

A UTILIZAÇÃO DO CICLO PDCA PARA MELHORIA DA QUALIDADE NA MANUTENÇÃO DE SHUTS

Alyson Da Luz Pereira Rodrigues¹
Mariene Silva Santos²
Mayanne Camara Serra³
Eduardo Mendonça Pinheiro⁴

RESUMO: A busca pela perfeição em termos de qualidade, manutenção e confiabilidade é uma das condições básicas para que as empresas se mantenham competitivas no mercado e, para isso, existem métodos que ajudam a alcançar tais condições, como o método PDCA. O objetivo desta pesquisa é aplicar o ciclo PDCA para aumentar a produtividade em atividades de manutenção de *Shuts* de correias transportadoras. Por meio de um estudo de caso, foi apresentado o uso do revestimento interno (*Chock Bar*) na aplicação de *Shuts* de correias transportadoras, no cenário produtivo de uma empresa mineradora de grande porte, para garantir a máxima disponibilidade sem causar impactos na produção. Após a descrição de todas as etapas do ciclo PDCA através do estudo realizado, a identificação de causas de problemas quanto a manutenção de correias transportadoras, além da identificação e implantação de melhorias, foi um dos principais benefícios da aplicação da metodologia.

Palavras-chave: Manutenção; PDCA; Qualidade; Shuts.

¹ Faculdade Pitágoras, Brasil. E-mail: alisonluz93@outlook.com

² Faculdade Pitágoras, Brasil. E-mail: mariene_ss@hotmail.com

³ Universidade Estadual do Maranhão, Brasil. E-mail: may.produto@gmail.com

⁴ Faculdade Pitágoras, Brasil. E-mail: eduardomp1979@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

As empresas do setor de mineração do Brasil deram início a uma corrida para antecipar o máximo aproveitamento de suas reservas. Diante disso, custos elevados referentes à abertura de novas minas, ciclos médios de cinco anos para implantação dos investimentos e barreiras relacionadas ao contexto ambiental, despertaram nessas empresas a necessidade de aumentar a eficiência das operações já existentes (GOLDSTEIN, 1999; STUBRIN, 2017).

No setor industrial em mudança e cada vez mais competitiva, as empresas estão se esforçando para a competitividade de classe mundial. Isso também coloca a manutenção sob pressão crescente para melhorar, por exemplo, disponibilidade e confiabilidade das instalações de produção, e reduzir custos e resíduos. Com a introdução de manutenção centrada na confiabilidade, manutenção produtiva total, manutenção centrada no negócio e outros conceitos, a manutenção já evoluiu muito nas últimas décadas (WAEYENBERGH; PINTELON, 2009; REMÉNYI; STAUDACHER, 2014).

Conforme descrito por Nascif e Dorigo (2010), o gerenciamento adequado do processo de manutenção é importante para assegurar o bom desempenho das operações. Visando maior interação entre as áreas, as empresas têm posicionado seus processos de manutenção como uma função da organização que deve gerar produtos, atender a clientes internos e atingir metas específicas de efetividade.

Márquez et al. (2009) afirmam que o estabelecimento de planejamento, rotina, controles e melhorias para a manutenção permitem alcançar eficiência em termos de disponibilidade dos ativos, com qualidade elevada e custos competitivos. Para tanto, é necessário definir uma estratégia de manutenção adequada para as necessidades específicas da empresa (MAIA *et al.*, 2016).

De modo geral, para conduzir um bom gerenciamento, é necessário aprender a localizar os problemas e então resolvê-los. Com base nisso, é válido acrescentar que operações de manutenção bem-sucedidas levam a benefícios, como redução em tempos de inatividade, aumento da produtividade e permanência do nível funcional de produtos (TAKATA *et al.*, 2004). Portanto, são crescentes os estudos que visam a orientação das empresas para o adequado gerenciamento de seus processos. Nessa perspectiva, existem diversas metodologias e suas respectivas ferramentas capazes de auxiliar em processos de gestão, nos quais se inclui os da manutenção. Uma metodologia de grande impacto na área é o Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*), que, de acordo com Marshall Junior et al. (2008), é um método gerencial para

promoção da melhoria contínua e reflete, em suas quatro etapas integradas, a base da filosofia do melhoramento contínuo através de planejamento, execução, verificação e ação corretiva.

Com base no contexto apresentando, este artigo tem o objetivo geral aplicar o ciclo PDCA visando o ganho de produtividade em atividades de manutenção, mais especificamente no uso do revestimento interno (*Chock Bar*) na aplicação de *Shuts* de correia transportadora na realidade de uma mineradora de grande porte.

Considera-se relevante o estudo do tema PDCA devido à sua importante contextualização em organizações. O estudo se justifica, também, devido à aplicabilidade em outros sistemas de produção semelhantes, seguindo a necessidade de disseminar esse método cada vez mais. E, quanto ao setor de mineração, a tendência é que os minerais cresçam em importância nas próximas décadas por sua aplicação em produtos de alta tecnologia e, portanto, são válidos os estudos que visam o aumento da eficiência de operações relacionadas a esse setor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O mercado de mineração no Brasil e no mundo

A indústria de mineração, como qualquer outro ramo de atividade econômica, tem como um de seus objetivos básicos maximizar a sua riqueza futura. Entretanto, a indústria de mineração é caracterizada por visar ao aproveitamento econômico de um bem de capital exaurível e não renovável, o que a diferencia de outros tipos de indústrias. Assim, a maximização da riqueza futura deve se realizar em um período definido e durante a existência do bem mineral que lhe deu origem (COSTA, 1979).

No leque de *commodities* há o minério de ferro, sendo que esse minério do Brasil é considerado um dos melhores do mundo devido possuir maior teor de ferro contido, que é superior a 60% geralmente. Desta forma, o Brasil é um importante *player* na indústria mineral mundial, porém o país ainda é dependente de alguns minerais estratégicos para a economia. Um aspecto importante é que o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, sendo responsável somente por 2% da produção mundial, importando 91% do potássio e 51% do fosfato necessários (Instituto Brasileiro de Mineração - IBM, 2012).

De acordo com informações do Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos do Bradesco (DEPEC, 2015), até o ano de 2009, o minério de ferro era negociado entre exportadores brasileiros e australiano com importadores japoneses, chineses e europeus, em um período anual, mais especificamente entre os meses de novembro e dezembro. A negociação

poderia se estender até o primeiro trimestre do ano posterior e os preços definidos passavam a vigorar a partir do primeiro dia de abril do próximo ano.

Em 2008, o Produto Interno Bruto - PIB do setor mineral atingiu o valor de US\$ 69 bilhões, com participação de 4,2% no PIB nacional, sendo 1,1% referente à mineração e 3,1% à transformação mineral. Tomando-se como referência o PIB industrial, a participação conjunta da mineração e da transformação mineral atingiu 14% (Ministério de Minas e Energia - MME, 2010). Devido às suas características territoriais vastas, além de ser uma plataforma continental e possuir uma exclusiva zona econômica, o Brasil tem um lugar de destaque no setor mineral do mundo. Essas características advêm de diferentes formações geológicas e territórios com vários minérios, gerando uma produção em torno de 23 (vinte e três) substâncias metálicas, 45 (quarenta e cinco) não metálicas e 04 (quatro) energéticas, no total aproximado de 72 (setenta e duas) substâncias minerais (IBM, 2012).

Conforme informações do governo federal brasileiro pelo Alice Web (2015), entre o início do ano de 2012 e meados do ano de 2015, foi gerado o montante de U\$\$ 14.918.372.877 devido à exportação de minério de ferro para a China, que é o maior importador mundial desse minério. Essa comercialização ocorreu no regime *Incoterm Free on Board* (FOB), o que significa que o exportador se compromete a entregar a carga no meio de transporte definido, no caso navios, enquanto o importador se comprometer em arcar com os custos de transporte e seguro da carga.

