

Tratamento de falhas no setor de britagem primária de uma empresa de mineração: uma contribuição à gestão de manutenção

Failure handling in the primary crushing sector of a mining company: a contribution to maintenance management

Manejo de fallas en el sector de trituración primaria de una compañía minera: una contribución a la gestión del mantenimiento

Recebido: 16/10/2021 | Revisado: 23/10/2021 | Aceito: 01/11/2021 | Publicado: 02/11/2021

Áthila Umbelino Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1112-2612>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Brasil

E-mail: athila1993@hotmail.com

Sinval Pedroso da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3622-3308>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Brasil

E-mail: sinval.pedroso@ifmg.edu.br

Resumo

O objetivo principal deste trabalho foi realizar análise e tratamento de falhas no setor de britagem primária, e verificar suas contribuições para a gestão de manutenção do setor de Planejamento e Britagem de uma empresa de mineração. A análise indicou que o maior número de incidentes corretivos ocorria em um britador giratório primário, que consistia de obstrução na alimentação por blocos de rocha (matacos). Esta obstrução era causada por deformação das placas dos côncavos e folga excessiva em regiões da câmara de britagem. As placas do lado oposto ao deslocamento dos matacos estavam com $1201,3 \pm 2,0$ mm de comprimento, enquanto as placas da região de deslocamento estavam com $1221,0 \pm 8,0$ mm. Com base nessa diferença, foram realizados acompanhamento e inspeções durante o período de quatro meses, por meio de observação e análise de indicadores de falha. As análises indicaram que durante o processo de alimentação do britador, o material com maior granulometria atingia apenas um dos lados da câmara de britagem, a região A, causando maior esforço de compressão nesta região, devido aos impactos dos matacos. Para mitigar esse problema, foi recomendado uma nova resina, com maior resistência à compressão, a qual foi desenvolvida e aplicada nas placas intermediárias dos côncavos. Após a aplicação da nova resina e realização de novas análises dos indicadores de falha, notou-se que os eventos de deformação das placas dos côncavos e folga no britador, foram reduzidos em aproximadamente 66,7%. Esse resultado contribuiu para maior disponibilidade do equipamento e aumento da produtividade no setor de britagem primária da empresa.

Palavras-chave: Análise de falha; Britador giratório primário; Placa dos côncavos; Resinas epóxi éster vinílicas.

Abstract

The main goal of this work was to perform analysis and treatment of failures in the primary crushing sector, and verify their contributions to the maintenance management of the Planning and Crushing sector of a mining company. The analysis indicated that the highest number of corrective incidents occurred in a primary gyratory crusher, which consisted of obstruction in the feed by blocks of rock (boulders). This obstruction was caused by deformation of the concave plates and excessive clearance in regions of the crushing chamber. The plates on the opposite side of the boulders' displacement had a length of 1201.3 ± 2.0 mm, while the plates in the displacement region had 1221.0 ± 8.0 mm length. Based on this difference, follow-up and inspection were carried out during a period of four months, through observation and by failure indicators analysis. The analyzes indicated that during the crusher's feeding process, the material with the highest granulometry reached only one side of the crushing chamber, the A side, causing greater compression effort in this region, due to the impacts of the boulders. In order to mitigate this issue, a new resin, with greater compression strength, was recommended, which was developed and applied to the intermediate plates of the concaves. After applying the new resin and performing further analysis of the failure indicator, it was noted that the deformation and clearance events of the crusher concave plates were reduced by approximately 66.7%. This result contributed to greater availability of the equipment and increased productivity in the company's primary crushing sector.

Keywords: Failure analysis; Primary gyratory crusher; Concave plate; Epoxy vinyl ester resins.

Resumen

El objetivo principal de este trabajo fue realizar análisis y tratamiento de fallas en el sector de trituración primaria, y verificar sus aportes a la gestión de mantenimiento del sector de Planeamiento y Triturado de una compañía minera. El análisis indicó que el mayor número de incidentes correctivos ocurrió en una trituradora giratoria primaria, que consistió en obstrucción en la alimentación por bloques de roca. Esta obstrucción fue causada por la deformación de las placas cóncavas y un espacio libre excesivo en las regiones de la cámara de trituración. Las placas en el lado opuesto al desplazamiento de los bloques de roca tenían una longitud de $1201,3 \pm 2,0$ mm, mientras que las placas en la región de desplazamiento tenían $1221,0 \pm 8,0$ mm. A partir de esta diferencia, se realizó un seguimiento y examen durante un período de cuatro meses, mediante observación y análisis de indicadores de falla. Los análisis indicaron que durante el proceso de alimentación de la trituradora, el material con mayor granulometría alcanzó solo un lado de la cámara de trituración, región A, provocando un mayor esfuerzo de compresión en esta región, debido a los impactos de los bloques de roca. Para mitigar este problema, se recomendó una nueva resina, con mayor resistencia a la compresión, la cual fue desarrollada y aplicada a las placas intermedias de los cóncavos. Después de aplicar la nueva resina y realizar un nuevo análisis de los indicadores de falla, se observó que los eventos de deformación y holgura de las placas cóncavas de la trituradora se redujeron en aproximadamente un 66,7%. Este resultado contribuyó a una mayor disponibilidad de los equipos y una mayor productividad en el sector de trituración primaria de la empresa.

Palabras clave: Análisis de las fallas; Trituradora giratoria primaria; Placa cóncava; Resinas epoxi vinil éster.

