

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

GEFERSON BORBA

APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA AUMENTO DA CONFIABILIDADE  
EM EQUIPAMENTOS DE USINAGEM UTILIZANDO A ANÁLISE DA CAUSA RAIZ  
DA FALHA

Joinville  
20/11/2022

GEFERSON BORBA

APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA AUMENTO DA CONFIABILIDADE  
EM EQUIPAMENTOS DE USINAGEM UTILIZANDO A ANÁLISE DA CAUSA RAIZ  
DA FALHA

Monografia apresentada ao Curso Bacharel Engenharia Elétrica do Câmpus Joinville do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista

Orientador: Jeferson Luiz Curzel

Joinville  
20/11/2022

GEFERSON BORBA

APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA AUMENTO DA CONFIABILIDADE  
EM EQUIPAMENTOS DE USINAGEM UTILIZANDO A ANÁLISE DA CAUSA RAIZ  
DA FALHA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Engenheiro  
Eletricista, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa  
Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora  
abaixo indicada.

IFSC Joinville, 06, Dezembro de 2022

---

Prof. Jeferson Luiz Curzel, Dr  
Orientador  
Instituto Federal Santa Catarina

---

Prof. Michael Klug, Dr.  
Instituto Federal Santa Catarina

---

Prof. NeuryBoaretto, Dr  
Instituto Federal Santa Catarina

---

Prof. Anderson Junior Canale, Me

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico este TCC a minha esposa que me deu todo o suporte necessário, para que eu pudesse realizar o sonho de ser engenheiro eletricista. Quero agradecer também a minha filha que mesmo ainda não tendo consciência, teve a ausência do papai em muitos momentos durante esses anos.

## **RESUMO**

O trabalho vai, em primeiro lugar, destacar o que é CNC e qual a sua importância, para posteriormente analisar o funcionamento destes equipamentos, identificando seus detalhes técnicos, para destacar as principais falhas que podem impactar os processos. Como ferramentas, serão aplicadas a RCFA e a RCM, com uma abordagem baseada nos cinco porquês. Os resultados serão organizados para aperfeiçoar a tomada de decisão posterior à ocorrência da falha e para diminuir a frequência com que estas falhas acontecem.

Palavras-Chave: CNC; Manutenção; RCFA; RCM.

## **ABSTRACT**

The work will, first of all, highlight what CNC is and what is its importance, to later analyze the operation of this equipment, identifying its technical details, to highlight the main flaws that can impact the processes. As tools, RCFA and RCM will be applied, with an approach based on the five whys. The results will be organized to optimize decision making after the failure occurs and to decrease the frequency with which these failures occur.

Keywords: CNC; Maintenance; RCFA; RCM.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Movimentação em três eixos .....	12
Figura 2 - Máquina Estudada .....	14
Figura 3 - Transportador de Cavaco .....	14
Figura 4 - Bomba de Graxa para as Guias Lineares .....	15
Figura 5 - Mesa do eixo b.....	16
Figura 6 - Magazine .....	17
Figura 7 - Unidade de lubrificação dos fusos e lubrificação dos rolamentos .....	18
Figura 8 - Trocador de Ferramentas .....	18
Figura 9 - Pressetador de Ferramentas .....	19
Figura 10 - Spindle .....	20
Figura 11 - Localização do spindle .....	20
Figura 12 - Arrefecedor .....	21
Figura 13 - Sistema de rebombeamento de refrigeração .....	22
Figura 14 - Fases da proposta de ação.....	30
Figura 15 - Diagrama de causa e efeito .....	33
Figura 16 – Representação da metodologia da pesquisa .....	36
Figura 17 – Cabeçalho da planilha de registro de falhas .....	39
Figura 18 – Ilustração do método dos 5 porquês .....	40
Figura 19 – Ilustração do método dos 5 porquês .....	41
Figura 20 – DAF sem plano de ação .....	41
Figura 21 – DAF com bom resultado no plano de ação .....	43
Figura 22 – DAF com bom resultado no plano de ação .....	45
Figura 23 – Relatório de análise de falha .....	46
Figura 24 - Relatório de Análise 01 .....	47
Figura 25 – Relatório de Análise 02 .....	48
Figura 26 – Relatório de Análise 03 .....	49
Figura 27 – Relatório de Análise 04 .....	50
Figura 28 - Relatório de Análise 05 .....	51
Figura 29 – Tabela para análise da causa raiz.....	52
Figura 30 – Número de ocorrências por período.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNC - Controle Numérico Computadorizado