2.2 A logística brasileira de transporte de minério de ferro

Em diversos países do mundo, os modais de transporte hidroviário, ferroviário e rodoviário convivem de forma harmônica, lado a lado, cada um utilizado para transporte do tipo de carga para o qual é mais adequado. Geralmente, as cargas que se constituem em grandes volumes e de baixo valor agregado, a exemplo dos grãos, agregados para construção, carvão, entre outros, são geralmente transportados através das hidrovias, em face de seu custo unitário menor (CALABREZI, 2007).

O Brasil é o segundo maior exportador de minério de ferro do mundo, ficando atrás da Austrália. Nesse cenário, a mineradora, de que trata este estudo, possui uma ampla rede logística envolvida na produção, transporte e escoamento do minério de ferro. A rede é formada pelos sistemas de mineração Norte, Sudeste, Sul e Centro-Oeste, por malhas ferroviárias e por terminais portuários especializados (PIRES, 2015).

No Brasil, assim como em outros países, o modal ferroviário é preferencialmente utilizado para o transporte de bens minerais em grandes volumes, porém para ser viável necessita, impreterivelmente, de linha férrea durante todo o trajeto e na disponibilidade de equipamentos específicos para carga e descarga, bem como locomotivas e vagões.

A organização objeto desse estudo tem o suporte de quatro sistemas de produção regionais, sendo eles Norte, Sul, Sudeste e Centro Oeste, e se deve destacar que o minério produzido é transportado por via férrea. Ainda deve ser abordado que há o Terminal Portuário de Ponta da Madeira (TPPM), com papel de destaque no cenário global por ser um dos maiores terminais especializados no embarque de minério de ferro, com capacidade média anual de movimentação de 112 milhões de toneladas.

Quanto aos sistemas de mineração da logística brasileira, o sistema Norte é formado pelo Terminal Ferroviário de Carajás (TFCJ), pela Estrada de Ferro Carajás (EFC) e pelo Terminal Portuário de Ponta da Madeira (TPPM) (CARNEIRO, 2009). O minério de ferro é extraído, beneficiado e carregado na mina em vagões, que por sua vez efetuam o transporte ao longo da estrada de ferro que percorre de Carajás - PA a São Luís - MA até a chegada e posicionamento nos viradores de vagões no Porto de Ponta da Madeira.

2.3 Ciclo PDCA

O conceito do ciclo PDCA teve suas origens no século XX, quando Frederick Taylor já estudava e recomendava a metodologia *plan-do-see* (planeje-execute-veja) para aplicação no planejamento das etapas do processo produtivo (ISHIKAWA, 1993). Tais conceitos foram evoluindo, até que Shewhart (1939) publica o “*Statistical method from the viewpoint of quality control*”, propondo oficialmente um novo modelo de produção denominado *plan-do-see*.

O ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*) é uma metodologia para solução de problemas baseada na melhoria contínua, possibilitando que as diretrizes traçadas pelo planejamento estratégico sejam viabilizadas na empresa, sendo de extrema importância o alinhamento de todos os colaboradores da organização com o método (FALCONI, 2014). Este ciclo é ininterrupto e visa a melhoria contínua, pois, usando o que foi aprendido em uma aplicação do ciclo PDCA, pode-se começar outro ciclo, em uma tentativa mais complexa e, assim, sucessivamente. Com isso, o último ponto sobre o ciclo PDCA se torna o mais importante, em que o ciclo assumirá um novo começo (FALCONI, 2014).

Para obter a melhoria contínua, o PDCA precisa ser usado de forma iterativa quanto às suas quatro etapas, que consistem em (ROTHER, 2010):

- *Plan*: Definir uma experiência e uma hipótese sobre os resultados (saída esperada), estabelecendo metas para controle de itens e o caminho a ser seguido para alcançar os objetivos propostos. Esta etapa é considerada a mais importante, já que é nesta que todo o processo se inicia, devendo ser destacado que a eficácia futura do ciclo se baseia em um planejamento cuidadoso, detalhado, bem preparado e capaz de fornecer dados e informações para todas as outras etapas seguintes (ANDRADE, 2003).
- *Do*: Implementar o plano, ou seja, realizar a experiência e coletar todos os dados necessários.
 - *Check*: Estudar os resultados, ou seja, analisar e discutir os dados e observações (falsificar ou verificar hipóteses). Esta etapa é baseada nos resultados das ações anteriores do plano da etapa (P). Portanto, todas as ações devem ser monitoradas e formalizadas adequadamente na etapa "Do", a fim de realizar a verificação de forma mais eficiente possível (PRASHAR, 2017).
- *Action*: Refletir sobre o que foi aprendido, testando a hipótese e solicitando ações alinhadas com resultados de aprendizagem. Esta etapa é caracterizada pela padronização das ações executadas, objetivando a melhoria contínua.

Carpinetti (2012) argumenta que para auxiliar no desenvolvimento de ações de melhoria contínua, foram criadas várias ferramentas conhecidas como “As sete ferramentas da qualidade”, sendo elas: Estratificação, Folha de verificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de causa e efeito, Histograma, Diagrama de dispersão e Gráfico de controle.

Werkema (2013) fundamenta as seguintes ferramentas utilizadas no ciclo PDCA: *brainstorming* (técnica de geração de ideias em grupos, que envolve a contribuição espontânea de todos os participantes), folha de verificação (planilha de coleta de dados para registrar, organizar, e otimizar obtenção de informações) e 5W2H (plano de ação).

2.4 Manutenção: conceito, classificação e sistemática

A atividade de manutenção existe, basicamente, para evitar a degradação dos equipamentos e instalações causada pelo desgaste natural em decorrência do uso. Esta degradação se manifesta em diversas formas, desde a aparência externa ruim dos equipamentos

até perdas de desempenhos e paradas de produção, fabricação de produtos de má qualidade e poluição ambiental (XENOS,2004; ERKOYUNCU *et al.*, 2017)

De acordo com Kardec (2009) existem quatro tipos básicos de manutenção: manutenção corretiva (que pode ser não planejada ou planejada), manutenção preventiva, manutenção preditiva e manutenção detectiva. A escolha do tipo de manutenção dos equipamentos deve ser estratégica para que resulte no bom desempenho dos sistemas industriais. Portanto, desta forma, é possível otimizar os *trade-offs* entre custos de manutenção e riscos de operação do sistema (WANG, 2012; HERPICH *et al.* 2013; ALRABGHI; TIWARI; SAVILL, 2017).

Liu e Huang (2010) abordam que há limitações, como recursos, orçamentos e tempos de manutenção, que devem ser considerados na escolha de determinada estratégia de manutenção. Embora existam diversos modelos para decisão do tipo de manutenção a ser aplicado, principalmente entre preventiva, corretiva e preditiva, conforme cada contexto de operação industrial há uma quantidade limitada de estratégias pelas quais estes modelos podem se embasar. Com isso, é necessária a determinação de quais parâmetros devem ser otimizados antes da implantação de algum tipo de manutenção.

A respeito dos modelos de manutenção, a do tipo corretiva é realizada depois que a falha ocorre. Segundo Ruschel, Santos e Loures (2017) interromper processamentos desta natureza de forma abrupta para reparar um determinado equipamento pode comprometer a qualidade de outros que vinham operando adequadamente, podendo levar a colapsos após desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais.

Quanto à manutenção preventiva, deve existir um conjunto de ações que visam prevenir a quebra. A manutenção preventiva está baseada em intervenções periódicas geralmente programadas segundo a frequência definida pelos fabricantes dos equipamentos (ISKANDAR; HUSNIAH, 2017; BELYI *et al.*, 2017).