1. Introdução

O processo produtivo, anteriormente realizado de forma artesanal, passou por mudanças após a revolução industrial, de modo a necessitar cada vez mais do uso de máquinas e equipamentos. Há algumas décadas, o mercado econômico se tornou cada vez mais competitivo, demandando agilidade e eficiência nos processos produtivos. Para que isso aconteça, são necessários o desenvolvimento e a aplicação de melhores técnicas de manutenção, planejamento e controle dos processos. Com base nestas diretrizes, Monchy (1987, p. 3), descreve que “o termo manutenção tem sua origem no vocábulo militar, cujo sentido era manter nas unidades de combate o efetivo e o material em um nível constante de aceitação”. Conforme a ABNT (1994), a manutenção é definida como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Para Xenos (2014), manutenção é o ato de manter, que significa se esforçar ao máximo para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções, para as quais elas foram projetadas, em um nível de desempenho exigido. De acordo com Kardec e Nascif (2013) e ABNT (1994), o ato de manter ou a manutenção industrial é a garantia e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservar o meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados. Segundo Lafraia (2001) e ABNT (1994), a confiabilidade é uma característica historicamente buscada por projetistas e fabricantes de todos os tipos de sistemas, com o intuito de gerar confiança e durabilidade na operação do equipamento.

A estratégia de disponibilidade do equipamento é fundamental, e inclui não apenas ser eficiente, mas ser eficaz. Isso significa em não limitar somente a reparar o equipamento ou a instalação, mas manter a função do equipamento disponível para a operação, reduzindo a probabilidade de parada de produção ou o não fornecimento de um serviço (Kardec et al., 2002). De acordo com Stoner e Freeman (1994), o planejamento, como sendo o processo de estabelecer objetivos e as linhas de ação adequadas para alcançá-los, deve seguir paralelamente os critérios de eficiência e eficácia, determinando os objetivos certos e escolhendo os meios corretos para alcançá-los. Conforme Rodrigues, *et al.*, (2003, p. 5) para defender a boa gestão, é necessário planejar internamente e externamente: formular estratégias de gestão, ter um grupo de funcionários dedicados e ativos, entender o mercado e a concorrência e posicionar a empresa de acordo com os paradigmas e tendências emergentes.

Assim, de acordo com Macedo (2011), os processos produtivos nas empresas são organizados em hierarquia de prioridades em relação a sua necessidade. Conforme Pinto (2002), o grau de criticidade dos equipamentos define a necessidade de seu monitoramento, que leva em consideração alguns fatores, tais como: a importância do equipamento no processo produtivo, o valor do equipamento, a segurança, o custo de intervenção, a existência ou não de equipamentos reservas, entre

outros. Desta forma, os setores de engenharia de manutenção de britagem geralmente utilizam métodos e critérios de criticidade dos ativos e de gatilhos para definirem se haverá uma análise de falha completa ou não. Isso significa que, quanto mais crítico for o equipamento ou componente, mais indispensável será para o ciclo produtivo. Assim, apesar da definição de criticidade ser complexa, por envolver variáveis e setores diversos, o método ABC se destaca como um dos mais estruturados, o qual faz uso de um sistema de classificação de equipamentos em termos de critérios de gravidade da ocorrência de falhas. De acordo com esses critérios, os ativos podem ser classificados como A, B ou C, onde: **A** se encontram equipamentos com alta prioridade ou confiabilidade máxima; **B** prioridade mediana, ou seja, mesmo sendo importantes, alguns problemas não afetam o processo produtivo, indicando disponibilidade máxima; **C** corresponde à equipamentos com baixa prioridade para o processo ou custo mínimo.

Referente às falhas, conforme Moubray (1997) e ABNT (1994), consistem na interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada em atender o seu propósito específico; o estado de um item refere a condição existente antes da ocorrência da falha e após a falha. Para Pallerosi (2007), a falha completa é o resultado do desvio de características além dos limites especificados, causando perda total da função requerida do equipamento. Para a análise de falhas é necessário planejar e estabelecer critérios, pois, nem sempre é justificável fazer uma análise completa de um evento em função do tempo e de investimentos necessários. Assim, de acordo com Stoner e Freeman (1994), o planejamento é o processo de estabelecer objetivos e linhas de ação adequadas para alcançá-los, e portanto, deve seguir paralelamente aos critérios de eficiência e eficácia, determinando os objetivos ``certos`` e escolhendo os meios ``corretos`` para alcançar esses objetivos.

Outro item importante para as empresas e, especialmente para o departamento de manutenção, é a análise dos indicadores, os quais, de acordo com Pieretti et al. (2020), mostram uma visão gerencial do que está acontecendo individualmente, indicando os pontos mais críticos e onde deve ser feito um trabalho mais incisivo para a melhoria do indicador e do departamento como um todo. Neste aspecto, as empresas de mineração convivem com situações de parada de equipamento, em função por exemplo, do uso inadequado de resinas aplicadas em equipamentos de mineração. Assim, conforme Karl Fink (2018), as primeiras descrições de resinas epóxi estão contidas na publicação da patente alemã 676 117 de 1939, cuja entrada no mercado ocorreu por volta de 1947. Para Ziaee e Palmese (1999), as resinas epóxi éster vinílicas são misturas de estireno com compostos de epóxi metacrilato, denominados compósitos. Os sistemas éster vinil podem ser curados em temperatura ambiente ou elevada, sendo a seleção das condições de cura motivada pelas considerações econômicas e de processamento, as quais afetam o comportamento mecânico (Ziaee & Palmese, 1999). Devido a excelentes propriedades como alta tenacidade, baixo calor exotérmico, baixa contração, baixo peso, as resinas epóxi éster vinílicas possuem diversas aplicações como: em revestimentos, peças automotivas, área militar, aeroespacial, marítima e pontes (Dua et al., 1999; Yadav et al., 2018).

