ANÁLISE DA FALHA PELO MÉTODO INTUITIVO SEQUENCIAL

Teófilo Cortizo Moreira Neto

Celso Luiz Santiago Figueroa Filho

**RESUMO**

O tratamento de falhas é algo comum nas corporações e faz parte integrante do sistema de melhoria contínua. Ela abrange todos os tipos de processos como confiabilidade de ativos, gestão ambiental e saúde e segurança, qualidade, operações, logística etc. Toda atividade que há um processo envolvido e que esse processo pode gerar desvios ou perdas um tratamento de falhas pode ser realizado.

As ferramentas utilizadas para análise de causa raiz são amplamente divulgadas e diversificadas desde análises simples onde uma causa e uma ação são estabelecidas até as análises de problemas complexos onde várias causas devem ser investigadas e recursos devem ser empreendidos para alcançar a o ponto de geração da perda. Outros métodos sugerem uma prevenção de perdas baseada na consequência e risco antes mesmo da falha ter se concretizada fisicamente.

Embora haja muitas opções para a análise de causas elas devem ser bem pensadas quanto ao seu uso. Pela experiência ou pela cultura implantada na empresa, dependendo do escopo e nível de incerteza da falha, pode-se utilizar uma ou outra ferramenta de forma que todas elas possuem vantagens e limitações.

Na prática, muitas análises não são bem-sucedidas por diversos motivos, alguns desses motivos mais específicos foram pensados como alternativa nessa proposta. Muitas vezes há uma rotina de tratamento de perdas repetitivo, onde uma solução já foi gerada, mas a mesma ou é demorada ou muito cara. Ações paliativas acabam sendo realizadas e nem sempre são sustentáveis.

Também há ocorrências de problemas simples sendo tratados com ferramentas muito complexas forçando pessoas a participarem de uma reunião por horas para atender o método escolhido.

A abordagem de uma perda sempre é “olhar para atrás”, mas as consequências geradas da perda devem ser sempre reavaliadas porque nem sempre são previsíveis. Muitas vezes se bloquear a consequência fica mais viável do que a causa de uma falha.

O método proposto neste trabalho visa ser uma alternativa a esses casos. O Método Sequencial Intuitivo ou SIM (Sequencial Intuitive Method) tem como proposta ser uma alternativa a problemas simples e corriqueiros, onde a investigação inicial já possui elementos suficientes para traçar o caminho da causa da falha, mas ao mesmo tempo permite uma visão diferenciada sobre o comportamento da falha de forma temporal e sequencial (causa-falha-consequência). Isso permitirá uma facilitação na abertura da visão do fenômeno e pensamentos não ortodoxos que são comuns em RCA´s (Root Cause Analysis) assim também como uma maior agilidade na análise e priorização de ações.

1. **INTRODUÇÃO**

Análise de causa raiz é um processo composto por um conjunto de ferramentas que visam evitar a recorrência de eventos não desejados, falhas de equipamentos ou não conformidades dentro de um processo ou empresa. Ela é executada em uma forma estruturada envolvendo pessoas de forma a direcionar para a causa do problema e qual a solução mais eficaz a ser adotada para bloqueá-la.

Em resumo, a análise de causa raiz ajuda a identificar o que, como e por que algo aconteceu, evitando assim recorrência (Rooney; Heuvel, 2004) [1].

A estruturação da área de conhecimento da lógica, que permeou todo o desenvolvimento humano, é uma busca contínua pelas causas dos problemas encontrados, de compreender as raízes dos problemas para poder resolvê-los. Portanto, o conceito de se analisar falhas já existe desde a era pré-industrial, mas nos sistemas produtivos atuais a ideia de se desenvolver ferramentas para solução de problemas tomou corpo quando surgiu junto com a criação das sete ferramentas da qualidade (Figura 1).

**Figura 1: As Sete Ferramentas da Qualidade**



**Fonte:** [**www.certificacaoiso.com.br**](http://www.certificacaoiso.com.br) **[3]**

Segundo Silva (2020) [2], inspirado pelas famosas sete armas de Benkei, Kaoru Ishikawa, influenciado por uma série de palestras em que W. Edwards Deming havia apresentado para engenheiros e cientistas japoneses em 1950, criou sete ferramentas que visavam mensurar, analisar e propor soluções aos problemas que interferem no desempenho e no resultado das empresas.

Se observarmos tais ferramentas, percebe-se que que o intuito é monitorar o processo, verificar se há desvios e corrigi-los. Duas ferramentas se localizam historicamente como ferramentas de análise causa raiz: Diagrama de Ishikawa e Diagrama de Pareto. De fato, essas duas ferramentas somadas com a análise de 5 porquês são as mais utilizadas nas empresas para análise de falhas (Carvalho, 2020; Limeirinhas, 2021; Teles, 2018) [4][5][6]. Segundo os mesmos autores, uma quarta ferramenta utilizada para essa finalidade se tornou uma das técnicas mais usadas junto coma as demais já citadas. A Árvore de Falhas (FTA – Fault Tree Analysis) se estruturou e se registrou na norma do setor nuclear. A ferramenta foi criada para as avaliações de confiabilidade de sistemas nos projetos e como passou a ser aplicada nas análises de acidentes com sucesso, tem sido usada nas análises de falhas em outros setores industriais (Figura 2).