Já a respeito da manutenção detectiva, esta começou a ser mencionada na literatura a partir da década de 90 e se trata da atuação efetuada em sistemas de proteção, buscando detectar falhas ocultas ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (WANG *et al.*,2011). O objetivo da prática desta política de manutenção é aumentar a confiabilidade dos equipamentos por meio da intervenção em sistemas de proteção para detectar falhas proativamente (SOUZA ;SACCOL, 2008).

Manutenções preditivas são as manutenções que permitem garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir a um mínimo a manutenção

preventiva e diminuir a manutenção corretiva (GIL BRANCO FILHO, 2000). A manutenção preditiva pode ser comparada a uma inspeção sistemática para o acompanhamento das condições dos equipamentos (BAPTISTA *et al.*, 2018)

A partir das técnicas de manutenção, são necessários planos de manutenções coerentes com o processo industrial (DHILLON, 2006). A elaboração dos planos de manutenção é uma tarefa relativamente simples quando já são conhecidas as ações preventivas de inspeção, reforma ou troca que os equipamentos exigem e seus respectivos intervalos (SMITH *et al.*, 2008). Em princípio, estas ações devem ser definidas nos padrões de manutenção que, por sua vez, devem conter, entre outras informações, instruções detalhadas sobre o que inspecionar, reformar ou trocar (XENOS, 2004).

Para aplicação de uma estratégia de manutenção, Wang (2012) aponta que os principais indicadores que devem ser otimizados são: as taxas de falha, a disponibilidade, a confiabilidade, os custos de manutenção, o custo total, a taxa de degradação e a taxa de utilização do componente ou equipamento.

2.5 Manutenção de Shuts

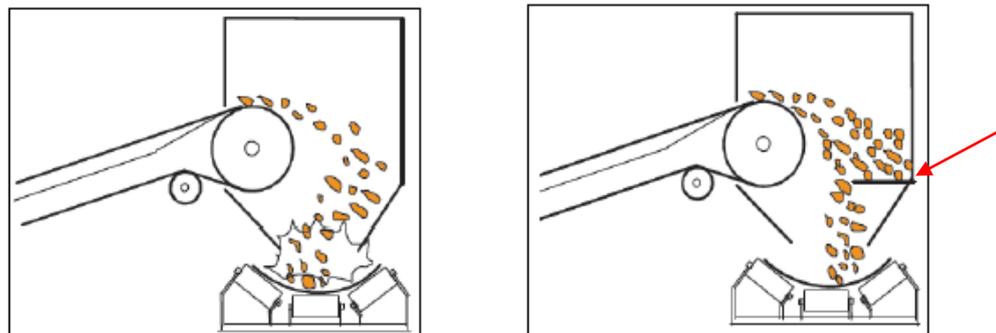
Shuts de transferência desempenham a função de transferir grânéis sólidos de um transportador para outro. São componentes dos transportadores de correia que merecem atenção especial, pois pequenas variações de projeto podem causar restrições operacionais devido a entupimentos ou desalinhamento por queda descentralizada de material. É comum que um mesmo *Shut* seja solicitado para transferências de mais de um tipo de material, com características diferentes, como, por exemplo, umidade e ângulo de acomodação.

Planos de troca de revestimentos, são executados de acordo com programação semanal elaborado pelo setor de PCM (Planejamento e Controle da Manutenção), tal revestimento é caracterizado como uma chapa de material resistente a impactos, abrasão ou erosão, com diversas composições químicas e dimensões (GONTIJO, 2009). As chapas de revestimento são instaladas no interior dos pontos de transferências, sendo utilizadas como superfície de sacrifício para a proteção da chaparia estrutural do *Shut*. A manutenção preditiva relacionada à troca de revestimento de *Shuts* de correias transportadoras é executada com equipamento parado e, portanto, não se deve, em momento algum, acessar ou tocar componentes móveis ou locais onde pessoas podem ficar expostas à queda de materiais ou peças.

Em relação às correias, o desgaste é um fenômeno que ocorre entre materiais em movimento, resultando em deformação, modificação das dimensões, tensões inesperadas, fadiga, entre outros aspectos negativos, até que as peças envolvidas percam resistência mecânica ou a eficiência desejada. O desgaste pode ocorrer pelo deslocamento (abrasão) ou pela erosão de partículas de uma superfície.

O ideal é que os *Shuts* sejam projetados para diminuir o impacto direto sobre a correia. A Figura 1 mostra um *Shut* permitindo impacto direto sobre a correia (à esquerda) e outro *Shut* amenizando este impacto com a utilização de uma bancada (à direita).

Figura 1 - Redução de impacto direto do material sobre a correia



Sousa Júnior (2012) afirma que, para a definição do tipo de equipamentos e sistemas a serem utilizados para o manuseio de minérios, a média ou longa distância, diversos aspectos devem ser considerados e avaliados, entre os quais: capacidade manuseada, distância de transporte, topografia do terreno, infraestrutura disponível na região, interferências com o meio ambiente e economicidade. Portanto, esses aspectos também devem ser levados em conta na definição de estratégias de manutenção para o equipamento.

3 METODOLOGIA

Realizada através do método estudo de caso, a pesquisa tem natureza exploratória e abordagem qualitativa. Este método é considerado atualmente como delineamento mais adequado para a investigação de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, em que os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente percebidos (GIL, 2010).

Este estudo utiliza uma abordagem de pesquisa exploratória e qualitativa, pois busca conhecimentos sobre a gestão da manutenção industrial através de pesquisa, observação,

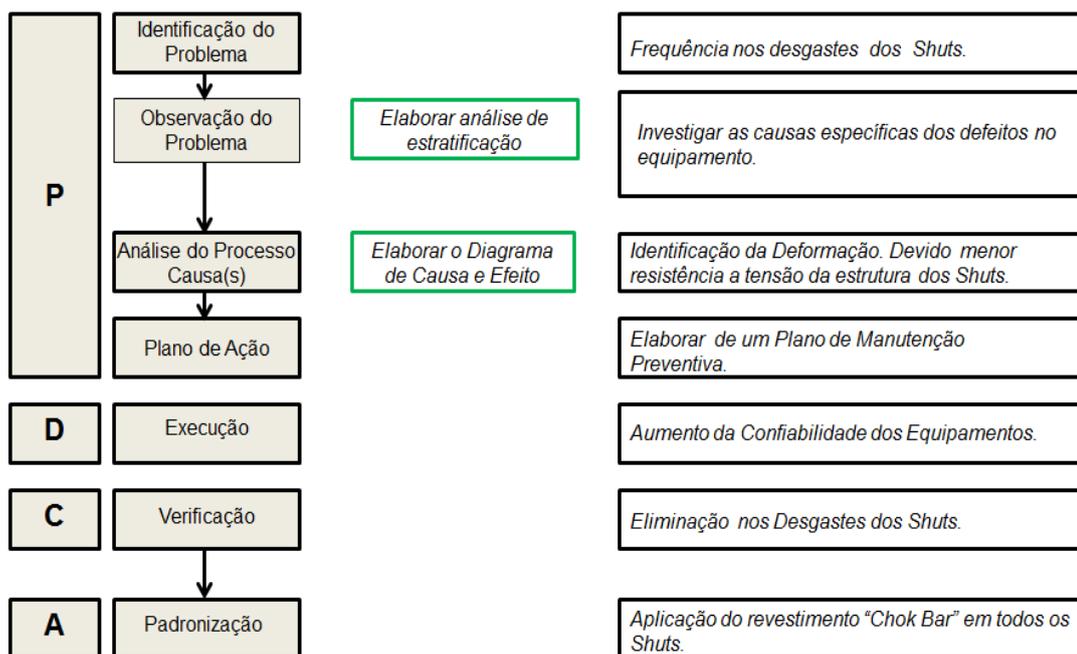
análise, classificação e interpretação dos dados coletados (MIGUEL, 2010). E, para exemplificar isso, realizou-se a estratificação de dados históricos relacionados às inspeções de manutenção de *Shuts* na empresa do estudo de caso.