DAF - Detecção Analítica de Falhas

MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade

NC - *NumericalControl*

PDCA - *Plan, do, check, action*

RCFA - *Root Cause FailuresAnalysis*

RCM - *ReliabilityCenteredMaintenance*

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	10
1.1.1 Objetivo geral	10
1.1.2 Objetivos específicos	10
2 DESENVOLVIMENTO	11
2.1 Revisão de literatura	11
2.1.1 Máquinas CNC	11
2.1.2 Máquinas CNC da Empresa	13
2.1.3 Confiabilidade	23
2.1.4 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)	23
2.1.5 Análise de Falha e Casa Raiz	28
2.1.6 Ferramentas da Qualidade	30
3 METODOLOGIA	36
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	38
4.1 Análise MCC	38
4.2 Resultado 5 porquês	40
4.3 Plano de Ação por Causa	46
5 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	59

## **1 INTRODUÇÃO**

A empresa analisada no presente trabalho trabalha com máquinas CNC em diversos processos, sendo este um tópico decisivo para sua diferenciação no mercado. A empresa, por outro lado, apresenta um histórico de falhas que gera, em média, 7 diagnósticos de análise de falhas (DAF) por dia. No ano de 2021, a empresa totalizou 2177 DAF's, o que demanda atenção de quatro supervisores para realizar a análise e propor uma decisão sobre o problema/falha.

O grande número de falhas e baixa atividade em plano de ação para o tratamento dos problemas trazem impactos em termos monetários e de eficiência. Portanto, o tópico merece tratamento especial.

### **1.1 Objetivos**

#### **1.1.1 Objetivo geral**

O objetivo do presente trabalho é aplicar uma metodologia para análise de falhas em equipamentos CNC em uma metalúrgica localizada em Joinville, SC.

#### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre os tópicos relacionados a análise e prevenção de falhas;
- Indicar um conjunto de ações corretivas e preventivas para o setor de usinagem de blocos e cabeçotes da empresa;
- Avaliar potencial impacto da aplicação das ferramentas RCFA e a RCM para o caso em análise.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Revisão de literatura

#### 2.1.1 Máquinas CNC

Desde a década de 1940 começaram a ser desenvolvidas as chamadas máquinas CNC, sigla que se refere a *computernumericalcontrol*, ou comando numérico computacional. Uma máquina CNC é um dispositivo eletromecânico capaz de manipular ferramentas de acordo com uma programação computacional.

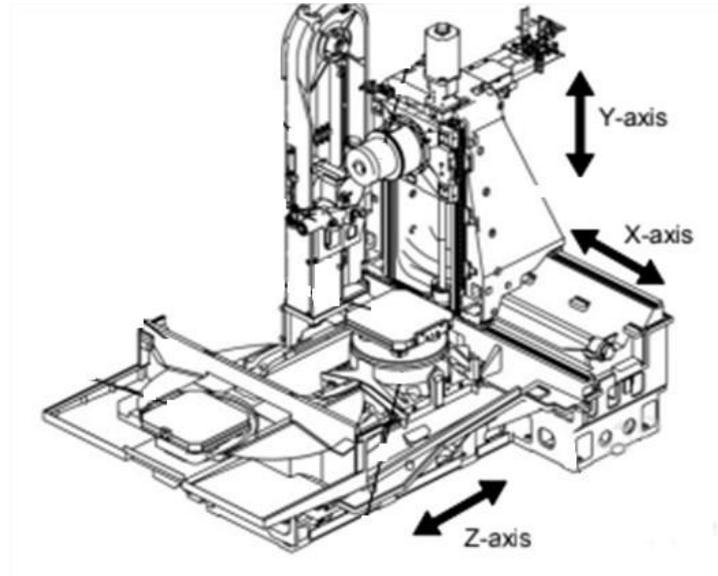
De acordo com Seames (*apud Zavelinski, 2017*), a empresa John Parsons realizava experimentos de automatização de movimento com máquinas de três eixos desde 1947, na fabricação de componentes aeronáuticos. Para tanto, o sistema se valia de cartões perfurados e fitas magnéticas que armazenavam e comunicavam a sequência de operações às máquinas NC, que na ausência do computador eram programadas manualmente. Com a chegada dos computadores, estes passaram a servir como sistemas controladores e interpretadores na operação das máquinas, e os percursos passaram a ser programados.

Apesar de sua origem estar na primeira metade do século XX, as máquinas CNC foram incorporando novas tecnologias e se tornando cada vez mais eficientes no cotidiano das empresas. É possível compreender uma máquina CNC como uma evolução das máquinas-ferramenta. Ela é uma máquina com condições de realizar seu posicionamento de forma automática, se valendo de caminhos previamente programados (*SEAMES, apud Zavelinski, 2017*).