**Figura 2: Exemplo de Método de Árvore de Falhas**

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte:** [**www.sixsigmastudyguide.com**](http://www.sixsigmastudyguide.com) **[7]**

Para fechar o TOP-5 poderemos agregar o Diagrama de Causa e Efeito. Embora o método Ishikawa também seja conhecido por esse nome, o diagrama de Causa e Efeito ou Cadeia de Causa e Efeito possui uma estrutura gráfica diferente, não conectando com o *brainstorming* 6M do Espinha-de-Peixe, e abrindo em possibilidades de mais porquês. A Figura 3 exemplifica a estrutura gráfica do Diagrama de Causa e Efeito.

**Figura 3: Exemplo de Método de Causa e Efeito**

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: Autor**

Para análises onde há uma maior certeza da causa gerando um raciocínio mais simples, uma análise linear como a técnica dos 5 Porquês ou uma análise de Motivo-Causa-Solução pode ser viável. Contudo, todas essas ferramentas sempre se propõem a tratar os mecanismos passados. Como veremos mais adiante a proposta da SIM (*Sequence Intuitive Method*) sugere abrirmos o entendimento da falha de uma forma diferente, quando já há elementos para definir o seu mecanismo de falha.

1. **METODOLOGIA**

Se pudermos observar os problemas sob uma ótica sequencial poderemos ter uma simplificação do entendimento da falha e ações efetivas com custos e prazos mais baixos.

A Figura 4 ilustra como um problema simples pode ser entendido em uma sequência temporal / sequencial e dividido entre o fenômeno ocorrido em cada etapa do tempo e as ações de bloqueio possíveis para cada cenário.

**Figura 4: Método Intuitivo Sequencial**

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: Autor**

Olhando o diagrama do centro para a esquerda, vemos sequencialmente causas ou eventos temporais passados e para a direita as consequências ou eventos temporais futuros ocorridos ou com grandes chances de ocorrer.

A ideia do método é olhar para cada célula temporal, descrevê-lo e pensar em uma ação de bloqueio ou mitigação direcionado ao evento descrito. A quebra da peça do carro foi motivada por uma negligência de manutenção em um passado mais distante, mas também foi potencializado com uma forma imprudente de direção em um passado mais próximo estressando os componentes do carro.

Pensando em ações de bloqueio para o presente, pensamos sempre em algo que possa detectar o desvio ou a falha de forma mais rápida possível ou ações para mitigar tais eventos. Nesse caso, o seguro do automóvel deve ser considerado caso não possua, pois irá diminuir os impactos das classes temporais futuras que são as consequências.

Já para os eventos temporais passados, cada um foi sugerido uma ação de bloqueio, a primeira, mais distante sempre terá relação com uma causa raiz, contudo as demais também serão consideradas e podem até ser priorizadas na sequência da análise.

As consequências da quebra foram mapeadas com o fato de o motorista chegar atrasado ao trabalho de forma imediata. Em um prazo médio ele ficará sem carro dependendo de caronas ou transportes alternativos e em longo prazo será contabilizado prejuízos financeiros dentro do orçamento com custos não previstos acumulados ao longo de todo o processo.

O bloqueio pensado de forma imediata para não chegar atrasado envolve ligar para amigos que estejam em deslocamento na mesma hora ou pedir um taxi ou transporte de aplicativo. Em médio prazo como ele já sabe que ficará sem carro, poderá se fechar um pacote de corridas fazendo pesquisa dos aplicativos de forma a diminuir os custos de deslocamento agendando previamente horários e locais de embarque e desembarque. A longo prazo pode ser realizado um orçamento emergencial anual para ajudar nos imprevistos como esses sem risco de ficar sem dinheiro ou partir para empréstimos.

O método pode ser pensado em quatro etapas distintas:



**Fonte: Autor**

Obviamente esse exemplo pode ser rediscutido e ficaria mais rico com mais participantes que passaram por problemas similares. Por isso mesmo nenhuma técnica de análise de falhas deve ser realizada isoladamente, sem participação de pessoas chaves envolvidas com o problema.

A proposta inicial é deixarmos de pensar somente na causa raiz em si, mas olhar o problema em uma sequência temporal: passado, presente e futuro. O objetivo principal não é necessariamente descobrir e bloquear a causa raiz, mas entender a falha e pensar em bloqueios inteligentes ao longo da sequência que ela se manifesta e impacta.

* 1. **Etapa 1 – SIM – Entendimento do Problema**

A primeira etapa como qualquer análise de solução é entender o problema em sim. Uma investigação prévia de campo deve ser realizada com equipes capacitadas a fim de se levantar evidências sobre o que ocorreu e as consequências reais do problema.