Diante das informações apresentadas, o objetivo principal deste trabalho foi analisar como o sistema eficiente de tratamento de falhas pode contribuir para a gestão de manutenção do setor de Planejamento e Britagem de uma empresa de mineração. Para isso, foram realizadas pesquisas para identificar qual era o maior número de ocorrências de falhas que existia no setor de britagem primária na ocasião. Assim, após a coleta de informações, através do banco de dados da empresa de mineração e de reuniões diversas com especialistas das áreas, foi identificado que um dos problemas principais que existia no setor era a obstrução por matacos que ocorria na câmara de britagem do britador giratório primário, a qual era causada principalmente pela deformação das placas dos côncavos do britador. Posteriormente foi elaborado um plano de ação afim de mitigar a falha identificada, que após ter sido solucionada, foi monitorada por meio do acompanhamento do desempenho do equipamento.

2. Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho foi o tipo de pesquisa qualitativa e quantitativa, as quais conforme Yin (2001) podem se complementar e permitir um melhor entendimento dos fenômenos em estudo. Inicialmente foi realizado diversas pesquisas na literatura, tais como em artigos científicos, dissertações, teses, catálogos de fabricantes, e que estão disponíveis em base de dados, como o portal CAPES, SciELO, *Google Scholar* e repositórios de instituições acadêmicas. Foram realizadas também reuniões diversas com especialistas da empresa de mineração, ambas com a finalidade de definir uma linha de pesquisa para este trabalho. Algumas das pesquisas foram realizadas na base de dados da empresa de mineração, com o intuito de verificar onde existia o maior número de ocorrências de falhas, para que pudessem ser tratadas por meio de análise sistemática de falhas. Algumas das palavras-chave utilizadas na busca foram: análise de falha, britadores, confiabilidade, manutenção de equipamentos, entre outras.

Referente à análise de falhas, os setores de Planejamento e Controle da Produção (PCP) de empresas de mineração utilizam geralmente o seguinte método para atender aos relatórios gerenciais: (i) investigação profunda, a partir da descrição da ocorrência de falha, a fim de obter o máximo de informações possível; (ii) análise das últimas ocorrências de falhas, as quais podem ter relação com a nova ocorrência; (iii) investigar a existência de plano de manutenção preventiva, o qual pode impedir que a falha ocorra. Caso não exista um plano de manutenção, é realizado um processo de avaliação do evento e o diligenciamento de ações para que não haja reincidência de ocorrências da falha.

Diante da metodologia estabelecida, foram realizados o levantamento de dados e as análises relacionadas a eventos anteriores ocorridos no setor de britagem primária da empresa de mineração. A análise se baseou em resultados de custo de manutenção e horas de inatividade de um britador giratório primário, a qual possibilitou definir o problema. Na sequência, este trabalho foi direcionado para a engenharia de confiabilidade, onde foram selecionadas algumas ferramentas para a análise e solução de problemas, dentre elas o plano de ação. Com base nos dados e informações coletadas, foram selecionadas outras ferramentas, com o intuito de: (i) priorizar as causas consideradas mais impactantes, as quais passaram por uma análise de falha minuciosa; (ii) definir um plano de ação a ser seguido.

O plano de ação foi elaborado com base em incidentes anteriores de falhas no setor de britagem primária, em especial, para identificar as possíveis causas de deformação dos côncavos. A Tabela 1 mostra o plano de ação elaborado. Nota-se que a malha de detonação é de grande importância para o processo de britagem primária, pois a forma de detonação da rocha influencia diretamente as dimensões dos matacos, os quais são transportados diretamente para alimentar o britador. Foi analisada a forma de carregamento dos caminhões fora-de-estrada, com o intuito de constatar se havia uma distribuição uniforme do material na caçamba desses caminhões. Houve a necessidade de avaliar o basculamento dos caminhões fora-de-estrada no britador, para averiguar o local onde concentrava a maior parte do material no britador e, conseqüentemente, qual região do britador concentrava o maior impacto de matacos. Após todas essas observações, foi realizada análise da composição química da resina usada até então, para certificar se ocorria alguma alteração em sua composição. Após obter os resultados da análise, que indicou a necessidade de substituição da resina, foram programadas a troca dos côncavos e a aplicação de uma nova resina, que possuía maior resistência à compressão em relação à anterior. Em seguida, a nova resina foi cadastrada no banco de dados da empresa e liberada para uso.

Tabela 1. Plano de ação para o modo de falha identificado.

Ação	Responsável
Verificar a malha de detonação	Especialista de manutenção
Verificar a forma de carregamento dos caminhões fora-de-estrada	Especialista de manutenção
Analisar o basculamento dos caminhões fora-de-estrada no britador	Engenheiro de manutenção
Analisar a especificação técnica da resina utilizada anteriormente	Engenheiro de produção / fornecedor
Programar a troca de côncavos e a aplicação da nova resina	Especialista de planejamento e manutenção
Validar a nova resina por meio de inspeção mensal dos côncavos	Engenheiro de manutenção
Cadastrar e liberar para uso a nova resina	Especialista de planejamento e manutenção

