é abordado nesse trabalho.

2.2. VISÃO DA EMPRESA SOBRE MANUTENÇÃO

A atividade de manutenção precisa deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz, ou seja, não basta apenas, reparar o equipamento ou instalação o mais rápido possível, mas, principalmente, mantê-lo disponível para a operação, evitar nova falha e reduzir os riscos de uma parada de produção não planejada.

A manutenção passou a ser vista como a mola propulsora de uma verdadeira revolução que pode levar uma empresa a destacar-se com diferenciais competitivos, através do aumento da confiabilidade operacional dos ativos, redução dos custos intrínsecos, redução de desperdícios, utilização racional dos recursos disponíveis e aumento das taxas de produção, dentre outros.

As manutenções que ocorrem nessa unidade de britagem e nas quais alguns exemplos e estudo de casos são desenvolvidos nesse texto são abordadas a seguir. Trata-se de manutenção corretiva não planejada, manutenção preventiva e manutenção corretiva planejada baseada em análise preditiva.

2.2.1. MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA

Caracteriza-se pela atuação da manutenção em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado. Não há tempo para preparação do serviço ou não se faz planejamento, daí o seu nome. Normalmente esse tipo de manutenção implica altos custos, pois a quebra inesperada pode acarretar perdas de produção, perda da qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção, além de poder afetar a segurança e o meio ambiente (Pinto e Xavier, 2013).

2.2.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Manutenção efetuada em intervalos predeterminados destinada a evitar e prevenir a ocorrência de falhas e a degradação do funcionamento de um ativo. Normalmente é aplicada quando existem aspectos relacionados com a segurança pessoal, ambiental ou da instalação que tornam mandatória a intervenção para substituição de componentes, por oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação operacional, dentre outros exemplos (Pinto e Xavier, 2013).

2.2.3. MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA BASEADA EM PREDITIVA

Caracteriza-se pela ação de correção do desempenho menor do que o esperado baseado no acompanhamento dos parâmetros de condição e diagnóstico levados a efeito pela preditiva, detectiva

ou inspeção. Um trabalho planejado é sempre mais barato, mais rápido e mais seguro do que um trabalho não planejado e será sempre de melhor qualidade (Pinto e Xavier, 2013).

2.3. DISPONIBILIDADE E PRODUTIVIDADE DA BRITAGEM

Pode-se definir a disponibilidade como a relação entre o tempo em que um equipamento ou instalação industrial está em condições mecânicas, elétricas, eletrônicas e civis adequadas para realizar a operação e o total de horas calendário previstas.

A unidade de britagem está programada para operar 24 horas por dia. Porém devido às interrupções pela operação e parada para as manutenções, acaba que sua disponibilidade de operação se reduz consideravelmente.

Dados de contagem de tempo de interrupções pela manutenção e pela operação do período correspondente ao primeiro semestre de 2012 foram analisados e são mostrados a seguir. A tabela 1 traz a estratificação dessas interrupções e mostra a indisponibilidade resultante das interrupções pela operação e pelas paradas de manutenção.

Tabela 1: Interrupções da Produção

Interrupção da Produção em relação ao tempo (%)				
Manutenção		Operação		
Preventiva e Corretiva Planejada	Corretiva não Planejada	Entupimento	Ajustes	Falta de minério
9,5	8,5	4,1	8,6	4,3

Percebe-se que as paradas pela manutenção são do tipo corretiva não planejada e preventiva que inclui a corretiva planejada, que passa por uma análise preditiva, esta última com um percentual um pouco maior. É sabido que as interrupções por manutenção corretiva são as que mais impactam na produtividade. Já para as interrupções pela operação, tem-se o problema de entupimento que será descrito nesse trabalho, falta de minério tanto do poço quanto da praça de estocagem (problema que infelizmente faz parte da rotina de trabalho da unidade, pois depende do envio do minério pelo poço e pelo transporte por caminhões do minério de outra mina da empresa até a praça) e por último e mais representativo, os ajustes. Esses ajustes englobam as paradas do silo pulmão vazio, que funciona como “backup” das britagens secundária e terciária; atuação dos extratores de sucatas que precisam de suporte para não permitir que material não britável rasgue as correias; limpeza de braços dos

britadores cônicos para retirar material não britável e não ferromagnético; regulagens de equipamentos e liberação da sala de controle, dentre outros.