O número de operações que uma máquina CNC moderna é capaz de realizar é muito alto, permitindo a criação de peças, consideradas complexas, de forma independente de um operador direto, cabendo a este a fixação e remoção do bloco a ser usinado e intervir em caso de uma falha no processo.

De acordo com Albert (2011), um CNC possui três eixos de movimentação, um orientado na horizontal, outro na vertical, e um terceiro na profundidade. Desta forma, os pontos no espaço podem ser definidos. A *Figura 1* ilustra em um modelo as possibilidades de movimentação em três eixos.

Figura 1 - Movimentação em três eixos



Fonte: Manual Mazak HCN6800

Madison (1996) complementa que os três eixos têm capacidade de rotação e podem gerar mais três eixos angulares (A, B e C) e que, de acordo com a complexidade demandada no projeto, outros três eixos lineares secundários (U, V e W) podem funcionar de forma paralela aos eixos principais. Em casos especiais, o autor reforça que podem ser utilizadas máquinas CNC com sete eixos, ou mais.

Stoeterau (2004) destaca que são vários os sistemas para a conversão de um movimento rotacional em um movimento linear, e que cada sistema é dotado de uma série de vantagens e desvantagens. Entre os vários tipos de routers, destacam-se os fusos trapezoidais, os de esfera, as polias sincronizadas e as cremalheiras.

De acordo com Norton (2013), um posicionamento preciso é conquistado com a rotação de entrada fornecida por um servomotor em conjunto com um parafuso de avanço preciso. O autor comenta que parafusos de esfera podem reduzir o atrito de rosca, pois eles aguentam maior carga quando comparados a parafusos de potência (dispositivo utilizado em máquinas para transformar um movimento angular em movimento linear) com diâmetros parecidos. Esta decisão, por outro lado, deve ser tomada com bastante cuidado, já que a precisão excessiva pode ser irrelevante, mas o custo do projeto se torna muito elevado.

O mercado está suficientemente abastecido por produtos capazes de suprir as necessidades de projeto. Máquinas CNC podem ser equipadas com

servomotores de corrente contínua ou motores de passo, de acordo com o nível do torque projetado para o caso determinado.

Uma fabricação por usinagem consiste na remoção de material para a formação da superfície projetada. Para tanto, acontece um movimento relativo entre a peça e a ferramenta selecionada. Estes movimentos são classificados em dois grupos: os que geram a saída de cavaco, e os que não fazem a sua retirada.

São exemplos de movimento do primeiro grupo de centros de usinagem:

- Movimento de corte: movimento relativo entre a peça e a aresta de corte, caso não haja velocidade de avanço, origina-se apenas uma retirada de cavaco;
- Movimento de avanço: movimento relativo entre a peça e a aresta de corte, juntamente com o movimento de corte, causa a retirada contínua de cavaco;
- Movimento efetivo: movimento resultante originado pelo movimento de avanço e corte executados ao mesmo tempo.

São exemplos de movimentos que não causam diretamente a formação de cavaco:

- Movimento de aproximação: aproximação da aresta de corte à peça anterior ao processo de usinagem.
- Movimento de ajuste: determina a espessura de material a ser retirado entre a peça e a aresta de corte.
- Movimento de correção: compensa a variação geométrica da ferramenta, realizado entre a peça e a aresta de corte.
- Movimento de recuo: afastamento da ferramenta após a usinagem.

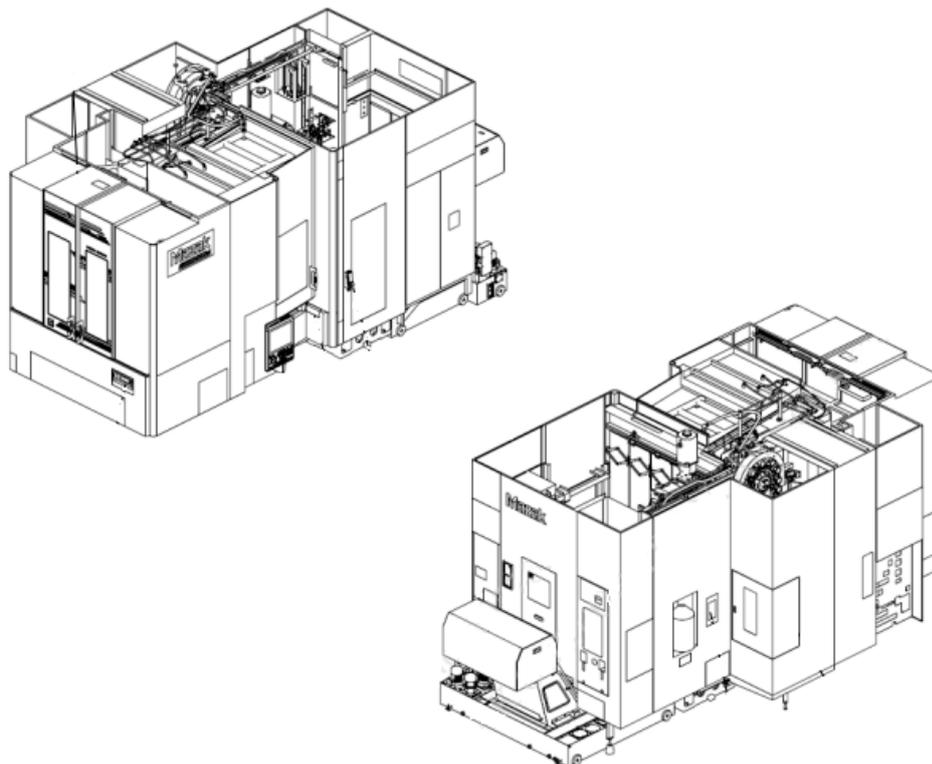
Além da seleção do tipo de movimento, é preciso definir uma velocidade, compreendendo a natureza de operação da usinagem, do material da ferramenta, da peça e da máquina. O grupo de movimento que não realiza a retirada do cavaco possui a vantagem da alta velocidade associada, tornando a decisão ainda mais complexa.