Essa etapa deve prosseguir de uma reunião formal com as pessoas que participaram do evento para que todos estejam na mesma ideia de como o fenômeno ocorreu. Como foi mencionado, a ferramenta SIM não deverá ser usada caso não tenhamos elementos suficientes para defini-lo, para tal recomendamos outras ferramentas mais complexas de investigação.

* 1. **ETAPA 2 – SIM – Sequência da Falha**

Com as equipes reunidas a primeira tabela da metodologia deve ser respondida conforme Tabela 1.

**Tabela 1: Método Intuitivo Sequencial – Sequência de Falha**



**Fonte: Autor**

A sequência do preenchimento deverá ser:

**1 –** **Preenchimento da Célula PRESENT**

Deve-se descrever o fenômeno observado com poucas palavras. Esse fenômeno pode ser um desvio de um processo ou procedimento, uma não conformidade de auditoria ou um modo de falha de equipamento. Exemplos:

* Transbordo de reagente químico;
* Falha na execução do procedimento técnico;
* Quebra do espelho do tambor do transportador;
* Contaminação do solo por agente biológico;
* Entrega errada de itens da ferramentaria;
* Execução de manutenção sem a devida ordem de serviço;
* Etc.

Essa descrição deve retratar fielmente o que foi observado e considerado como o desvio a ser tratado, não sua causa ou consequência, essas etapas são tratadas nos outros campos.

**2 –** **Preenchimento da Célula PAST**

Para as células PAST podemos admitir duas abordagens, uma é pensarmos como o fenômeno da falha se mostrou ao longo do tempo. Um desvio para ocorrer é seguido do outros fenômenos que podem até ser considerados também outros desvios, por isso cada etapa é tratada com uma ação de bloqueio individual.

A primeira célula temporal do PAST é um fenômeno ocorrido imediatamente antes da manifestação do modo de falha. A célula seguinte é algo que ocorreu um pouco antes e a distante trata-se de um problema que já vem se manifestando ao longo do tempo, que causou toda a cadeia de falha.

A outra linha de raciocínio é utilizamos o conceito de causa – consequência como no método 5 Porquês. Nesse caso termos três porquês (ou três células temporais sequenciais).

**3 –** **Preenchimento da Célula FUTURE**

O período FUTURE estará sempre associado a impactos. Muitos problemas já são rastreados para entrar em um processo de análise de causa raiz porque seus impactos já são previstos (criticidade de ativos). Contudo, cada falha pode acarretar consequências ainda não mensuradas, principalmente quando não forem utilizadas ferramentas de prevenção como FMEA aplicados na empresa.

A primeira questão para se descrever o futuro imediato tem a ver com o tempo real que levou para retomar o processo. Este fato nunca será realmente previsto devido a diversas variáveis envolvidas na dinâmica de causa e consequência, sendo um processo eterno de aprendizado e melhoria contínua. Por isso, deve-se sempre se perguntar se o tempo de retomada do processo foi o esperado ou muito longo. Esses fatores são influenciados pela manutenabilidade ou a suportabilidade do sistema.

A célula temporal do futuro próximo deve ser pensada em horizontes maiores, impactos em indicadores mensais ou trimestrais. Já o futuro distante se trata de impactos estratégicos que ocorreram devido ao problema ou podem ocorrer imaginando a repetição dessas falhas. Neste último deve-se pensar em termos de risco do negócio.

* 1. **Etapa 3 – SIM – Ações de Bloqueio**

Cada etapa preenchida na primeira tabela deve ser repensada com uma ação possível de bloqueio conforme Tabela 2.

**Tabela 2: Método Intuitivo Sequencial – Ações de Bloqueio**



**Fonte: Autor**

Cada ação descreve um bloqueio direcionada a ocorrência temporal da Tabela de Sequência de Falha. Portanto, a ação do PRESENT tentará bloquear ou mitigar o modo de falha em si. Consequentemente, será sempre pensada como algum sistema que consiga detectar o fenômeno com maior precisão ou antecedência possível para se evitar maiores perdas. Tais ações envolvem geralmente criações de novos alarmes, monitoramento, inspeções e algoritmos de predição. Caso não seja possível, ações de ver e agir de forma sistemática podem ser pensadas em caso de repetição em curto prazo do fenômeno.

As ações de bloqueio do PAST devem direcionar a uma ação de bloqueio de causa raiz no tempo passado distante. Contudo, as demais classes temporais também serão repensadas com ações de bloqueio.

As ações de futuro imediato podem ter a ver com a suportabilidade / manutenabilidade. As demais classes temporais referentes ao FUTURE envolvem geralmente algum tipo de investimento ou reavaliação do risco do negócio mediante a uma nova ocorrência.

* 1. **Etapa 4 – SIM – Priorização das Ações**

Pelo nosso pensamento tradicional, as ações relativas a causa do problema serão sempre vistas primeiro, contudo, com um plano de ação definido por uma sequência de células temporais distintas entendemos que o mais importante não é necessariamente evitar que o desvio ocorra, mas possa ser mais viável e fácil bloquear ou mitigar seus efeitos ou predizer o início de sua ocorrência.