O problema da pesquisa está relacionado à manutenção de um componente básico nas atividades de mineração: a correia transportadora, mais especificamente o *Shut*. Como o setor de mineração é um ambiente agressivo e capaz de abreviar a vida útil de ativos, a estratégia de verificação dos *Shuts* precisa ser diferente, pois existem riscos de condições estruturais que causam desgastes e impactam a produção.

O estudo foi majoritariamente prático, em que os procedimentos utilizados na pesquisa foram levantamentos de dados através da participação direta dos pesquisadores. Para conduzir o estudo de caso, foram realizadas visitas *in loco* semanalmente na empresa mineradora participante.

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, foi realizado um estudo de caso no período de janeiro a dezembro de 2016, no qual se estruturou, executou e mensurou um projeto em uma indústria de mineração focando na manutenção e aplicação do ciclo PDCA. Para análise de causa de falhas foram usados os métodos de Diagrama de Ishikawa e análise dos 5 Porquês. A pesquisa foi realizada durante 12 meses, com visitas previamente marcadas, sendo acompanhadas pelo Supervisor de Manutenção. As etapas da metodologia do ciclo PDCA utilizada nessa pesquisa está representa na Figura 2.

Figura 1 – Esquema de aplicação do ciclo PDCA



Para completar cada etapa do ciclo PDCA, foram utilizadas ferramentas da qualidade no decorrer do ciclo, como o *brainstorming*, diagrama de Ishikawa, 5 Porquês.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição do processo diagnosticado

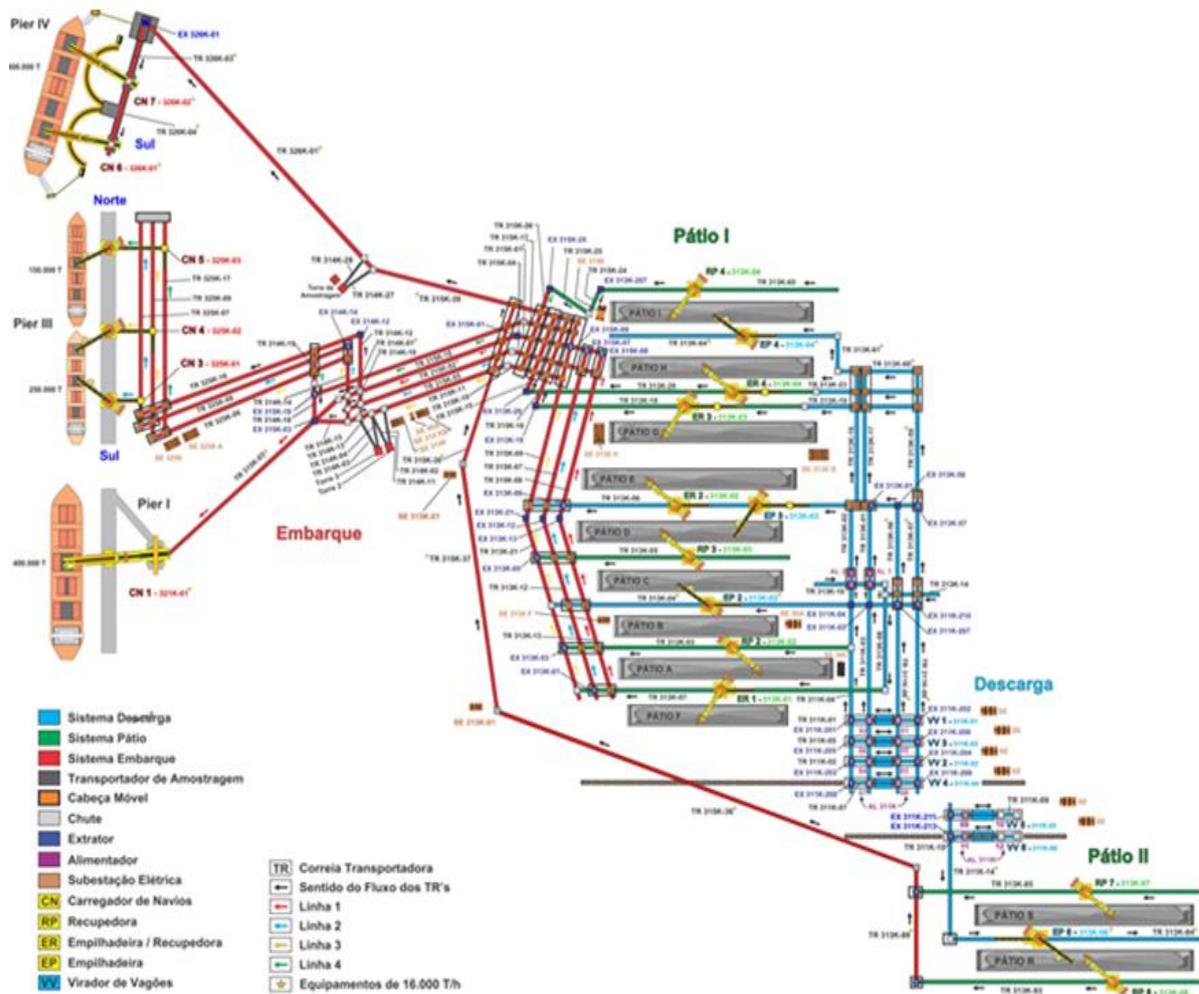
No atual processo, as correias móveis atuam no interior das minas, nas frentes de lavra, cujas atividades não são auxiliadas por caminhões, existindo apenas a descarga direta das pás carregadeiras em sistema móvel.

As correias de longa distância atuam na retomada das pilhas pulmão, deslocando o minério até as usinas de concentração. As atividades de manutenção dos transportadores, envolve atividades preventivas e preditivas de acordo com inspeções semanais e paradas programadas, obedecendo calendário específico do planejamento de manutenção.

A organização do estudo utiliza sensores de proteção de rasgo e desalinhamento como mecanismos de sinalização de quaisquer anormalidades. O principal benefício do controle e utilização de tecnologias avançadas nos transportadores pela empresa é a possibilidade de atuar com elevada disponibilidade dos equipamentos, gerando boa estabilidade operacional e nível adequado dos estoques.

Além disso, a empresa estudada possui operações na extração do minério até seu embarque nos navios, sendo que, no terminal portuário Ponta da Madeira, o processo é dividido em dois sistemas: embarque e descarga. No embarque, o material estocado é restaurado por recuperadoras e levado até os carregadores de navio onde são embarcados. Já a descarga é o setor onde o minério é recebido da ferrovia pelos trens e descarregado através dos viradores de vagões nas correias transportadoras e empilhadeiras até o pátio de estocagem. A Figura 3 ilustra o layout do processo.

Figura 3 - Layout do Processo



Fonte: Acervo da empresa (2016)

Após a recuperação do minério, o mesmo alcança os carregadores de navios (CN's) através dos transportadores. No TPPM existem quatro CN's para o embarque de minério de ferro: um com capacidade nominal de 16.000 t/h e outros três com capacidade de 8.000 t/h.

Diante de uma sequência de desgastes em *Shuts* verificados em resumos da equipe de manutenção corretiva no pátio da mineradora, foi verificada a necessidade de intervenções em curto prazo para o tratamento da mesma, para aumentar disponibilidade do equipamento quanto à operação.

Vários agentes internos e externos colaboram para os defeitos nos *Shuts* e são provocados pelo próprio material transportado principalmente, que é abrasivo, mostrando-se de extrema importância a adoção de estratégias de verificação dos *Shuts*, pois o risco de deformações devido a menor resistência à tensão da sua estrutura é crítico e necessidades de

intervenções podem ser constantes. Além desses fatores, outros aspectos negativos podem ser considerados, tais como: deficiências na qualidade, tempo de inatividade, perda de lucros e custos elevados com as manutenções não programadas.