## **2.1.2 Máquinas CNC da Empresa**

Para lidar com o problema identificado na empresa e atingir o objetivo do presente trabalho, com enfoque no trabalho executado pelos centros de usinagem, será utilizada a metodologia da ferramenta de confiabilidade denominada *Root Cause Failures Analysis*(RCFA) auxiliada por ações propostas pela *Reliability Centered Maintenance*(RCM) e por ferramentas da qualidade como os cinco porquês.

Dentro da realidade da empresa estudada, os Centros de Usinagem utilizados são responsáveis pela usinagem de blocos e cabeçotes automotivos, com foco em blocos de motores de caminhões e agrícolas, utilizando seus subconjuntos. A *Figura 2* apresenta a máquina utilizada para o estudo em questão.

Figura 2 - Máquina Estudada



Fonte: Manual Mazak HCN6800

*O modelo de um exemplo de transportador de cavaco que faz a retirada dos cavacos gerados no processo é apresentado pela*

*Figura 3.*

Figura 3 - Transportador de Cavaco



Fonte: Manual Mazak HCN6800

Os equipamentos em sua grande maioria apresentam de 3 a 4 eixos, tendo até de 5 eixos para usinagem de peças específicas. Os eixos são controlados por drives, com fontes de em média 300A para alimentação e controle de seus motores. O encoder garante a posição de usinagem. A precisão deste equipamento é de micro milímetros, em uma análise extremamente criteriosa.

A máquina conta com uma bomba de graxa para as guias lineares, conforme pode ser visto pela *Figura 4*.

Figura 4 - Bomba de Graxa para as Guias Lineares



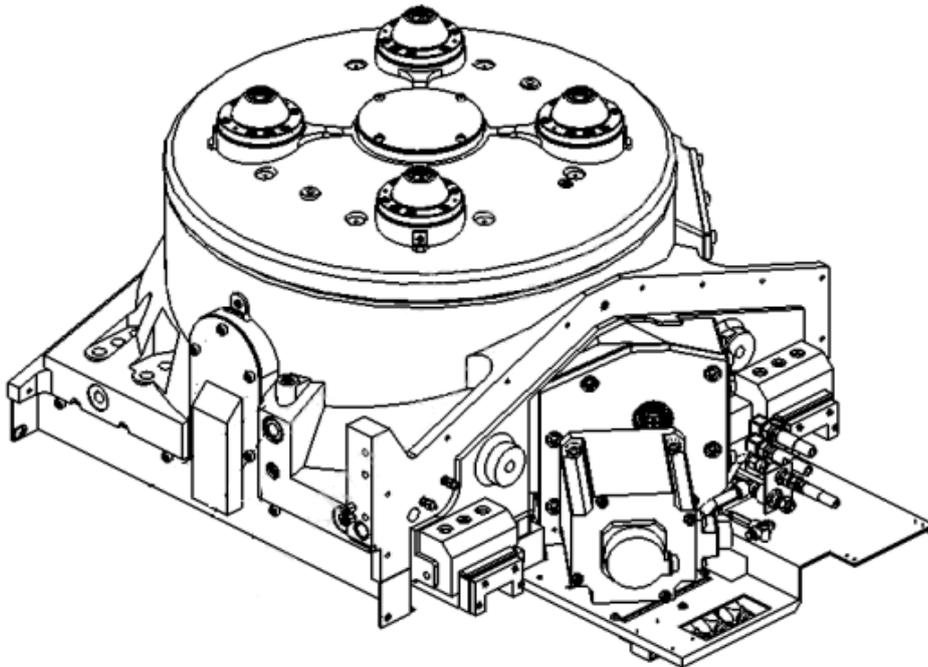
Fonte: Autor

O painel elétrico contém drives controlados pelo CNC com auxílio de encoders, com contadores para acionamento de bombas e transportadores.