Por outro lado, um sistema de predição de uma falha bem calibrado pode evitar que o próprio modo de falha gere consequências mais severas de forma mais viável financeiramente ou mais rápido de ser implementado. Para equilibrar a priorização dessas ações o método SIM propõe que todas as ações sejam avaliadas em termos de Autonomia, Custo e Agilidade (Tabela 3).

**Tabela 3: Método Intuitivo Sequencial – Priorização de Ações**



**Fonte: Autor**

A explicação do preenchimento dos pesos está bem detalhada na Tabela 4 a seguir:

**Tabela 4: Método Intuitivo Sequencial – Sistemas de Pesos**



**Fonte: Autor**

Como de costume nesse tipo de tabela que envolve pesos, há uma margem de adaptação visto que cada empresa é diferente e possui sua própria realidade de autonomia, agilidade e, principalmente, custo. É recomendável que a tabela de custos seja customizada com valores monetários praticados na empresa assim como a tabela de agilidade deve ser readequada. O tempo de reação para uma empresa produtiva tradicional pode representar diferentes impactos para um outra de outro setor como energético e nuclear, por exemplo.

As ações priorizadas devem passar para um modelo detalhado de 5W2H. Uma ação pode, e sempre que necessário, deve desdobrar em pequenas outras ações dependendo de sua complexidade. Como o modelo sempre sugere uma ação de bloqueio, muitas vezes ela pode ser genérica como “projetar novo dispositivo” ou “reavaliar estratégia de manutenção” que necessariamente precisam de outras ações detalhadas desdobradas junto as equipes especialistas.

Por fim, as ações de bloqueio que não forem priorizadas devem passar por um processo de análise da equipe. Ou se escolhe eliminar a ação ou mantê-la no plano de ação. Caso opte por mantê-la, o prazo estabelecido e custos de implantação serão predominantes para a expectativa das equipes, visto que levam a ação a um prazo maior com mais burocracia enquanto o problema tende a continuar existindo.

1. **ESTUDOS DE CASO 1 – QUEBRA DO PARAFUSO DO EIXO CARDAN – BRITADOR PRIMÁRIO**

Apresentamos três estudos de casos reais aplicado a diferentes empresas.

* 1. **Etapa 1 – SIM – Entendimento do Problema**

Na área de britagem primária de uma mineradora de minério de ferro há um britador primário que recebe as rochas provindas da mina via caminhões fora de estrada. A função principal é reduzir o tamanho das rochas o suficiente para que o setor sequencial de britagem secundária consiga cominuir o minério o suficiente para a área da moagem.

O britador utilizado é o de mandíbulas e possui um acionamento com eixo Cardan que transmite a rotação do motor a um eixo diferencial permitindo o movimento de vai e vem da mandíbula móvel do britador (Figura 5).

**Figura 5: Britador de Mandíbulas – Eixo Cardan**



**Fonte:** [www.dicionariotecnico.com](http://www.dicionariotecnico.com) [8]

O problema ocorreu na quebra dos parafusos que fazem a fixação desse eixo Cardan na base. Pela avaliação técnica, esses parafusos quebraram por excesso de folga. Eis alguns pontos importantes levantados na reunião técnica:

* Evidência de folga de todos os parafusos
* Não havia arruelas de pressão conforme rege o desenho do projeto
* Não havia evidência de usos de torquímetros pelos mantenedores
* Não havia documentações técnicas disponíveis na sala da manutenção corretiva
* Os responsáveis do PCM e Engenharia que possuíam as informações não estavam disponíveis para consulta (evento ocorreu fora do horário administrativo)
* Quando se inicia a folga dos parafusos, o britador pode continuar a funcionar, contudo será necessária uma redução de sua taxa de produção para que o problema não se alastre aos demais itens de fixação (vibração)

Mediante a investigação de campo e levantamento de evidências foi realizada uma reunião com as equipes responsáveis.

* 1. **ETAPA 2 – SIM – Sequência da Falha**

De posse dessas informações o modelo SIM permitiu o seguinte racional (Tabela 5).

**Tabela 5 – Sequência da Falha - Folga de Parafusos do Eixo Cardan**



**Fonte: Autor**

O modo de falha foi relatado no PRESENT. Já a análise do tempo *PAST* nos levou à causa do problema. A equipe de preventiva estava “acostumada” a reapertar ou trocar os parafusos sem qualquer instrução técnica ou apoio informacional. Dessa forma não utilizavam as ferramentas corretas e acabavam “perdendo” ou quebrando as arruelas de pressão em algum momento, sem a devida reposição. Como há vários parafusos de fixação não se dava tanta importância a um deles está sem a arruela. Contudo, com a repetição dos trabalhos e equipes diferentes na frente do serviço a perda ou quebra desse item sem a devida reposição ficou comum. Isso trazia sérias consequências para as equipes corretivas de turno.