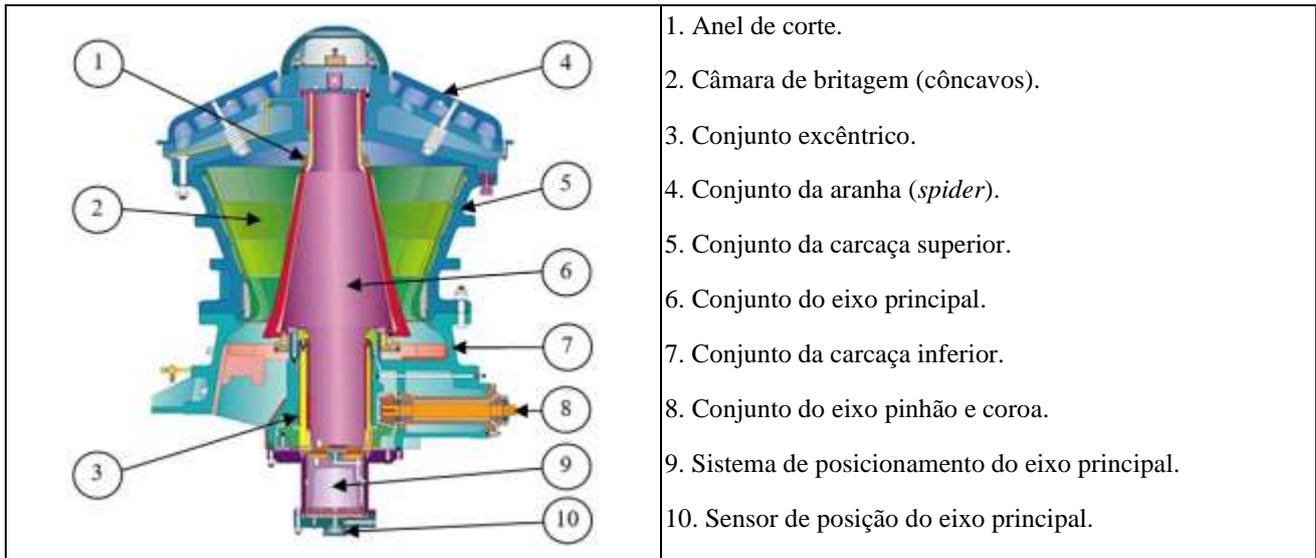
Fonte: Autores.

Após a realização dessas análises, a próxima etapa executada foi a caracterização do equipamento.

2.1 Caracterização do equipamento

O equipamento objeto deste trabalho foi um britador giratório primário (Figura 1), fabricante Metso, o qual é utilizado no segmento de mineração para a britagem primária de granulados e possui abertura de alimentação de 1524,0 mm (60 polegadas) e diâmetro na base do manto de 2260,6 mm (89 polegadas) (Metso, 2005). Os componentes principais do britador, incluem: o anel de corte, cuja função é realizar a regulagem da abertura na entrada do britador, mantendo o ajuste constante ao redor de toda a câmara de britagem; a câmara de britagem e os côncavos, geralmente fabricados de aço ao manganês e chapas com espessura de 2 polegadas (50,8 mm), locais onde se aplica o revestimento de resina no britador, pois são regiões onde ocorre desgaste por impacto e por abrasão, tendo em vista que fazem a interface com o material a ser britado; o conjunto do excêntrico, que garante que o eixo principal gire excentricamente, tornando possível a britagem do material; o conjunto da aranha (*Spider*), responsável pela fixação do eixo principal, de forma a mantê-lo no centro; o conjunto da carcaça superior, cujas funções são acoplar-se ao conjunto da aranha e acomodar os côncavos a serem revestidos; o conjunto do eixo principal, responsável pelo acionamento do equipamento, comprimindo o material contra a parede do britador, e possibilitando, assim, a britagem; o conjunto da carcaça inferior, que realiza a proteção dos componentes inferiores do britador; o conjunto do eixo pinhão e coroa, que transfere o movimento para o eixo principal, por meio de engrenamento do tipo pinhão-coroa; o sistema de posicionamento do eixo principal, responsável pela fixação da parte inferior do eixo principal.

Figura 1. Vista esquemática do britador giratório primário e seus principais componentes.

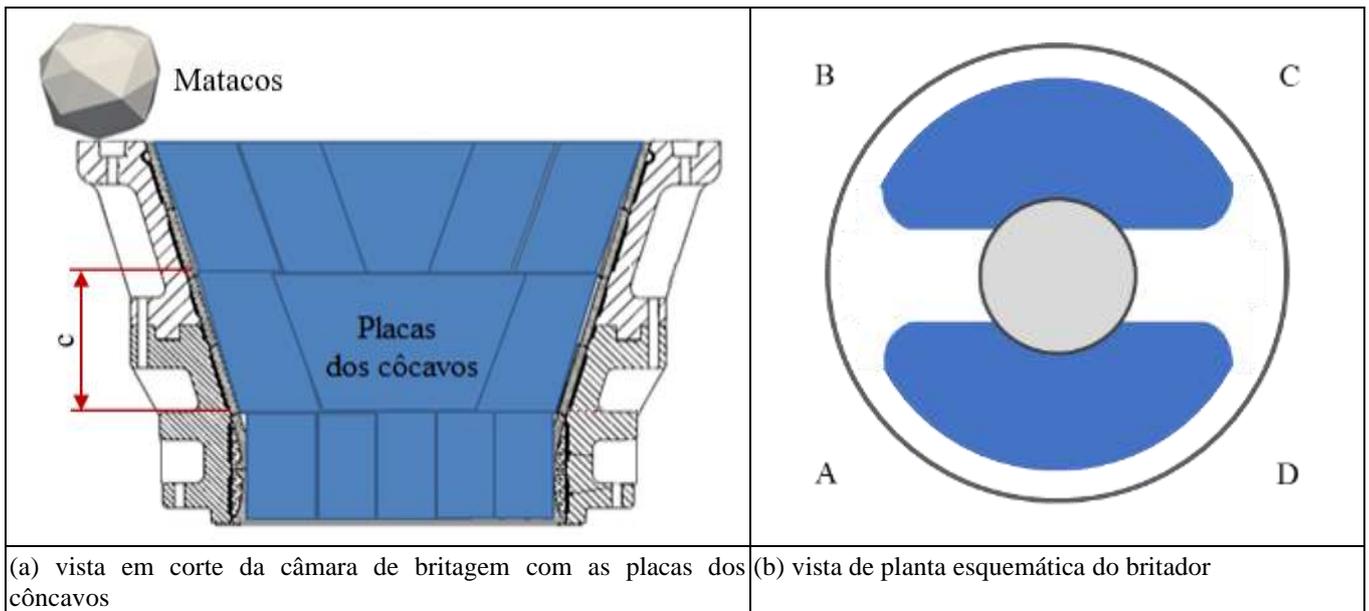


Fonte: Metso (2005) (adaptado).