4.4 Aplicação do ciclo PDCA

A primeira fase da etapa P do ciclo PDCA de melhoria consiste na identificação do problema em estudo – que é o alto índice de desgastes nos *Shuts*. Então, na segunda fase, observa-se o problema, investigando as suas características específicas para entendê-lo e elaborar ações de melhoria.

4.4.1 Plan (P)

4.4.1.1 Definição do problema

Para a análise das falhas foi necessário estratificar os dados históricos referentes a realização de inspeções corretivas e inspeções preditivas. Além disso, foram realizadas visitas *in loco* no qual foram observados vários defeitos nos *Shuts* proveniente de agentes internos e externos, provocando deformações devido à menor resistência à tensão da estrutura dos mesmos, conforme ilustrados, pela Figura 4, os locais de representação de maior desgaste.

Figura 4 - Locais que apresentam maior desgaste

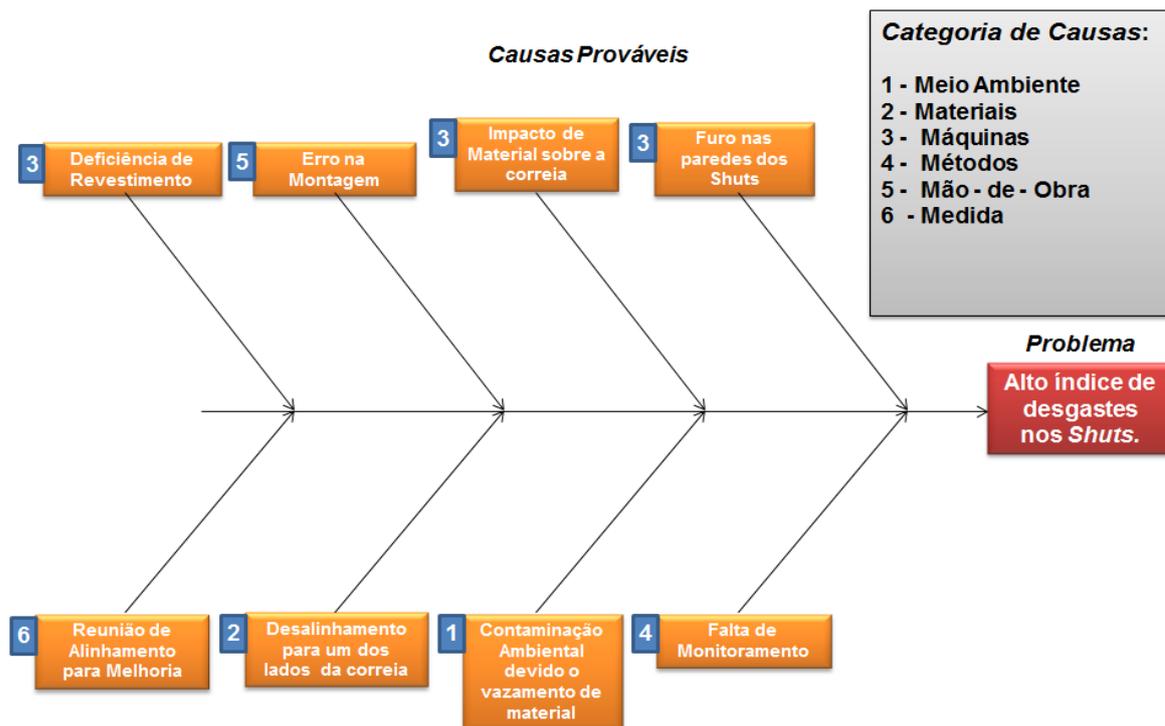


Fonte: Acervo da empresa (2016)

4.4.1.2 Análise das causas

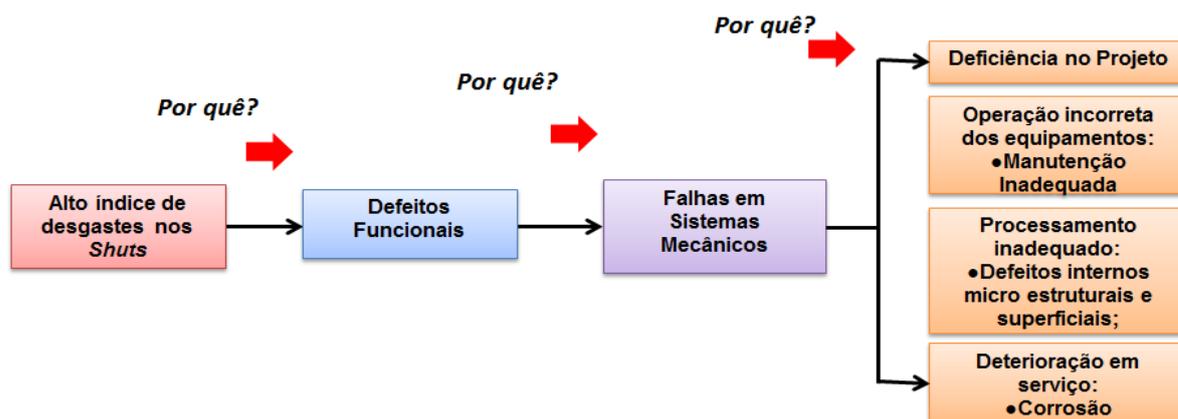
Utilizando o Diagrama de Ishikawa, foram levantadas as causas para os problemas, permitindo que processos complexos fossem divididos em processos mais simples e, portanto, mais controláveis. Usando-se da referida ferramenta, pode-se demonstrar possíveis causas do problema conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Diagrama de Ishikawa



Aplicando a análise dos 5 Porquês, é possível verificar a possibilidade de melhoria do controle da aplicação de inspeções preditivas dentro das manutenções, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Análise dos 5 Porquês



Qualquer dano sofrido no *Shut* ocasiona paradas na operação e, assim, deve ser iniciada a manutenção corretiva não planejada até que seja reestabelecida a condição normal para operação – o que muitas vezes se reflete em perdas de horas de produção, geração de resíduos e uma maior exposição dos empregados a riscos de acidentes. Herpich e Fogliatto (2013) estudando manutenção de sistema de controle e instrumentação de turbogeradores constataram

que gastos com manutenção são relativamente altos e que, muitas vezes, a estratégias de manutenção mal planejadas resultam em manutenções corretivas e preventivas desnecessárias.

A partir das análises realizadas, concluiu-se que as falhas relacionadas aos *Shuts* ocorriam principalmente em pontos onde existiam atritos contínuo do material que ocasionavam trincas, condições estruturais, condições de desgaste, trincas e fixação das chapas de desgaste, furo nas paredes, aumento do desgaste em pontos de contato, fissuras e até mesmo pequenos cortes.

4.4.2 Do (D)

Na etapa “Do”, foi elaborado o plano de ação para aplicação do revestimento nos *Shuts* das correias. A execução do plano de ação ocorreu através de planilha que permite mapear os equipamentos em que foram aplicados os revestimentos com *Chock Bar* para, assim, melhorar o controle da vida útil dos *Shuts* e padroniza-los. A Figura 7 representa a planilha de controle de troca de revestimentos nos *Shuts*.