A falta de um detalhamento no check list desse item nos planos de manutenção junto com a devida orientação levou ao quadro citado. Como não havia esse item no plano, nem o correto procedimento, as equipes não davam importância se essas arruelas estavam ou não presentes e executam o reaperto sem qualquer critério.

Já as classes temporais de *FUTURE*, que visam consequência ou manutenibilidade, se concentraram mais no segundo item dessa vez, foi discutido o porquê havia um tempo médio de reparo tão alto para essas ocorrências de troca de parafusos e o motivo encontrado foi a falta de manuais e conhecimento técnico das equipes de turno.

* 1. **Etapa 3 – SIM – Ações de Bloqueio**

Foi preenchida ações de bloqueio referente às classes temporais definidas na Tabela 6.

**Tabela 6 – Ações de Bloqueio – Folga de Parafusos do Eixo Cardan**



**Fonte: Autor**

**1 –** **Preenchimento da Célula PRESENT**

Pela análise *PRESENT*, com o funcionamento normal do britador poderá ser possível detectar o momento em que o problema começa a se manifestar via um sensor / transmissor de velocidade. A rotação do eixo começa se alterar em consequência do efeito das folgas e vibrações. Um sensor de vibração online se mostrou ineficaz porque o próprio Britador já trabalha com altas vibrações na cominuição das rochas.

**2 –** **Preenchimento da Célula PAST**

As ações referentes as classes temporais da célula PAST são:

* Rotina e torqueamento periódico (evita assim a folga)
* Instalação de arruelas de pressão (evita assim a ausência das arruelas)
* Corrigir procedimento (check list) (causa do problema)

**3 –** **Preenchimento da Célula FUTURE**

Já as ações do tempo *FUTURE* visam eliminar a causa do excesso de tempo parado por esses problemas. Realizar treinamentos e disponibilizar manuais na sala da corretiva foram ações propostas pelas próprias equipes mantenedoras.

Na classe temporal *FUTURE NEAR*, teríamos uma provável perda de produção e ela poderia ser contornada com um procedimento operacional de redução de taxa e acompanhamento de outras variáveis a fim de não alastrar o problema levando a uma quebra de outros componentes do britador.

* 1. **Etapa 4 – SIM – Priorização das Ações**

Dessa forma, as ações foram priorizadas segundo regra da metodologia:

**Tabela 6 – Plano de Priorização – Folga de Parafusos do Eixo Cardan**



**Fonte: Autor**

O treinamento do procedimento de manutenção juntamente com a disponibilização dos manuais de manutenção na sala da corretiva se mostraram como a ação mais viável e com melhor retorno. Os planos de manutenção irão ser revistos dentro do treinamento de forma a detalhá-lo melhor sobre itens como checar as arruelas e o torque necessário com as ferramentas corretas. Ou seja, todos os itens com peso 80 também foram priorizados no plano de ação estruturado.

Nesse caso, as ações de consequências como operação com baixa taxa foi rejeitada na priorização justamente pelo custo e autonomia. As equipes operacionais sabiam dessa possibilidade, mas não tinham certeza de como fazer essa operação com baixa taxa. Seria necessário contatar o fornecedor do equipamento para que ele estudasse o problema e desenvolvesse um procedimento específico treinando os operadores.

O fator de similaridade foi indicado para o segundo britador em paralelo, idêntico ao primeiro, que sofreu o problema.

O fato de avaliarmos a viabilidade das ações no SIM nos permite expurgar possíveis ações inviáveis ou de baixa prioridade em relação ao negócio mantendo um plano de ação enxuto, coeso e eficaz assim como ajudando a prover um plano estruturado 5W2H.

1. **ESTUDOS DE CASO 2 – ÁGUA NA ÁREA DE CONTENÇÃO DE ÓLEO HIDRÁULICO**
   1. **Etapa 1 – SIM – Entendimento do Problema**

Em uma indústria de grande porte alguns equipamentos que possuem unidade hidráulica em tanque estão instalados com uma área de contenção de óleo para conter possíveis vazamentos ou acidentes (Figura 6). Contudo, em uma inspeção ambiental, foi detectado um volume de água misturada a resíduos de óleo dentro dessa área de contenção. O analista ambiental considerou o fato como não conformidade porque a área de contenção deve conter todo o volume do óleo em possível acidente, com o volume de água sendo misturado corre o risco de transbordo da água contaminada ao meio ambiente.

**Figura 6: Unidade Hidráulica com Contenção de Óleo**

Uma imagem contendo no interior, mesa, balcão, display

Descrição gerada automaticamente

**Fonte:** <http://www.engapconstrutora.com.br/> **[9]**

O piso desses equipamentos permite escoar água de lavagem para um SUMP onde detritos sólidos são separados, indo para um reservatório que despeja no córrego (meio ambiente). Esse sistema não foi preparado para absorver água com óleo hidráulico, por isso a área de contenção construída é suficiente para drenar todo o volume do tanque caso seja necessário.