Para tanto, os transportadores deste resíduo pós-usinagem acontecem através de uma espiral, que envia o cavaco para uma esteira responsável por armazenar o resíduo em uma caçamba, até sua remoção por uma empilhadeira, para posterior processo de recuperação do cavaco.

De acordo com a *Figura 5*, é possível analisar a mesa do eixo b da máquina estudada.

Figura 5 - Mesa do eixo b



Fonte: Manual Mazak HCN6800

No transportador de cavaco existe ainda um tanque de refrigeração, com bombas que alimentam a máquina para limpeza de proteção.

Outro subconjunto, o magazine, é onde ficam as ferramentas de cerâmica ou aço. A *Figura 6* ilustra um magazine.

Figura 6 - Magazine

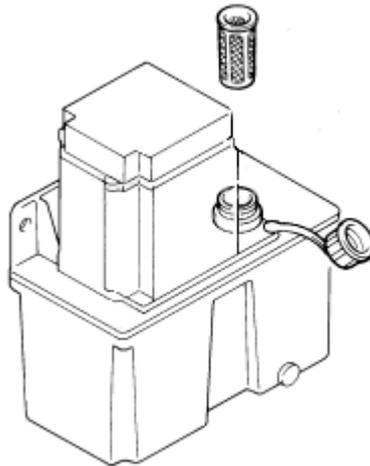


Fonte: Autor

Estas ferramentas são transportadas dentro do magazine, com várias travas, motor de giro do tipo servo. O controlador CNC faz as solicitações das ferramentas através da programação de usinagem em linguagem G.

A máquina conta com uma unidade de lubrificação de fusos e lubrificação dos rolamentos, responsáveis por garantir o funcionamento dos sistemas em alta velocidade. A *Figura 7* evidencia a unidade.

Figura 7 - Unidade de lubrificação dos fusos e lubrificação dos rolamentos



Fonte: Manual Mazak HCN6800

Outro subconjunto é o trocador de ferramentas, que é uma espécie de caixa com servomotor, encoder e braço, controlado também pelo CNC. A *Figura 8* apresenta um trocador de ferramentas.

Figura 8 - Trocador de Ferramentas

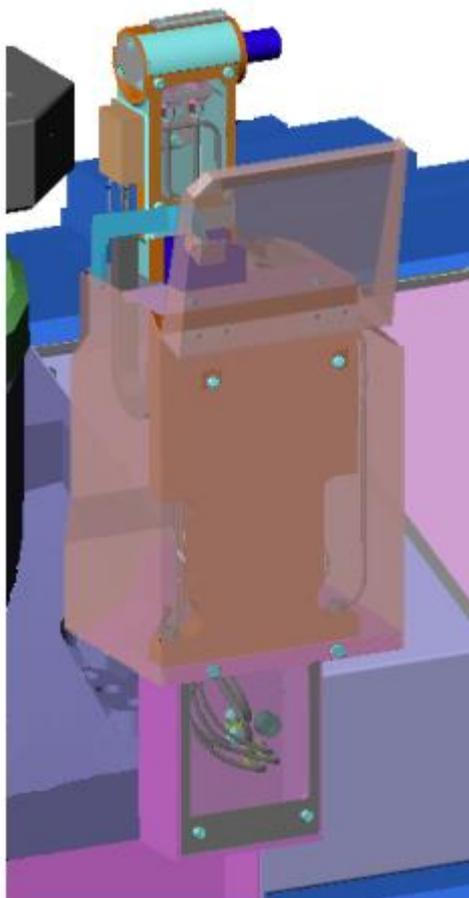


Fonte: Manual Mazak HCN6800

Este subconjunto tira a ferramenta do magazine e encaixa no motofuso, motor de autorrotação que faz a usinagem na peça.

A *Figura 9* ilustra o esquema do pressetador de ferramentas do conjunto.