A tabela 2 mostra de forma geral a disponibilidade do tempo para a manutenção, para as intervenções pela operação e para a produção de britagem de minério.

Tabela 2: Disponibilidade Global

Disponibilidade Global em relação ao tempo (%)		
Manutenção	Operação	Produção
18,0	17,0	65,0

Pela tabela 2, vê-se que a disponibilidade para a produção no período avaliado foi de 65%. Nesse período também foi registrado uma produção média de 267 tonelada/hora, levando em consideração os dados da indisponibilidade de produção. A produção mensal é de 125.000 tonelada/mês. Enfatizando ainda mais os dados, a previsão de operação da britagem que era de 24 horas, se reduz a 65% desse tempo, ou seja, 15,6 horas efetivamente de produção. O restante do tempo é gasto, praticamente de forma igual, entre manutenções e intervenções de operação.

2.4. ANÁLISE DE INTERVENÇÕES PELA OPERAÇÃO

A seguir são mostrados alguns problemas nos quais há intervenção por parte do pessoal de operação, correspondendo a 17% da indisponibilidade produtiva da britagem no período avaliado, conforme a tabela 2.

Na figura 11 está registrado o problema de entupimento por excesso de umidade do minério vindo do poço. A umidade estabelecida do minério é de 3%, porém nessa situação o percentual de umidade está bem acima. Essa situação causa a interrupção do transportador de correia por sobrecarga de peso, afetando mecanicamente o conjunto de acionamento do transportador; o transbordamento dessa lama (minério altamente úmido) contribui para sujeira do local, criando dificuldade para o acesso da área; a contaminação de outros componentes do transportador de correia, como por exemplo, os roletes, acelerando o desgaste dos mesmos. Caso esse minério prossiga, causa entupimento na grelha ou no britador primário, e se ainda passar, causa maiores danos ao ser armazenado no silo pulmão nessa forma úmida. Do silo pulmão para as britagens secundária e terciária, o minério com excesso de umidade entope as telas das peneiras vibratórias, reduzindo sua capacidade de peneiramento e fazendo o material circular por maior tempo. O correto é esse minério

ser encaminhado para a praça e secar a ação do tempo, conforme é feito, ou então passar por um controle do pessoal do poço antes de subir nesse estado.

Na figura 12 está registrado o momento de entupimento do britador de mandíbulas por matacões. Conforme já dito, o tamanho médio do minério que chega a britagem é de 150 mm, porém o minério oriundo da praça pode possuir granulometria bem superior, como neste caso. Esse problema causa a parada da linha de britagem primária por várias horas. Esses matacões devem ser retirados por pinça hidráulica, e disponibilizar na área da praça um rompedor hidráulico para desfazer os matacões antes que eles entrem na linha de britagem e cause esse entupimento.



Figura 11: Entupimento por excesso de umidade. Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada



Figura 12: Entupimento por matacões

Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada

Um fato inerente à rotina da britagem é a presença de material não britável junto ao minério a ser britado. Conforme dito, há equipamentos como o extrator de sucatas (figura 8) responsável por retirar o material ferromagnético não britável dos transportadores de correia que recebem esse minério

vindo do poço ou da praça. A falha desse equipamento em atuar por estar parado pela operação, ou quando é usado um detector de metais em vez do extrator, que no caso precisa da assistência da operação quando um não britável é capturado, pode ocasionar sérios danos às correias e a linha de britagem ficar para por várias horas até uma emenda ser feita nas mesmas.