Como foi mencionado, durante a inspeção ambiental, foi detectado que as áreas de contenção estavam com volume excessivo detectando água junto ao óleo residual. Percebeu-se que essa água provinha de um piso superior com grades que frequentemente se realizava uma lavagem industrial do maquinário acima. Durante a avaliação foram levantadas as seguintes informações:

* A água provinha de limpeza industrial de equipamentos do piso superior
* Os equipamentos do piso superior estavam se sujando devido a poeira do processo
* O filtro de mangas estava inoperante
* O SUMP não possui dispositivo para conter o óleo
* A operação esvaziava as áreas de contenção com uma bomba, porém esse procedimento possui alto custo e não era rotineiro

Após a investigação de campo houve a reunião com as equipes e preenchimento das tabelas do SIM.

* 1. **ETAPA 2 – SIM – Sequência da Falha**

Durante a investigação o modelo SIM foi preenchido conforme Tabela 6:

**Tabela 6 – Sequência da Falha – Contaminação da Área de Contenção**



**Fonte: Autor**

A célula PRESENT determina que o problema na auditoria foi classificado como a presença de água misturado ao óleo na área de contenção. É importante saber definir o problema porque a partir dele desdobramos toda a sequência temporal.

As classes temporais pertencentes a célula PAST indica que há uma queda de água do piso superior provindo de limpezas periódicas nos equipamentos acima. Já o FUTURE classificamos as consequências como transbordo da área de contenção seguido da contaminação do SUMP e posterior deságue no córrego levando o óleo ao meio ambiente.

* 1. **Etapa 3 – SIM – Ações de Bloqueio**

Com as classes temporais preenchidas as equipes definiram as possíveis ações de bloqueio (Tabela 7).

**Tabela 7 – Ações de Bloqueio – Contaminação da Área de Contenção**



**Fonte: Autor**

**1 –** **Preenchimento da Célula PRESENT**

Avaliando o tempo *PRESENT*, não foi pensado em nenhum dispositivo que detectasse água nessa área de contenção que justificasse um custo-benefício segundo a equipe avaliadora. Uma ação corretiva foi estabelecida como rotina de drenar a área de contenção periodicamente.

**2 –** **Preenchimento da Célula PAST**

Ao avaliarmos o *PAST*, vimos que as limpezas frequentes do piso superior levam a essa queda de água não planejada para as áreas de contenção. Inicialmente o fechamento das grades do piso superior foi sugerida, contudo há restrições operacionais para essa ação. Uma cobertura para as unidades hidráulicas pode ser viável para evitar a queda de água na área de contenção. Contudo, foi levantada a questão da necessidade de lavagens rotineiras nos equipamentos do nível superior, deve-se checar porque o sistema de despoeiramento não está operacional.

**3 –** **Preenchimento da Célula FUTURE**

E na sequência, no *FUTURE*, uma expansão da área de contenção foi sugerida para evitar um possível transbordo até que ela tenha tempo de ser drenada.

As demais classes temporais envolvem ações que mitigam uma possível contaminação tal como um sistema de separação de água e óleo no SUMP e um plano de contingência de um cordão drenante no dique.

* 1. **Etapa 4 – SIM – Priorização das Ações**

Ações de bloqueio foram pensadas para cada período de evento ao longo da linha do tempo como propõe a metodologia (Tabela 8). Essas ações foram devidamente ranqueadas em termos de priorização conforme critérios já discutidos nos casos anteriores (Tabela 5):

**Tabela 8 – Priorização das Ações – Contaminação da Área de Contenção**



**Fonte: Autor**

A ação de ver-e-agir foi considerada mais rápida de ser implementada. Contudo se pensarmos no método com a filosofia RCA, ela não irá bloquear as causas do problema. A causa do problema será eliminada na ação 2. Por prioridade as ações *2 – Melhorar Sistema de Filtragem de Ar* (bloqueia a causa raiz) e a *7 – Implementar Cordão Drenante* (consequência) devem ser priorizadas.

A análise foi comparada por métodos tradicionais anteriormente implementados (ISHIKAWA, Brainstorming e GUT). Nessas análises eles implementaram uma ideia de projetar a cobertura das unidades hidráulicas não se perguntando por que era necessária uma limpeza periódica. Essa cobertura na análise SIM não foi priorizada devido à demora e custo de implementação. O cordão drenante também só foi pensando devido a visão do futuro do método SIM, ficando de fora da análise tradicional.

As ações que possuem baixo peso na priorização não são fadadas a exclusão necessariamente, somente entendemos que em termos de custo x agilidade x autonomia elas serão mais difíceis de serem implementadas, não atendendo a uma resposta mais rápida que o sistema necessite. Nesse caso, se houver um entendimento da equipe da necessidade da cobertura, ela entrara no plano de ação 5W2H com prazos mais longos e custos mais altos já conhecidos.