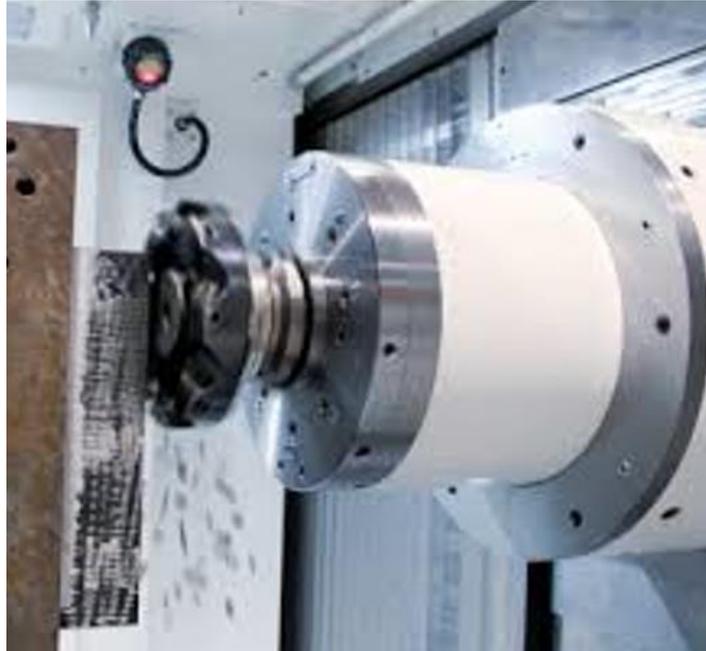
Figura 9 - Presetador de Ferramentas



Fonte: Manual Mazak HCN6800

No motofuso/spindle, que pode ser visto na *Figura 10*, existem resistores para controle da temperatura. Ele atua com variadas rotações, que trabalham de 3 mil até 10 mil rpm dependendo a aplicação. Neste conjunto existem vários sensores no varão interno para verificação da fixação da ferramenta. Sensores da parte de trás verificam se o equipamento contém ou não uma ferramenta acoplada.

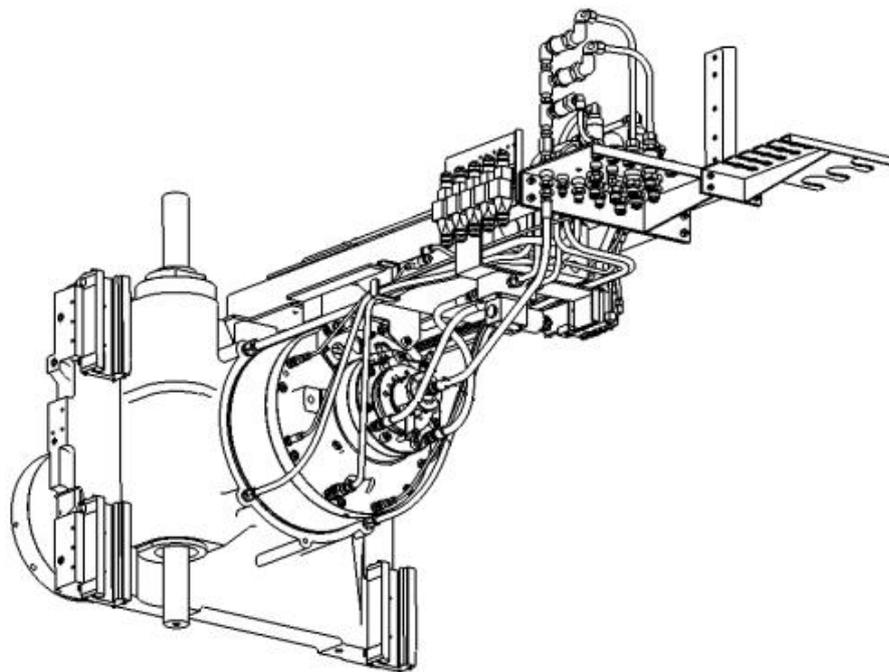
Figura 10 - Spindle



Fonte: Manual Mazak HCN6800

A *Figura 11* mostra a localização de forma ampla onde está o spindle.

Figura 11 - Localização do spindle



Fonte: Manual Mazak HCN6800

O subconjunto do arrefecedor contém a parte hidráulica, para fixação da ferramenta. A *Figura 12* ilustra o arrefecedor.

Figura 12 - Arrefecedor



Fonte: Autor

Também existe uma bomba de refrigeração que faz a circulação de refrigeração ao redor do spindle, com contadores, controladores de temperatura que acionam o ligamento do compressor. O sistema de rebombeamento de refrigeração interna da máquina como limpeza das proteções e refrigeração do corte é apresentado na *Figura 13*.

Figura 13 - Sistema de rebombeamento de refrigeração



Fonte: Autor

Uma bomba da parte externa do equipamento joga o óleo na ponta da ferramenta, com velocidade e pressão adequados. Neste equipamento existem motores e bombas de elevação para enviar o óleo.

O controlador lógico CNC faz a compilação de todo esse conjunto, compatibilizando o dispositivo correto e seu tipo de programação.