A figura 13 registra um material ferromagnético que causou o rasgo da correia que o transportava. O material agarra nas paredes do transportador e em contato com a correia atua como uma lâmina, rasgando-a. Esse material não foi captado pelo detector de metais, por este estar saturado de materiais que não foram removidos pelo pessoal de operação ou o pelo equipamento estar inoperante naquele instante. A solução do problema requer a substituição do detector de metais, que requer a presença da operação para retirar o material capturado, por extrator de sucatas, pois este possui um sistema dinâmico de funcionamento e remove automaticamente o metal capturado. É importante que a operação mantenha esses equipamentos atuando quando o transportador estiver funcionando, ou no caso de manutenção nos mesmos, a linha de transporte seja interrompida até eles entrem em operação novamente. Para agravar a situação de rasgo de correias, esse problema também ocorre quando lamelas do minério, ou seja, em pedras formato de lâminas entram no circuito e agarram nas paredes do transportador provocando o corte da correia. Na figura 14 está registrada essa situação. A operação deve atentar a esse formato de minério, removendo-o ou rompendo-o dependendo do caso.



Figura 13: Rasgo de correia por material metálico. Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada



Figura 14: Rasgo de correia por lamela do minério. Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada

2.5. ANÁLISE DE INTERVENÇÕES PELA MANUTENÇÃO

Pela tabela 2, percebe-se que 18% da indisponibilidade produtiva da unidade de britagem no período avaliado é devida as manutenções. Desse percentual, praticamente a metade é devido a corretivas emergenciais. A seguir são avaliados os impactos causados pelas falhas de equipamentos e soluções são sugeridas. A importância da análise preditiva em identificar se determinado ativo está próximo de falhar é estudada, que caso ocorresse, entraria no grupo de manutenção emergencial. As manutenções preventivas também são exemplificadas.

Como contextualizado na parte de intervenções pela operação, o rasgo de correia paralisa o transportador de correia (figuras 13 e 14) e aquele setor do circuito de britagem fica inoperante. Dependendo do tamanho do estrago à correia, o reparo só poderá ser feito por uma empresa terceirizada. Recai no caso de um reparo emergencial, no qual até o serviço ser contratado e efetuado, várias horas de produção se perdeu dependendo da criticidade do setor na qual aquela correia faz parte. Logo as recomendações já discutidas quanto aos equipamentos auxiliares como extratores de sucatas e atenção do pessoal da operação são de alta relevância para evitar esse transtorno.

Também foi contextualizado o problema gerado pelos matacões que entram no circuito de britagem. Além da perda produtiva causada pelo tempo em que o pessoal de operação gasta para retirar o mataco do circuito de britagem, danos a estrutura física dos transportadores de correia podem ocorrer devido ao peso e ao impacto proporcionado por um mataco ao cair. Pode haver quebras de cavaletes e longarinas que compõe a estrutura física do transportador (figura 15), danos irreparáveis aos roletes (figura 16) que suportam e permitem o movimento da correia, exigindo sua substituição. Dependendo das proporções dos danos, aquele setor do transportador tem que ser reparado para a correia voltar

a operar. As recomendações já discutidas para remoção dos matacões são de relevância para se evitar esses danos aos transportadores de correias, ou, alternativamente, sugere-se alterar a geometria e a abertura da grelha.



Figura 15: Estrutura física do transportador e sustentação da correia. Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada



Figura 16: Rolete de transportador de correia danificado. Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada

Como análises de preditivas realizadas nos equipamentos de britagens, destacam-se: a análise de óleo dos conjuntos moto-redutor dos transportadores de correias e das centrais hidráulicas dos britadores; análises termográficas nos painéis elétricos da central de comando de motores; análise de vibração dos conjuntos moto-redutor dos transportadores de correias; inspeção do sistema de excitação das peneiras vibratórias; e dentre outras análises.