1. **ESTUDOS DE CASO 3 – VAZAMENTO NOS BICOS INJETORES DE COMBUSTÍVEL DE UMA AERONAVE**
   1. **Etapa 1 – SIM – Entendimento do Problema**

Uma aeronave de uma determinada empresa aérea estava em procedimento de decolagem quando subitamente o alarme de potência de um dos motores alarmou. Nesse momento o piloto teve que fazer uma decisão se prosseguia com apenas uma turbina ou abortaria o voo, sendo a segunda opção escolhida.

O voo foi cancelado gerando prejuízos para empresa e passageiros. O avião foi recolhido ao angar e foi diagnosticado problemas nos bicos injetores de combustível (Figura 7). Eles estavam deformados gerando vazamentos e impedindo a correta transferência do fluxo do combustível ao motor.

**Figura 7: Bico Injetor de Combustível**



**Fonte:** [www.aerocurso.com](http://www.aerocurso.com) **[10]**

Após reunião com especialistas sobre o problema algumas informações foram levantadas:

* A placa que os bicos são montados não estava bem fixada permitindo uma angulação incorreta de todo o conjunto
* Houve uma falha na montagem provinda do mantenedor
* O mantenedor trabalha em turno de madrugada e já estava em horas extras quando teve que realizar o procedimento
* Não se sabe se esse problema pode estar afetando outras aeronaves
* Há muitas dificuldades para seguir o procedimento de inspeção pós-montagem
* Há muitos bicos injetores posicionados de forma dificultar as conferências de montagem
* Alguns recursos necessários para a conferência da montagem muitas vezes não são usados tais como iluminação correta e tempo necessário para liberar o serviço

A ação de imediata consensada foi checar se as demais aeronaves da frota apresentam o mesmo problema.

* 1. **ETAPA 2 – SIM – Sequência da Falha**

Durante a investigação o modelo SIM foi preenchido conforme Tabela 9.

**Tabela 9 – Sequência da Falha – Falha Bicos Injetores**



**Fonte: Autor**

A célula PRESENT apresenta o modo de falha como vazamento dos bicos injetores. Entende-se que se não houver vazamento nos bicos o motor continuaria funcionando e a decolagem seria possível.

As classes temporais pertencentes a célula PAST nos mostra a sequência temporal da manifestação da falha. Em um tempo mais distante podemos considerar que os mantenedores trabalharam em turnos de horários de menor atenção (madrugada) e ainda tiveram que entender seu horário pela manhã provocando uma desatenção natural devido a fadiga do corpo humano. Assim a placa foi montada errada e ao longo do tempo mais próximo ao modo de falha ela foi se deformando apresentando os vazamentos indesejados.

* 1. **Etapa 3 – SIM – Ações de Bloqueio**

Com as classes temporais preenchidas as equipes definiram as possíveis ações de bloqueio.

**Tabela 10 – Ações de Bloqueio – Falha Bicos Injetores**



**Fonte: Autor**

**1 –** **Preenchimento da Célula PRESENT**

Como já foi definida como ação imediata na reunião de análise, a verificação da falha nas demais aeronaves foi direcionada na célula PRESENT. Isso porque identificarmos o modo de falha no momento ou muito próximo a manifestação da falha. Esse diagnóstico sempre é feito após as montagens, contudo ela é imperfeita por falta de alguns recursos que o próprio procedimento sugere, mas nem sempre é seguido.

**2 –** **Preenchimento da Célula PAST**

Na célula temporal PAST IMMEDIATE, a forma que podemos impedir que um bico deforme mesmo com uma montagem inclinada seria a ausência de conexões O´rings, ponto mais frágil da montagem. Essa ação requer um projeto de modificação junto ao fabricante da aeronave.

Na célula temporal PAST NEAR, foi pensado com a equipe uma forma de desenvolver um lay-out para que tais placas não sejam montadas erradas, o mantenedor iria identificar na mesma hora que a montagem estaria equivocada porque ela simplesmente não encaixaria. Também se trata de uma ação de reprojeto.

A causa raiz é considerada no PAST DISTANT, sem dúvida a falha humana foi a causa do problema e ela foi fortemente influenciada pela fadiga corporal de horário de trabalho e carga horária excessiva. Um controle mais rígido para os turnos deve ser desenvolvido na oficina de manutenção impedindo que as equipes trabalhem em horas-extras.

**3 –** **Preenchimento da Célula FUTURE**

Na célula temporal FUTURE IMMEDIATE, uma forma de evitar que o motor perca potência seria desenvolvendo uma redundância de fonte de energia para ele. Isso iria garantir que as aeronaves, mesmo com o problema de vazamentos, decolassem, pousassem e pudessem realizar uma programação para correção do problema afetando o mínimo possível a grade operacional das aeronaves.

A opção para abortar a decolagem no FUTURE NEAR, foi opcional do piloto. Um sistema automático poderá ser desenvolvido habilitando a tomar essa decisão de forma mais precisa. Ele poderia decidir pelas leituras se a aeronave teria condições de decolar com segurança com apenas um motor ou não.