Dentre os procedimentos para a execução do presente trabalho, será realizado um levantamento bibliográfico acerca das ferramentas RCFA, RCM e Cinco porquês, além de uma revisão em outras ferramentas da qualidade como o diagrama de Ishikawa e o PDCA, visando aplicação neste conjunto de equipamentos utilizados nas operações diárias.

As ferramentas serão aplicadas na empresa metalúrgica analisada, com o propósito de definir uma ferramenta própria para a compilação do histórico das falhas ocorridas no processo de usinagem, contemplando o registro adequado de todas as análises de falhas realizadas e indicando os equipamentos e componentes considerados para cada caso.

### 2.1.3 Confiabilidade

Desde os tempos pós primeira guerra mundial, os estudos ligados à confiabilidade ganharam cada vez mais espaço e aplicabilidade em diversos setores. Lafraia (2008) indica que o termo, que nasceu para indicar números de acidentes, se tornou protagonista dentro da área da gestão da manutenção. O termo confiabilidade faz referência à durabilidade isenta de falhas de um componente ao executar determinada função, em um período especificado e sob condições pré-estabelecidas (ALMEIDA e SOUZA, 2001).

Como falha, Almeida *et al.* (2015) entendem como o estado em que um sistema deixa de executar sua função, ou seja, a confiabilidade de um determinado item ou componente pode ser conhecida de acordo com a probabilidade de um evento falha não ocorrer dentro de determinado período.

### 2.1.4 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

Brito (2014) desenvolve um raciocínio acerca da realidade das indústrias que explica o porquê de estas terem atingido um alto grau de performance em termos de produtividade e que, por consequência, a concorrência se torna mais acirrada, exigindo uma produção com alta qualidade e baixos custos.

Neste cenário, a manutenção ganha espaço como uma atividade estratégica ligada ao aumento da produtividade, garantindo confiabilidade, baixo custo, disponibilidade e alta qualidade (PINTO E NASIF, 2003).

Uma metodologia bastante aplicada para melhorias na gestão da manutenção é a “, a qual nasce nos Estados Unidos da América, na década de 1960, com enfoque no setor aeronáutico.

Terminada a segunda grande guerra, os avanços científicos desenvolvidos por órgãos ligados ao exército norte americano foram direcionados para o setor produtivo. Siqueira (2014) destaca que a automação industrial cresce no período posterior à guerra. A economia estava abalada, assim como o campo social, que exigia do setor produtivo a preservação do meio ambiente e a garantia de

segurança. Buscando este fim, o autor aponta que as organizações passaram a projetar e a manter seus processos, o que permitiu o desenvolvimento de metodologias como a da Manutenção Centrada na Confiabilidade.

Moubray (1997) já indicava que desde 1930 a manutenção vem evoluindo, passando pelo que os teóricos classificam como as três gerações da manutenção.

Na primeira geração, a manutenção tinha seus objetivos ligados à mecanização dos processos. Esta fase ocorre no período que vai até a segunda grande guerra. A indústria ainda dependia da força de trabalho humana, braçal, dificultando grandes conquistas em termos de redução do tempo produtivo. Desta forma, a prevenção de falhas nos equipamentos não tinha relevância. Como os equipamentos eram de simples montagem, sua vida útil era maior e os reparos facilitados. Neste período, a manutenção se resumia a direcionar limpezas e lubrificações de rotina nos equipamentos (MOUBRAY, 1997).

A segunda geração ocorreu na década de 1950, bastante influenciada pelo cenário imposto pelo pós-guerra. Para Moubray (1997), com alta exigência nos tempos de entrega e com a queda na disponibilização de mão de obra, a mecanização passou a crescer. Na segunda geração, era a industrialização o foco da manutenção, o que mudou os objetivos da manutenção. Com uma indústria utilizando máquinas e processos mais complexos, mais mecanizados, a redução no tempo de processamento ganhou espaço no planejamento das indústrias. Com isso, as falhas nos equipamentos foram reconhecidas como importantes barreiras para a produtividade, fazendo surgir o conceito de manutenção preventiva. O investimento ligado à manutenção cresceu no período, o que levou ao desenvolvimento de um plano de manutenção e controle de sistemas, o que consolidou muitas práticas de manutenção.