3. Resultados e Discussão

Após a realização das análises e inspeção do britador giratório primário, notou-se diferença de medidas de comprimento (c) das placas dos côncavos da região A em relação aos lados B, C, D. As placas da região A tinham medida (c) de $1221,0 \pm 8,0$ mm, conforme mostrado na Figura 2, enquanto as placas das regiões opostas C e D tinham medida de $1201,3 \pm 2,0$ mm.

Figura 2. Britador giratório primário: (a) vista em corte da câmara de britagem; (b) vista de planta do britador com a indicação das regiões A, B, C, D.

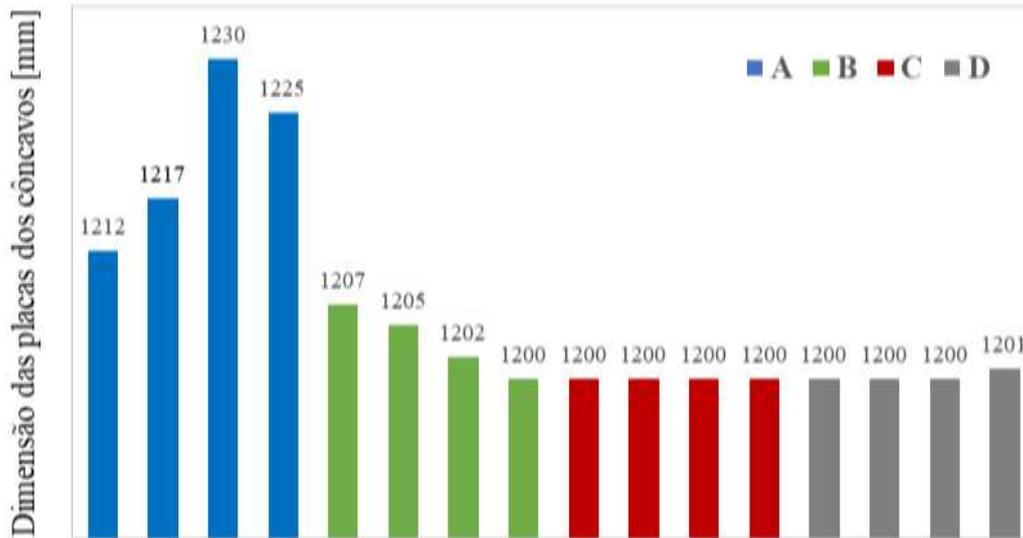


Fonte: Metso (2005) (adaptado).

Após a identificação da diferença de medidas do comprimento das placas dos côncavos do britador, foi realizado um acompanhamento da deformação dessas placas por um período de quatro meses. Os resultados deste acompanhamento foram

apresentados em forma de gráfico, conforme pode ser visto na Figura 3. Nota-se maior dimensão das placas dos côncavos localizadas na região A, as quais se encontravam com valor médio de $1221,0 \pm 8,0$ mm, enquanto as placas das regiões B, C e D (regiões que não ocorriam o deslocamento dos matacos), possuíam medida de $1201,3 \pm 2,0$ mm, indicando deformação das placas da região A.

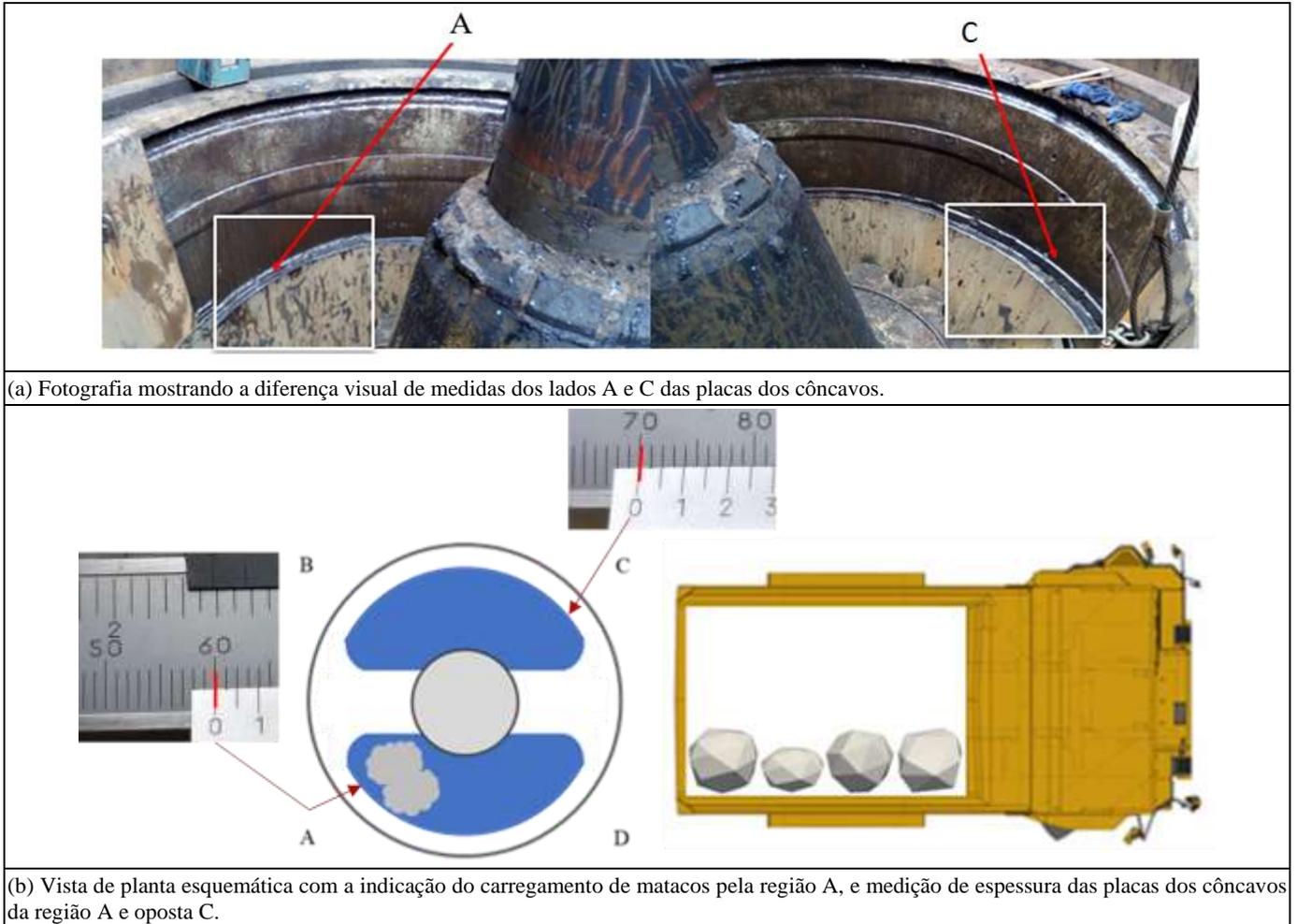
Figura 3. Perfil com as medidas das placas dos côncavos do britador giratório primário [mm].