As análises preditivas visam saber se está na hora de programar a intervenção do equipamento e fazer uma manutenção corretiva. Busca reduzir custos de manutenção por preservar a integridade do equipamento e evitar perdas de produtividade pela falha catastrófica.

Há uma série de manutenções preventivas que rotineiramente ocorrem na britagem. Elas têm como objetivo intervir já sabendo o período médio de tempo entre as manutenções nesses equipamentos e manter a saúde e desempenho dos mesmos. Em sua grande parte são trocas de materiais de desgaste por causa inerente do processo, por se tratar de minério que proporciona elevado desgaste abrasivo nos revestimentos dos equipamentos. Exemplos são: Troca de revestimentos de chutes (calhas que transferem minério de uma correia à outra), roletes de transportador de correia, peças de desgaste de britadores e peneiras vibratórias. Também são tratados como preventivas a lubrificação dos elementos rolantes, tais como mancais dos tambores de transportadores de correias, peneiras, motores elétricos de acionamentos, dentre outros.

2.6. FMEA - FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

A ferramenta FMEA (Análise dos Modos e Efeitos das Falhas) é um método de análise de produtos ou processos usados para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema, mediante um raciocínio basicamente dedutivo. É um método analítico padronizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa (Helman e Andery, 1995).

Tem como objetivo, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, evitar que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo, buscando assim, a confiabilidade dos mesmos. Consiste em identificar todos os modos de falha em potencial dentro de um produto ou processo, todas as possibilidades de falhas catastróficas e críticas, de tal maneira que elas possam ser eliminadas ou minimizadas através da correção do projeto do produto ou processo, o mais cedo possível (Helman e Andery, 1995).

No caso da unidade de britagem analisada, aplica-se o FMEA de processo, uma vez que a instalação já está em operação há anos e o objetivo da ferramenta recai em evitar ou reduzir a ocorrência de falhas durante o processo de operação.

A seguir é listado os passos para elaboração e implementação de uma FMEA. É válido destacar que as duas últimas etapas não são feitas por se tratar de uma aplicação inédita na unidade de britagem estudada:

1. Levantamento dos dados do sistema
2. Definição do Item e da função

3. Levantamento dos modos de falha
4. Efeitos e consequências dos modos de falha
5. Causa da falha
6. Avaliação da gravidade da falha
7. Ocorrência da falha
8. Detecção da falha
9. Cálculo do RPN – Risk Priority Number
10. Ações recomendadas
11. Responsável e prazo
12. Resultado das ações

A escala de avaliação da gravidade da falha vai de 1 a 10, sendo desde 1 para falha imperceptível até 10 para falha catastrófica. A escala de ocorrência vai de 1 a 10, sendo 1 para falha muito remota de acontecer até 10 para falha com chance muito alta de ocorrer. A escala de detecção vai de 1 a 10, sendo desde 1 para falha com alta probabilidade de identificação até 10 para falha com chance remota de identificação. O RPN indica o risco da falha para o produto e processo. Os modos de falha com mais alto RPN devem ter prioridade em sua intervenção.

De todos os problemas de operação e manutenção descritos e analisados propondo soluções, a maioria deles recai sobre o transportador de correia (figura 5). Por esse motivo uma FMEA foi aplicada sobre esse equipamento conforme apresentado pela figura 19.

Dos quinze modos de falhas levantados dos subsistemas que compõem o transportador de correias, três deles tiveram o RPN acima de 300 conforme visto na figura 17. Adotando esse referencial como base para tomada de decisão prioritária para intervenção, devem-se aplicar ações para eliminar esses três modos de falhas (MF), são eles: MF3: motor elétrico sobrecarregado, MF5: Redutor com elementos de máquinas danificados e MF11: Correia rasgada por material não britável. Na figura 18 é apresentado o mapa de risco no qual classifica os modos de falha conforme a ação recomendada em escala de prioridade em relação à gravidade e ocorrência dos mesmos.