Figura 7 - Controle de Troca de Revestimentos nos *Shuts*

Área	TAG	CÓDIGO	ESPEC	Lm	LARGURA (mm)	m To	\$ Total	JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT					
								PLAN	EXEC	PLAN	EXEC	PLAN	EXEC	PLAN	EXEC	PLAN	EXEC	PLAN	EXEC	PLAN	EXEC	PLAN	EXEC	PLAN	EXEC	PLAN	EXEC	PLAN	EXEC	PLAN	EXEC
EMBARQUE	AM-314K-01	15343736	EP140/2	325.82	600	12	3.909,84									X	X														
EMBARQUE	AM-314K-08	15343736	EP140/2	325.82	600	12	3.909,84																								
EMBARQUE	AM-314K-203	15236363	Plyten 330	324.63	600	182	59.082,66	X																							
EMBARQUE	CN-321K-01	15257717	ST 3500	1531.02	2200	470	719.579,40					X	X																		
EMBARQUE	CN-325K-01 (L)	15496967	EP420/6	1028.3	1800	250	257.075,00	X																							
EMBARQUE	CN-325K-01 (T)	15497036	EP320/6	1360.99	2400	45	61.244,95								X	X															
EMBARQUE	CN-325K-02 (L)	15496967	EP420/6	1028.3	1800	125	128.537,50														X	X									
EMBARQUE	CN-325K-02 (T)	15497036	EP320/6	1360.99	2400	60	81.659,40							X	X	EXE MAI															
EMBARQUE	CN-325K-03 (L)	15496967	EP420/6	1028.3	1800	125	128.537,50														X	X									
EMBARQUE	CN-325K-03 (T)	15497036	EP320/6	1360.99	2400	70	95.269,30											X	X												
EMBARQUE	CN-326K-01 (L)	15201255	ST2500	1483.89	2200	328	488.716,32																			X	X				
EMBARQUE	TR-314K-01	15497036	EP320/6	1360.99	2400	232	315.749,68								X	Post	X	X													
EMBARQUE	TR-314K-02	15496967	EP420/6	1028.3	1800	110	113.103,00																				X				
EMBARQUE	TR-314K-12	15201255	ST 2500	1483.49	2200	190	281.863,30																								
EMBARQUE	TR-314K-13	15497007	EP420/6	1028.3	2200	105	138.820,50								X	X															
EMBARQUE	TR-314K-14	15497007	EP420/6	1028.3	2200	185	190.235,50								X	X															
EMBARQUE	TR-314K-15	15497007	EP420/6	1028.3	2200	114	117.226,20											X	Post					X	X						
EMBARQUE	TR-314K-16	15343736	EP140/2	325.82	600	140	45.614,80					X	Post																		
EMBARQUE	TR-314K-18	15497007	EP420/6	1028.3	2200	102	104.886,60																	X			X				
EMBARQUE	TR-314K-19	15497007	EP420/6	1028.3	2200	190	195.377,00																X	X							
EMBARQUE	TR-314K-24 (R)	15279067	EP140/4	582.29	600	100	58.229,00							X	X																
EMBARQUE	TR-315K-01	15257717	ST 3500	1517.09	2200	1236	1875.123,24														X	Post									
EMBARQUE	TR-315K-03	15257717	ST 3500	1517.09	2200	690	1046.792,10																				X				
EMBARQUE	TR-315K-05	15437099	ST3800	1326.57	1800	3.100	4.112.367,00										X	X													
EMBARQUE	TR-315K-06	15779067	FP140/4	689.29	600	140	81.630,60					X	X																		

Fonte: Acervo da empresa (2015)

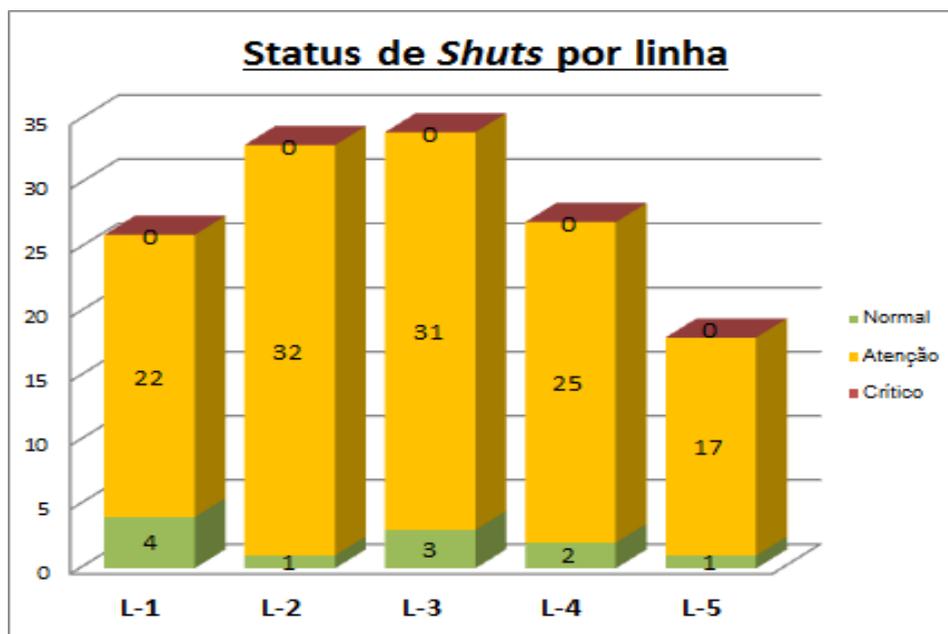
Para não alterar as características dos planos de manutenção, que atendiam muito bem as especificações dos fabricantes dos *Shuts* e da área operacional, foram realizados treinamentos com os inspetores. Os fluxos de informações alimentados pelos próprios inspetores de preditiva

melhorou o sistema de trocas, alertando a solicitações de paradas preventivas em oportunidades de saída de navios, para qualquer tipo de reparo sem impactos na produção.

A elaboração do programa de “Controle de Vida Útil de *Shuts*” ocorreu com auxílio de todos os envolvidos da área de manutenção, sendo validado junto à engenharia local e transformado em meta individual da equipe.

Os dados prévios de revestimentos dos *Shuts* processados só foram possíveis através da compilação de dados extraídos dos históricos de inspeções preditivas dos equipamentos. A partir de então, foram realizados os processos de melhorias nos mesmos. Na Figura 8 verifica-se o *status* por linha da criticidade dos *Shuts*, em que todas as linhas foram acompanhadas e mapeadas para melhoria dos equipamentos, observa-se que os pontos de atenção (em amarelo) estão voltados para a aplicação do revestimento interno (*Chock Bar*). Destaca-se que existem disponíveis *softwares* que conseguem prever com uma boa exatidão as regiões de impacto e deslizamento do material manuseado.

Figura 8 - Status dos *Shuts*



Fonte: Acervo da empresa (2016)

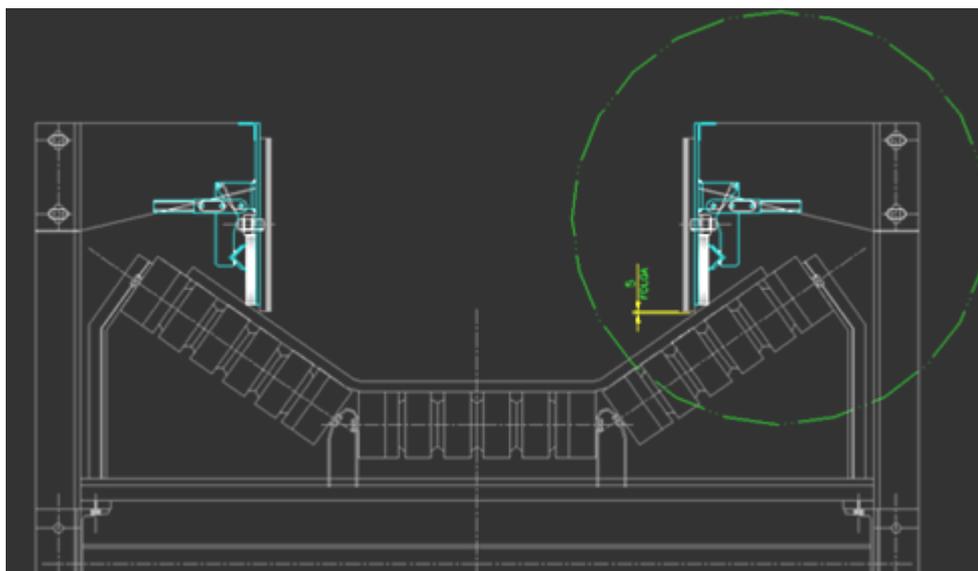
4.4.2.1 Instalação de chapas de revestimento

Para instalação de chapas de revestimento foi elaborado um planejamento prévio, devido às dificuldades de ajuste das dimensões no local da montagem. Os procedimentos de

instalação de chapas foram baseados em desenhos de engenharia com códigos e indicações posicionais de montagem de cada peça, que foram fornecidos ao mantenedor.