Fonte: Autores.

Na sequência, foi realizada a medição em campo da espessura dos côncavos, conforme pode ser visto na Figura 4 (a e b). Nota-se na Figura 4(a) a diferença visual de dimensão das placas do côncavo da região A, onde existe a ocorrência de maiores esforços de britagem, em relação ao lado C, onde não se observa a projeção de matacos que, por consequência, geram menores esforços de britagem. A medida da placa intermediária da região A possuía dimensão de 60 mm, enquanto do lado C possuía dimensão de 70 mm, conforme mostrado na Figura 4(b). Isso corrobora os dados até o momento de deformação dos côncavos do britador giratório primário da região A.

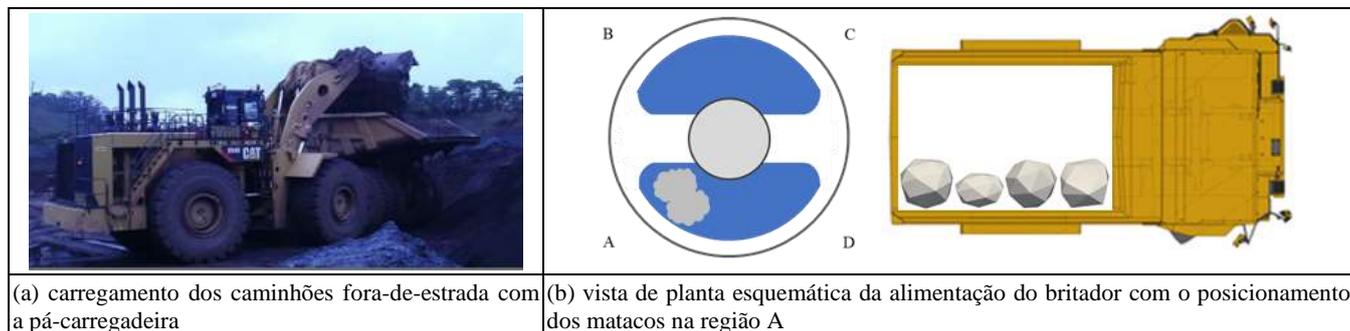
Figura 4. Análise dos côncavos do britador giratório primário: (a) fotografia das regiões A e C das placas dos côncavos; (b) vista de planta esquemática com a indicação do carregamento pela região A e medição de espessura das placas dos côncavos.



Fonte: Autores.

Para entender o porquê desta diferença de medidas, foi realizada análise do modo de carregamento do britador giratório primário. Notou-se que, em comum, o carregamento dos caminhões fora-de-estrada era realizado com pás-carregadeiras, e sempre feito pelo lado esquerdo da caçamba do caminhão fora-de-estrada, ou seja, o lado do operador, conforme mostrado na Figura 5(a). Diante disso, e pelo fato da maioria dos matochos terem geometria arredondada, eles tendem a rolar e se acomodar no lado direito da caçamba do caminhão e, ao ser basculado na entrada do britador, os matochos são direcionados primeiramente na região A, conforme ilustrado na Figura 5(b). De acordo com Luz, Sampaio & França (2010), os materiais rochosos em sua maioria deformam-se de forma elástica, até muito próximo do instante da ruptura, mas em alguns casos, podem apresentar comportamento inelástico, resultando em deformação permanente devido a aplicação de esforços, o que pode ocorrer durante o processo de alimentação do britador. A partir dessas observações, foi possível identificar que o problema ocorria devido ao basculamento de material sempre na mesma região, A, no qual ocorria os maiores esforços de compressão, resultando em deformação e folga excessiva nas placas dos côncavos desta região.

Figura 5. Carregamento e alimentação do britador giratório primário: (a) carregamento dos caminhões fora-de-estrada com a pá-carregadeira; (b) vista de planta esquemática do processo de alimentação do britador.



Fonte: Autores.