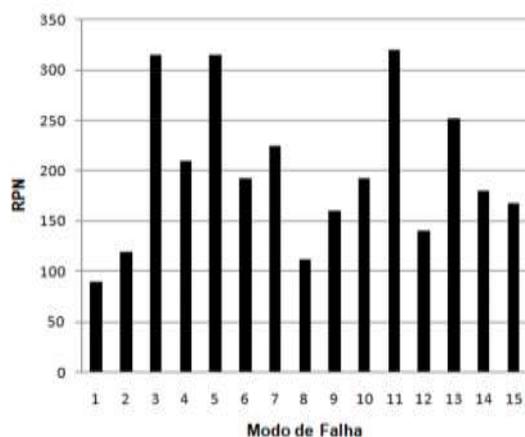


Figura 17: RPN vs MF

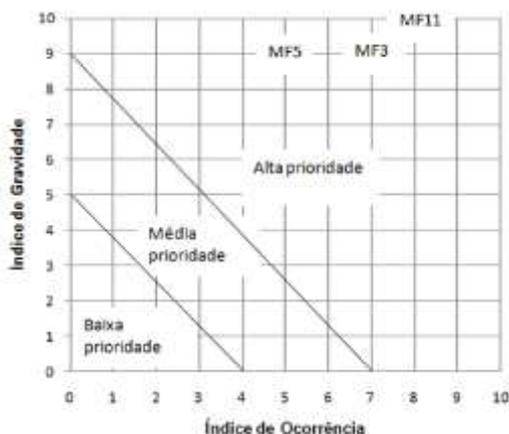


Figura 18: Mapa de Risco

SISTEMA	SUBSISTEMA	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS DA FALHA	ÍNDICE DE GRAVIDADE	ÍNDICE DE OCORRÊNCIA	ÍNDICE DE DETECÇÃO	RPN	AÇÕES (RCM)		
Transportador de Correia	Accionamento	Accionar o transportador de correia com velocidade pré-determinada	Não acciona o transportador de correia com velocidade pré-determinada	1	Motor elétrico queimado	Parada da correia	10	3	3	90	Manutenção corretiva	
				2	Motor elétrico sem energia	Parada da correia	10	4	3	120	Fiscalizar o contrato com a concessionária de energia	
				3	Motor elétrico sobrecarregado	Pode provocar parada da correia e redução de vida útil do motor	9	7	5	315	Manutenção preditiva	
				4	Redutor com vibração por desalinhamento com motor elétrico	Redução de vida útil dos componentes	7	6	5	210	Manutenção preditiva e programar manutenção corretiva	
				5	Redutor com elementos de máquinas danificados	Pode provocar parada da correia e danos aos outros componentes	9	5	7	315	Manutenção preditiva e programar manutenção corretiva	
		Fazer o atrito e contato entre o tambor de accionamento e a correia transportadora	Não faz o atrito e contato entre o tambor de accionamento e a correia	6	Revestimento do tambor solto ou desgastado	Desgaste acelerado e risco de rasgo na correia	8	6	4	192	Manutenção preventiva	
				7	Danos nos mancais de rolamento	Pode provocar parada da correia e danos aos outros componentes	9	5	5	225	Manutenção detectiva	
		Raspador	Fazer limpeza da correia	Não limpa a correia	8	Lâmina desgastada ou danificada	Desgaste acelerado dos tambores e roletes	8	7	2	112	Manutenção preventiva
		Tensionador de correia	Tensionar a correia	Não tensiona a correia	9	Danos nos tambores e nos carros tensionadores	Parada da correia por sobrecarga	10	4	4	160	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva
		Correia transportadora	Conduzir o minério do chute de alimentação até o chute de descarga	Não conduz o minério até o chute de descarga	10	Cavaletes e roletes danificados por quedas de matações	Pode provocar parada da correia e danos a mesma	8	8	3	192	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva
	11				Correia rasgada por material não britável	Vazamento de minério e redução da vida útil	10	8	4	320	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva	
	12				Correia travada por material com excesso de umidade	Parada da correia por sobrecarga	10	7	2	140	Manutenção detectiva e corretiva. Limpeza pela operação	
	13				Correia desalinhada	Pode provocar parada da correia e danos a mesma	9	7	4	252	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva	
		Estrutura	Sustentar o transportador	Não sustenta o transportador	14	Danos na estrutura metálica trilhada por corrosão	Pode provocar parada da correia e danos a mesma	9	5	4	180	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva
		Chutes de alimentação	Receber e alimentar a correia com minério proveniente de outro equipamento	Não recebe e alimenta a correia com minério proveniente de outro equipamento	15	Danos ao chute e seus acessórios de vedação	Vazamento de minério e redução da vida útil de outros componentes por contaminação	7	8	3	168	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva

No mapa de risco (figura18), todos os 15 modos de falhas estão na região de alta prioridade por se tratar de causas comuns e que já aconteceram na unidade e que possuem elevada gravidade, pois se esses modos de falha podem parar o equipamento ou ocasionar danos graves aos seus componentes. Logo, apenas os três modos de falhas com maiores RPN foram indicados no mapa. Nota-se que no cálculo do RPN é levado em consideração o índice de detecção que diferencia os modos de falhas ao serem classificados segundo o mapa de risco que não considera esse índice.

Os três modos de falhas com maiores valores de RPN (valores bem próximos) podem ser analisados com relação ao custo versus valor de RPN, no qual se avalia o custo financeiro envolvido para promover a ação recomendada em relação ao valor do RPN, para evitar que o modo de falha aconteça e caso venha a ocorrer promover a ação para evitar os efeitos da falha. Na figura 20 percebe-se que para neutralizar o modo de falha 3 (MF3), gasta-se pouco em relação aos demais. Isso porque para monitorar a sobrecarga do motor elétrico basta aplicar técnica preditiva (monitoramento da corrente consumida do motor, por exemplo) relativamente mais barata comparada aos custos dos outros dois modos de falhas analisados a seguir. O modo de falha 5 (MF5) possui o maior custo dos três, pois será necessário monitorar o equipamento por técnica preditiva (análise de vibração, por exemplo) e caso seja detectado o problema é necessário a troca preventiva do redutor por outro que tenha no estoque, já que a empresa não faz manutenção do mesmo, exigindo assim mandar o equipamento para fora da empresa para reparo. Já o modo de falha 11 (MF11) possui um custo intermediário, pois é necessário um esforço de detecção pela operação em remover material não britável da correia que tenha passado pelo extrator de sucatas e programar manutenção corretiva para recuperar a correia caso tenha sido rasgada, envolvendo serviço terceirizado de médio custo. Os custos apresentados na figura 20 são apenas sugestivos e a título de exemplificação.

Conclui-se que pela análise de FMEA é prioritário realizar as ações recomendadas para evitar o acontecimento dos modos de falhas MF3 e MF11 e tendo maior recurso financeiro atacar o modo de falha MF5, pois envolve um custo maior.

Na figura 21 é apresentado o diagrama de Pareto relacionando os valores de RPN de forma decrescente e o percentual acumulado do RPN. Percebe-se que para os três modos de falhas abordados anteriormente, a sua somatória de risco corresponde a 32% do risco total. Conclui-se que atacando 20% dos modos de falhas, isto é, 3 modos de falhas de 15 do total, está reduzindo mais de 30% do risco de falha do equipamento.