Para evitar danos às correias, nas montagens em guias laterais, foi observado o afastamento de 05 (cinco) mm para a correia, conforme mostra a Figura 9. Na montagem das chapas, também foi observado o nivelamento entre elas, de forma a evitar ressaltos ou reentrâncias que podem prejudicar o fluxo do material e concentrar desgaste nestes pontos.

Figura 9 - Distância para a Montagem de Chapas de Revestimento nas Guias Laterais



Fonte: Acervo da empresa (2016)

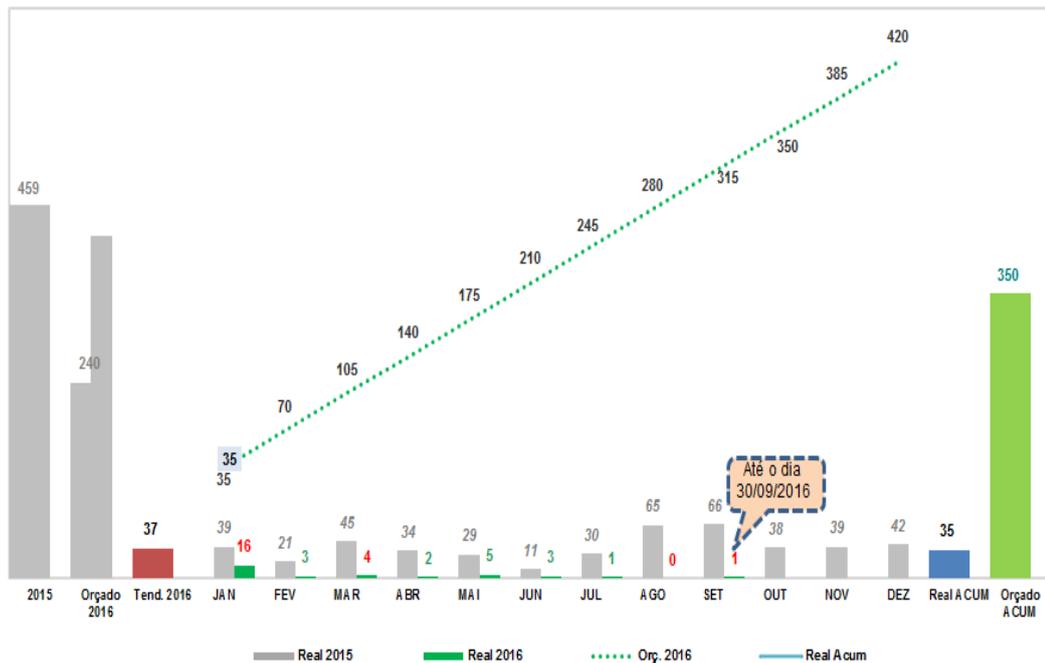
4.4.3 Control (C)

Diante das ações realizadas na montagem das chapas, as soluções foram verificadas e controladas através de folhas de verificação a fim de detectar se o bloqueio às causas fundamentais foi efetivo. No caso estudado, o bloqueio foi efetivo, mas com a necessidade de contínuas análises de causa raiz e planejamento de experimentos para maior precisão na identificação de não conformidade.

Então, as contínuas análises estatísticas foram realizadas até que o problema fosse resolvido. O tempo de verificação foi determinado pela equipe de melhoria contínua a fim de garantir o desempenho em conformidade com as necessidades da companhia. Oliveira e Silva (2013) indicam que por meio de técnicas estatísticas é possível identificar o estado atual da manutenção e prever tendências.

As medições foram realizadas através de folhas de verificação que, posteriormente, foram transformadas em gráficos de indicadores, como ilustrado na Figura 10. Obteve-se como referência o ano de 2015, no qual o número de quebra de *Shuts* está representado na cor cinza. Em 2016 foi previsto até o mês de setembro uma quantidade real acumulada de 35 (trinta e cinco) *Shuts* danificados.

Figura 10 – Indicadores de Quebra dos *Shuts* (2015 versus 2016)



Fonte: Acervo da empresa (2016)

4.4.4 Action (A)

De acordo com a fase “A” do PDCA, o processo deve ser consolidado, alterando-se a documentação técnica necessária, tais como: instruções de processo, especificações do produto e outras documentações inerentes ao processo, de modo a buscar a constante padronização em relação à nova situação através da revisão contínua dos procedimentos operacionais.

Aliado ao exposto, um bom sistema de medição impulsionará a empresa para atingir as metas anuais. O controle de medições e desempenho dos operadores nas novas atividades padronizadas garantem a criação de novas metas.

Quanto ao estudo desenvolvido, foram realizadas reuniões *kaizen* (melhoria contínua) para discussões sobre a situação anterior da operação com *Shuts* de descarga de *trayller* (bandeja) com trilhos comuns (a) e a situação após as ações realizadas da troca dos trilhos por

chapas com *chock bar* (b), ilustrados na Figura 11. Andrade *et al.* (2017) afirmam que a utilização de *kaisen* no processo industrial motivam as equipes a busca frequente da melhoria contínua.

Figura 11 – Shut de descarga do trayller com trilhos comuns (a) Trilhos com chapas *chock bar*



(a)

(b)

Fonte: Acervo da empresa (2016)

Com a resolução do problema em estudo, foram alcançados diversos resultados quantitativos e qualitativos, tais como: maior tempo entre as intervenções corretivas, menor esforço físico e maior disponibilidade do equipamento para operação.

Visando a continuidade dos benefícios citados, medidas de padronização das atividades da rotina de inspeção foram atualizadas e orientadas pelos métodos de manutenção, direcionados para aplicação dos seus recursos, aumento contínuo da disponibilidade e confiabilidade de seus ativos, além da melhoria da relação do custo benefício na manutenção. E ainda vale destacar que toda atividade desta rotina tem como base a preservação da vida e segurança dos empregados, bem como a sustentabilidade das operações.

5 CONCLUSÃO

A manutenção dos *Shuts* em correias transportadoras tem grande impacto na produção em indústrias de mineração. Diante disso, um controle baseado em informações técnicas sobre o estado atual do *Shut* alinhado a um plano de manutenção bem elaborado e adequado ao ambiente operacional são fatores cruciais para garantir o sucesso da produção do setor.

Pelo estudo realizado, foi perceptível que a correta análise e identificação de causas de questões em processos produtivos é primordial para a eficácia da estratégia de manutenção

preventiva. E, em acréscimo, o ciclo PDCA se mostra como de grande contribuição na identificação e consolidação de melhorias em sistemas, como ocorreu no ambiente estudado.

As causas dos danos nos *Shuts* apresentados nesse estudo demonstram a importância de investimentos em manutenção preventiva com auxílio de ferramentas de resolução de problemas, o que pode aumentar o tempo de vida útil do equipamento, diminuir o custo e obter uma melhor disponibilidade e confiabilidade. Portanto, o próximo passo é sistematizar as ações conjuntas, tais como métodos e técnicas de manutenção empreendidas nos *Shuts* através de reuniões *kaizen*, auditoria interna na área operacional e implementação de práticas do TPM (Manutenção Produtiva Total).