Após a identificação do que causava a deformação das placas dos côncavos do britador giratório primário, foi obtido uma amostra da resina, que era utilizada tanto para o revestimento superficial das placas dos côncavos quanto para o preenchimento das folgas entre os côncavos, a qual foi enviada para o fabricante para a realização de análise de composição, com o intuito de identificar possível irregularidade. Um dos objetivos do uso desta resina é o de anular ou reduzir a deformação nos côncavos e, uma alteração em sua composição poderia afetar diretamente em sua eficácia. A resina utilizada era do tipo epóxi éster vinílica, referência comercial Metso Minerals Nordmix. Análises preliminares da resina indicaram que a mesma não possuía nenhuma especificação sobre sua resistência a compressão, mas sim apenas informações básicas, como a densidade de 1,16 g/ml à 20 °C, as quais eram insuficientes para análise de falha. Outro fato que foi observado durante as análises realizadas pelos engenheiros de manutenção, é que a granulometria do material (matacos) era maior do que o recomendado pelos especialistas da empresa, causando dificuldades de enchimento do britador. Portanto, a resina usada para o revestimento dos côncavos, não era adequada para resistir aos esforços de compressão que eram exercidos sobre ela, resultando em deformação, folgas excessivas e aumento do comprimento das placas dos côncavos, além de desgaste por abrasão prematuro das placas.

Diante das análises realizadas, foi recomendada a utilização de uma nova resina, tendo em vista que a deformação e o desgaste por abrasão dos côncavos possivelmente ocorriam devido à baixa resistência à compressão da resina usada até então. Desta forma, foi necessário a busca e aplicação de uma nova resina, especialmente para atender ao requisito resistência à compressão, a qual foi definida após consultas realizadas com alguns fabricantes. Assim, foi selecionado a resina epóxi éster vinílica Derakane (DOW, 2002), conforme a especificação técnica mostrada na Tabela 2. De acordo com (DOW, 2002) as resinas epóxi éster vinílicas Derakane possuem alta resistência à corrosão, e são especialmente indicadas para condições críticas e requisitos industriais severos.

A preparação da resina foi realizada em temperatura ambiente de 25 °C e com reação de endurecimento de aproximadamente 20 min, com tempo de cura total de 8 h à 25 °C. Após a preparação da superfície das placas dos côncavos, que consistiu de limpeza e secagem, foram aplicados quatro baldes da resina Derakane epóxi éster vinílica, 20 kg cada. A aplicação foi realizada em temperatura ambiente de 30 °C (Ziaee & Palmese, 1999), com o uso de rodo e rolo, com o espalhamento da resina realizado uniformemente em toda a superfície das placas dos côncavos do britador primário.

Tabela 2. Especificação técnica da nova resina aplicada nos côncavos do britador giratório primário.

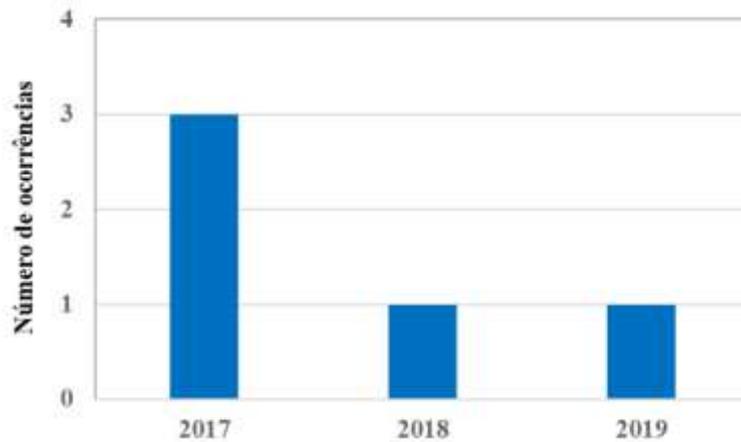
Característica	Especificação
Resina	Epóxi éster vinílica Derakane
Referência comercial	Metso-Plastic Faço Ultra
Densidade	1,16 g/ml a 20 °C
Resistência a compressão (IPT ABNT NBR 7215:2019)	110,97 Mpa (16.095 Psi)
Dureza (IPT ABNT NBR 7215:2019)	90 Shore
Viscosidade (medida a 25 °C)	10.000 - 13.000 Cps
Tempo de cura total (medido a 25 °C)	8 h

Fonte: Dow (2002) (adaptado).

Após a aplicação da nova resina nas placas dos côncavos, foi realizada a análise de recorrência do problema durante o período de trinta dias, no ano de 2018. O número de ocorrências de deformação dos côncavos foi comparado com os ocorridos no ano anterior (sem a substituição da resina), conforme mostrado na Figura 6, e posteriormente foi monitorado até o final de 2019. Nota-se redução de 66,7 % do número de ocorrências de 2018 e 2019 em relação à 2017. Este resultado corrobora as informações de (ASM International, 2001) que a resina epóxi éster vinílica, se adequadamente selecionada, terá bom desempenho em muitas aplicações, inclusive em ambientes mais agressivos. Diante destes resultados, foi realizado o cadastro da nova resina no sistema da empresa, a qual foi liberada para uso.

Os resultados deste trabalho indicam que a partir da seleção e uso de ferramentas apropriadas de gestão da manutenção, como análise de falhas, é possível obter maior disponibilidade dos ativos da empresa, contribuindo para redução de custos e aumento de produtividade. Isso corrobora as informações de Souza (2008, p. 66), que a gestão da manutenção se inicia na definição da concepção, e deve estar relacionada a todo o conjunto de ações, decisões e definições sobre tudo que se tem que realizar, possuir, utilizar, coordenar e controlar, para gerir os recursos fornecidos para a função manutenção e, receber assim os serviços esperados por ela. Outro fator importante é o contato constante com os fornecedores e a busca por soluções apropriadas, uma vez que a seleção e aplicação de uma nova resina contribuiu para a prevenção de incidentes recorrentes no setor de britagem primária analisado. Esta solução contribuiu para evitar a substituição desnecessária das placas dos côncavos e do anel de corte do britador, pois, a deformação das placas pode causar trincas ou até mesmo a quebra de componentes, como o anel de corte, o que resultaria em custos mais elevados para a empresa e em mais horas de equipamento parado para manutenção.