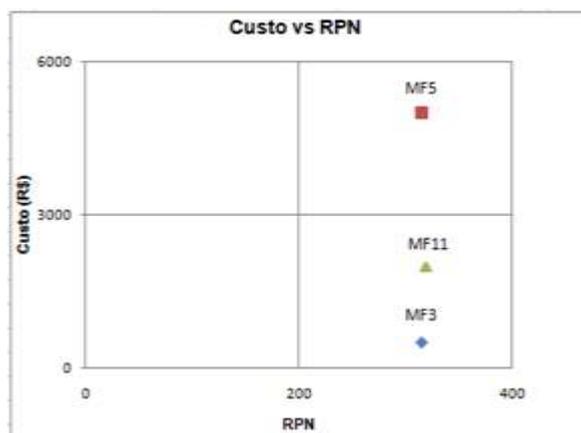


Figura 20: Custo vs RPN

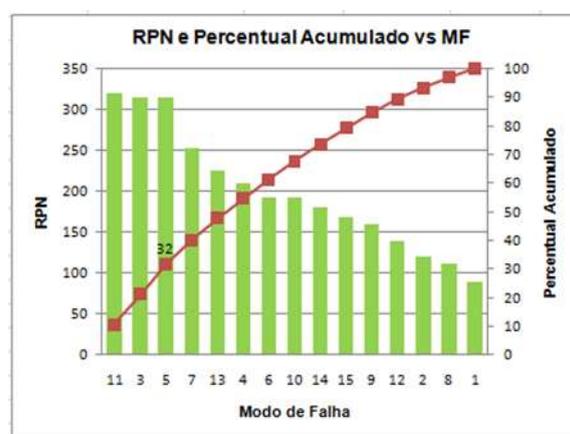


Figura 21: RPN e Percentual Acumulado vs MF

3. CONCLUSÃO

Esse artigo teve como objetivos mostrar o processo de britagem em uma mineradora, problemas de operação, de manutenção e abordagem da ferramenta FMEA. O processo de britagem foi descrito, o fluxograma de processo explicado e os equipamentos típicos e suas respectivas funções mostradas. Os tipos de manutenções realizadas no setor e suas vantagens e desvantagens foram discutidas, sendo necessária uma melhoria no sentido de reduzir os esforços com manutenção corretiva não planejada e intensificar as ações em manutenção preventiva e principalmente em manutenção preditiva.

A relação entre disponibilidade e indisponibilidade pela operação e pela manutenção no processo de britagem foi apresentada. São mostrados os problemas enfrentados pelo pessoal de operação e sugestões para evitar e reduzir os mesmos. Exemplos de manutenções corretivas emergenciais são analisadas e soluções sugeridas. Essas soluções não envolvem grandes investimentos quando comparadas com as perdas por lucro cessante com as interrupções do processo. Trata-se de aquisições

de novos equipamentos, substituições de outros e maior conscientização e treinamento do pessoal de operação. Já para os outros tipos de manutenções foram citadas as principais realizadas no setor, sem a preocupação de análise mais profunda.

Por fim, a ferramenta FMEA foi apresentada e aplicada sobre um transportador de correia, pois foi sobre esse equipamento que recaiu a maioria dos problemas de manutenção e operação do processo de britagem. Mostrou-se a aplicabilidade dessa ferramenta na busca pelas causas e efeitos das falhas, sugestões para priorizar a tomada de decisão para evitar que a falha ocorra com base no grau de risco de interrupção do equipamento e no custo envolvido na realização das medidas sugeridas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAVES, ARTHUR PINTO; PERES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK. Teoria e Prática de Tratamento de Minérios - Britagem, Peneiramento e Moagem, v. 3. 2ª Edição, São Paulo: Signus Editora Ltda, 2003, 425-659p;

HELMAN, HORÁCIO E ANDERY, PAULO R. P. Análise de Falhas: Aplicação dos Métodos de FMEA e FTA, v.11. 1ª Edição, Belo Horizonte: FCO/EEUFMG, 1995, 156p;

METSO MINERALS. Manual de Britagem. 6ª Edição, Sorocaba: Editora Publicação Técnica, 2005, 247p;

PINTO, ALAN KARDEC; XAVIER, JULIO DE AQUINO NASCIF. Manutenção – Função Estratégica. 4ª Edição, Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2013, 440p.