THE APPLICATION OF PDCA CYCLE FOR QUALITY IMPROVEMENT IN SHUTS MAINTENANCE

ABSTRACT: The quest for perfection in terms of quality, maintenance and reliability is one of the basic conditions for companies to remain competitive in market, and for this, there are methods that help reaching this conditions, such as the PDCA method. The purpose of this research is to apply the PDCA cycle to increase productivity in maintenance activities of conveyor belt *Shuts*. By means of a case study, the use of the internal coating (Chock bar) in the application of conveyor belt *shuts* was presented, in the scenario producing a large mining company to secure end to maximum availability without causing impacts on the production. After a description of all the PDCA cycle stages through the study, the identification of problems causes regarding the maintenance of conveyor belts, besides the identification and implementation of improvements, was one of the main benefits of applying the methodology.

Keywords: Maintenance; PDCA; Quality; *Shuts*.

REFERÊNCIAS

- ALICE WEB 2. Site do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 2015. Disponível em: <http://aliceweb.mdic.gov.br/>. Acesso em: 21 nov. 2017.
- ALRABGHI, A.; TIWARI, A.; SAVILL, M. Simulation-based optimisation of maintenance systems: Industrial case studies. **Journal Of Manufacturing Systems**, v. 44, p.191-206, 2017.
- ANDRADE, F. F. O método de melhorias PDCA. **Dissertação de Mestrado**. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2003.
- ANDRADE, C. P. A. et al. Aplicação do kaisen como base motivacional em uma indústria mineradora. **Anais eletrônicos...** XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Joinville, SC, 2017.
- BAPTISTA, M. et al. Forecasting fault events for predictive maintenance using data-driven techniques and ARMA modeling. **Computers & Industrial Engineering**, v. 115, p.41-53, 2018.
- BELYSI, D. et al. Bayesian failure-rate modeling and preventive maintenance optimization. **European Journal Of Operational Research**, v. 262, n. 3, p.1085-1093, 2017.
- CALABREZI S. R. da S. A multimodalidade para o transporte de cargas: identificação de problemas em terminais visando à integração dos modais aéreo e rodoviário. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.
- CARNEIRO, H. P. Automação Inteligente da Operação de Máquinas de Pátio em Modo Recuperação de Minério do Terminal Portuário de Ponta da Madeira – VALE. 2009. 78 f. **Monografia** (Pós-Graduação em Engenharia Portuária) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- CARPENETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: Conceitos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 2ª Ed, 2012.
- COSTA, R. R. **Projeto de Mineração** .1ª edição. Universidade Federal de Ouro Preto, vol. 1 e 2, Ouro Preto, 1979.
- Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos – DEPEC. **Informativo Minério de Ferro**. Bradesco – Economia. 2015.
- DHILLON, B. S. **Maintainability, maintenance and reliability for Engineers**. 1. ed. New York: CRC Press, 2006.
- ERKOYUNCU, J. A. et al. Improving efficiency of industrial maintenance with context aware adaptive authoring in augmented reality. **Cirp Annals**, v. 66, n. 1, p.465-468, 2017.
- FALCONI, V. **TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 8. ed. Nova Lima, MG: INDG Tecnologia e Serviços Ltda. 256 p, 2014.
- FILHO, G. B. **Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade**. Ciência Moderna, 2000.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GONTIJO, C. DE B. L. M. Estudo de variáveis relevantes que interferem na seleção dos modelos de caminhões para transporte de minério. Programa de Especialização em Sistemas Minero-Metalúrgico. Monografia, UFOP. 2009.

HERPICH C.; SANSON, F. Aplicação de fmecca para definição de estratégias de manutenção em um sistema de controle e instrumentação de turbogeradores. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 5, n. 9, p. 70-88, 2013.

Instituto Brasileiro de Mineração - IBM. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 7ª Edição. Brasília. 2012.

ISHIKAWA, K. **Controle da qualidade total: a maneira Japonesa**. Rio de Janeiro: Ed. Campus. 1993.

ISKANDAR, B. P.; HUSNIAH, H. Optimal preventive maintenance for a two dimensional lease contract. **Computers & Industrial Engineering**, v. 113, p.693-703, 2017.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

LIU Y., HUANG. Optimal selective maintenance strategy for multi-state systems under imperfect maintenance. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 59, n. 2, p. 356-367, <https://doi.org/10.1109/TR.2010.2046798>, 2010.

MAIA, B. L.; SCHEER, S. Análise do fluxo de informações no processo de manutenção predial apoiada em bim: estudo de caso em coberturas. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 8, n. 16, p. 73-95, 2016.

MARÇAL, R. F. M. **Gestão da Manutenção**. Ponta Grossa: Programa de Especialização em Gestão Industrial com ênfase em Produção e Manutenção (ESPGESTIND-PM), 2008.

MÁRQUEZ, A. C. et al. The maintenance management framework: a practical view to maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 15, n. 2, p. 167-178. 2009.

MARSHALL JUNIOR et al. **Gestão da qualidade**. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2008.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

Ministério de Minas e Energia - MME. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Brasília, 2010.

NASCIF, J.; DORIGO, L. C. **Manutenção orientada para resultados**. Rio de Janeiro: Qualymark, 2010.

OLIVEIRA, J. C. S.; SILVA, A. P. Análise de indicadores de qualidade e produtividade da manutenção nas indústrias brasileiras. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 8, nº 3, p. 53-69, 2013.

PIRES, L. S. **Relatório Anual de 2014**. Vale S.A. Rio de Janeiro, 2015.

PRASHAR, A. Adopting PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycle for energy optimization in energy-intensive SMEs. **Journal Of Cleaner Production**, v. 145, p.277-293, 2017.

REMÉNYI, C.; STAUDACHER, S. Systematic simulation based approach for the identification and implementation of a scheduling rule in the aircraft engine maintenance. **International Journal Of Production Economics**, v. 147, p.94-107, 2014.

ROTHER, M. **Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness and Superior Results**. New York: McGraw Hill. 2010.

- RUSCHEL, E.; SANTOS, E. A. P.; LOURES, E. de F. R. Industrial maintenance decision-making: A systematic literature review. **Journal Of Manufacturing Systems**, v. 45, p.180-194, 2017.
- SHEWHART, W. A. **Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control**. Graduate School of the Department of Agriculture. Washington, D.C, 1939.
- SMITH R.; R. KEITH R. K. **Rules of thumb for maintenance and reliability engineers**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008.
- SOUSA JÚNIOR, W. T. Seleção de caminhões rodoviários para mineração utilizando a metodologia de auxílio multicritério à decisão: estudo de caso - Mineração de bauxita. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. 160 p., 2012.
- SOUZA, C. A.; SACCOL, A. Z. **Sistema ERP no Brasil: teoria e casos**. São Paulo: Atlas, 2008.
- STUBRIN, L. Innovation, learning and competence building in the mining industry. The case of knowledge intensive mining suppliers (KIMS) in Chile. **Resources Policy**, v. 54, p.167-175, 2017.
- TAKATA, S. et al. Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management. **Annals of the CIRP**, 53(2), 643–655, 2004.
- WAEYENBERGH, G.; PINTELON, L. CIBOCOF: A framework for industrial maintenance concept development. **International Journal Of Production Economics**, v. 121, n. 2, p.633-640, 2009.
- WANG W. An overview of the recent advances in delay-time-based maintenance modeling. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 106, p. 165-178, 2012.
- WANG, Ling et al. The availability model and parameters estimation method for the delay time model with imperfect maintenance at inspection. **Applied Mathematical Modelling**, v. 35, n. 6, p.2855-2863, 2011.
- WERKEMA. M. C. C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2013.
- XENOS, H. G. P. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

Originais recebidos em: 18/01/2017

Aceito para publicação em: 15/12/2017