Entendo que o FUTURE DISTANT envolve uma análise de risco do negócio em relação ao problema, será vital que o controle de horas seja padronizado aos demais setores da empresa e nas demais unidades de manutenção. Essa ideia será reforçada no campo de similaridade detalhada na ETAPA 4.

* 1. **Etapa 4 – SIM – Priorização das Ações**

Ações de bloqueio foram pensadas para cada período de evento sequencial como propõe a metodologia. Elas foram devidamente ranqueadas em termos de priorização conforme critérios já discutidos (Tabela 11).

**Tabela 11 – Priorização das Ações – Falha Bicos Injetores**



**Fonte: Autor**

As ações priorizadas foram:

* Garantir recursos para correta inspeção de montagem (teste e iluminação)
* Desenvolver dispositivo para checar o pós montagem
* Desenvolver plano de controle de horas (causa raiz)

A ação não priorizada “Desenvolver Bicos Injetores sem O´rings” é uma ação cara, demorada e com baixa autonomia pela empresa. Contudo, as equipes não quiseram descartá-la e ela será devidamente adequada no padrão 5W2H com prazos e investimentos realistas.

A ação de desenvolver o controle de horas possui *YES* para similaridade e este fator é similar a ação 7 que estaria na quarta posição da priorização. Portanto ela será também executada.

Contudo, entende-se que a execução das três ações priorizadas seria o suficiente para evita ou a consecução dos eventos sequenciais que geram o modo de falha ou as que levam as consequências rastreadas.

1. **CONCLUSÕES**

Os estudos de casos nos mostraram que a ferramenta pode servir como alternativa a tratamento de perdas com bom levantamento de elementos de forma a ser possível traçar o caminho da falha desde se seu passado (causas) até o futuro (consequências e impactos).

Também se mostrou eficaz em ajudar no pensamento não ortodoxo de uma análise de perdas, o fato de considerarmos possibilidade de bloquear consequências ao invés de causas pode nos levar a um mesmo êxito em termos da gestão de falhas. Com o sistema de priorização de ações, ajudou na eliminação de ações inviáveis ou priorização de ações que talvez não fossem levadas em consideração, onde apenas as ações de bloqueio da causa raiz são valorizadas.

O método se mostrou flexível com aplicação em casuísticas diversificadas, tais como manutenção industrial, auditoria ambiental e confiabilidade humana. O tempo para realizá-lo também se mostrou bastante otimizado levando os participantes a pensarem de forma mais intuitiva e simples acerca do problema.

As limitações do método são claras quando envolvem muitas dúvidas acerca do caminho dos motivos da falha (teste de hipóteses), assim como se torna menos eficaz quando se deseja abrir o plano de ação para muitas ações em cima da mesma causa (Tabela 12).

**Tabela 12 – Avaliação do Método SIM**



**Fonte: Autor**

Mesmo assim, dos três estudos de caso apresentados, dois deles foram considerados mais complexos, onde era possível explorar uma árvore de causas possíveis e mais ações podendo ser propostas para as mesmas causas. Contudo, as equipes participantes foram unânimes em concordar que o método foi bem eficaz apresentando ao final o raciocínio e ações suficientes para tratar corretamente o problema.

Por fim, o facilitador de análises deve saber quando adotar o método e quando ele pode ser mais eficaz e eficiente que os demais que existem no mercado.

1. **REFERENCIAS**

[1] Rooney, J. J., Heuvel, L.N.V. Root Cause Analysis for Beginners. Quality Progress. [www.asq.org](http://www.asq.org). 2004.

[2] Silva, R. 7 ferramentas da qualidade: Sua história, importância e uso. [(2) 7 ferramentas da qualidade: Sua história, importância e uso | LinkedIn](https://www.linkedin.com/pulse/7-ferramentas-da-qualidade-sua-hist%C3%B3ria-import%C3%A2ncia-e-robson-silva/?originalSubdomain=pt). 2020.

[3] [www.certificacaoiso.com.br](http://www.certificacaoiso.com.br)

[4] Carvalho, H. Análise de Causa Raiz: o que é, e os principais métodos. [Análise de Causa Raiz: o que é, e os principais métodos - Vida de Produto](https://vidadeproduto.com.br/analise-de-causa-raiz/). 2020.

[5] Limeirinhas, G. 5 ferramentas fundamentais para a análise de falhas. TRATCTIAN. [5 ferramentas fundamentais para a análise de falhas - TRACTIAN](https://tractian.com/blog/5-ferramenta-fundamentais-para-a-analise-de-falhas). 2021.

[6] Teles, J. 4 Ferramentas para Análise de Falhas. [Quatro Ferramentas para Análise de Falhas em Máquinas e Equipamentos (engeteles.com.br)](https://engeteles.com.br/ferramentas-para-analise-de-falhas/). 2018.

[7] [www.sixsigmastudyguide.com](http://www.sixsigmastudyguide.com)

[8] [www.dicionariotecnico.com](http://www.dicionariotecnico.com)

[9] <http://www.engapconstrutora.com.br/>

[10] [www.aerocurso.com](http://www.aerocurso.com)