Figura 6. Número de ocorrências de deformação dos côncavos do britador giratório primário.



Fonte: Autores.

4. Considerações Finais

Foi possível identificar com este trabalho, a importância do sistema de tratamento de falhas e da engenharia de confiabilidade, aplicados no setor de britagem primária de uma empresa de mineração, e suas contribuições para a gestão de manutenção. Foi constatado que o maior número de incidentes corretivos, em média 3 ocorrências por ano, aconteciam no britador primário. Notou-se que estes incidentes de falhas eram sempre originados pela deformação e folga excessiva nos côncavos, causados pelos impactos dos maticos durante o processo de alimentação do britador, resultando em maiores esforços de compressão em determinada região das placas dos côncavos. A partir de observação e análise de falha, foi constatado que o problema ocorria devido a baixa resistência à compressão da resina utilizada.

Após contato com um novo fornecedor, foi possível desenvolver e selecionar uma nova resina, que possuía maior resistência à compressão, contribuindo assim para a redução da ocorrência desta falha em aproximadamente 66,7 %. Este resultado contribuiu para o aumento considerável da disponibilidade física e confiabilidade do britador e, conseqüentemente, para o aumento de produtividade do setor de britagem primária da empresa.

Por fim, com base na metodologia utilizada para a análise de falhas, e na seleção e uso de ferramentas adequadas, tanto na investigação de ocorrências de falhas quanto no desenvolvimento do processo de análises, foi possível contribuir para a eficácia do tratamento de falhas.

Como trabalho futuro, recomenda-se utilizar esta metodologia para a identificação e análise de falhas em outros setores e/ou equipamentos, inclusive de outros segmentos, como a siderurgia. Outro trabalho que pode ser realizado é a análise de falhas em caminhões fora-de-estrada, uma vez que foi identificado neste trabalho o acúmulo de maticos no lado direito do caminhão, o que pode ocasionar problemas em alguns sistemas, tais como a suspensão, nos amortecedores, desgaste irregular da caçamba e de pneus, entre outros, os quais devem ser analisados e mitigados.

Referências

- ABNT. (2019). NBR 7215: 2019. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ABNT. (2019). NBR 5462: 1994. Confiabilidade e manutenibilidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- Ashland. (2016). Derakane epoxy vinyl ester resins chemical resistance guide: resin selection guide for corrosion resistant FRP applications.
- ASM International. (2001). AMERICAN SOCIETY FOR METALS. 6. Composites.
- DOW. (2002). Resinas epóxi éster vinílicas DERAKANE - manual de engenharia e resistência química (p. 48). The Dow Chemical Company.

- Dua, S., McCullough, R. L., & Palmese, G. R. (1999). Copolymerization kinetics of styrene / vinyl-ester systems: low temperature reactions. *Polymer Composites*, 20(3), 379–391.
- Kardec, A., Nascif, J., & Baroni, T. (2002). *Gestão da Manutenção e Técnicas Preditivas*. Editora Qualitymark.
- Kardec, A., & Nascif, J. (2013). *Manutenção: Função Estratégica*, (4a ed.) Editora Qualitymark, coleção.
- Karl Fink, J. (2018). *Reactive Polymers: fundamentals and applications*. In *Reactive Polymers Fundamentals and Applications* (Third edit). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/c2017-0-01641-5>
- Lafracia, J. R. B. (2001). *Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade*. Qualitymark.
- Luz, A. B. da, Sampaio, J. A. & França, S. C. A. (2010). *Tratamento de minérios*. (5a ed.) CETEM-Centro de Tecnologia Mineral / MCT. 965 p.
- Macedo, M. A. S. (2011). *Contribuição metodológica para a determinação da criticidade de equipamentos na gestão da manutenção*. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- Metso. (2005). *Manual de britagem*. (6a ed.), Metso Minerals.
- Monchy, F. (1997). *La fonction maintenance*. Masson.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance*. (2a ed.), Industrial Press Inc.
- Pallerosi, C. (2007). *Confiabilidade, a quarta dimensão da qualidade*. 1. *Mantenabilidade e disponibilidade*. ReliaSoft Brasil.
- Pieretti, R. F., Silva, M. M. da, Lesme, D. A. S., & Almeida, M. V. de. (2020). Análise de indicadores de desempenho individual aplicado a manutenção industrial. *Research, Society and Development*, 9(6), e129963660. [10.33448/rsd-v9i6.3660](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3660).
- Pinto, C. V. (2002). *Organização e gestão da manutenção*. Monitor, 255p.
- Rodrigues, L. C., Depiné, G. C. L., Almeida, M. I. R., & Riscarolli, V. (2003). *Estratégia de implementação do plano estratégico*. Asamblea Del Consejo Latino Americano de Escuelas de Administracion.
- Souza, J. B. (2008). *Alinhamento das estratégias do planejamento e controle da manutenção (PCM) com as finalidades e função do planejamento e controle da produção (PCP): uma abordagem analítica*. 169f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.
- Stoner, J. A. F., & Freeman, R. E. (1994). *Administração*. LTC Editora.
- Xenos, H. G. D. (2014). *Gerenciando a manutenção preventiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade*. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora Falconi.
- Yadav, S. K., Schmalbach, K. M., Kinaci, E., Stanzione, J. F., & Palmese, G. R. (2018). Recent advances in plant-based vinyl ester resins and reactive diluents. *European Polymer Journal*, 98(June 2017), 199–215. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.11.002>
- Yin, R. K. (2001). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Bookman.
- Ziaee, S., & Palmese, G. R. (1999). Effects of temperature on cure kinetics and mechanical properties of vinyl-ester resins. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 37(2–7), 725–744. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-0488\(19990401\)37:7<725::aid-polb23>3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-0488(19990401)37:7<725::aid-polb23>3.0.co;2-e)