Já na terceira geração, os avanços ligados à manutenção passaram a desenvolver a automação dos processos. As técnicas de manutenção aplicadas até 1975 não eram suficientes para atender às demandas ligadas à automação industrial. Siqueira (2014) indica que o consumo crescia, juntamente com os custos de mão de obra e de capital, crescentes devido à ampliação da concorrência em nível global, e que, portanto, as linhas de produção passaram a ser dimensionadas

no limite de suas necessidades, o que estreitou a faixa operacional e aumentou a importância da manutenção. O modelo de produção proposto pela Toyota ganhava espaço ao redor do planeta, promovendo ideais de estoques reduzidos ao longo de todo o processo, o que colocava toda a linha de produção em risco frente a interrupções pequenas. A sociedade passou a exigir maior qualidade e melhor desempenho de seus produtos, o que abria ainda mais espaço para a aplicabilidade das técnicas de manutenção.

A expansão da manutenção para diversos setores foi rápida, destacados seus bons resultados. Brito (2014) explica que a MCC é uma metodologia sistemática que aperfeiçoa as manutenções corretiva, preventiva e preditiva, além da manutenção por melhorias. O autor destaca que o foco da Manutenção Centrada na Confiabilidade é a preservação da função do sistema, contrariando o senso comum que acredita na simples busca pelo restabelecimento do item físico para sua condição original.

Para Siqueira (2014), as atividades da manutenção podem ser classificadas de acordo com sua programação ou com o objetivo de suas tarefas.

A manutenção realizada em termos de programação é subdividida em manutenção programada e manutenção não programada. A manutenção programada é aquela que acontece de forma periódica, quando realizada em intervalos fixos de tempo, ou aperiódica, quando o intervalo varia (SIQUEIRA, 2014).

Em termos de manutenção ligada aos objetivos, a subdivisão engloba suas categorias de manutenção (SIQUEIRA, 2014):

1. Manutenção Corretiva - Aquela que tem por finalidade corrigir as falhas após a sua ocorrência.
2. Manutenção Preventiva - Aquela que busca a prevenção da ocorrência da falha e protege a operação das consequências que derivariam da tal ocorrência.
3. Manutenção Preditiva - Aquela que busca a antecipação da falha pela percepção de algumas variáveis que podem indicar o surgimento de uma falha, antes de sua ocorrência.

4. Manutenção Detectiva - Aquela que identifica falhas que não são percebidas, mas que já ocorreram.
5. Manutenção Produtiva - Aquela que tem como objetivo melhorar a utilização e a produtividade dos equipamentos.
6. Manutenção Proativa - Aquela em que a experiência é empregada para que o processo seja aperfeiçoado, inclusive podendo ser aplicada em projetos de novos equipamentos.

Para Siqueira (2014), uma estratégia de manutenção deve se concentrar em evitar, ou reduzir, as consequências que derivam de uma falha, o que pode ser alcançado dando prioridade de atendimento às necessidades do processo, em detrimento das atividades individuais dos itens.

Para o autor, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) deve preservar as funções dos sistemas, identificar os modos de falhas capazes de interromper as funções, priorizar as necessidades das funções, selecionar tarefas preventivas aplicáveis e efetivas, e determinar a periodicidade ótima para cada atividade.

Pode-se perceber que, na metodologia da MCC, as funções possuem um papel importante. Em resumo, a metodologia da MCC consiste na identificação das funções do equipamento em análise, ou seja, seu conceito operacional. Na sequência, os modos de falha são levantados, com as prováveis causas identificadas para a realização do detalhamento de seus efeitos e suas consequências. Desta forma, é possível concluir sobre a criticidade das falhas e sobre quais são as consequências mais severas para o caso, ou seja, aquelas que ameaçam a segurança, a confiabilidade ou o custo.

Moubrey (1997) aponta algumas questões para que a Manutenção Centrada na Confiabilidade consiga indicar um método adequado para a manutenção. As questões totalizam sete:

1. Quais são as funções e padrões de desempenho associadas no contexto operacional?

2. De que modo o sistema para de cumprir suas funções?
3. O que causa cada falha funcional?
4. O que acontece quando esta falha ocorre?
5. De que modo esta falha importa?
6. O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada?

Com o intuito de responder a estas sete questões, a Manutenção Centrada na Confiabilidade utiliza um conjunto de métodos e ferramentas, todos estruturados com uma sequência lógica.

O trabalho da Manutenção Centrada na Confiabilidade consiste no desenvolvimento de um plano de manutenção focado na preservação das funções do sistema. Siqueira (2014) destaca que a preservação das funções é a meta principal das metodologias modernas de manutenção.

Dentro da Manutenção Centrada na Confiabilidade existem diferentes classificações para as funções.

Uma função primária remete àquilo que explica o porquê da obtenção do ativo. São exemplos desta categoria funções como qualidade do produto, velocidade, armazenagem e serviço ao cliente.

Quando se reconhece que o ativo pode fazer mais do que aquilo previamente definido em suas funções primárias, obtém-se uma função secundária. Neste caso, geralmente estão associadas áreas como controle, conforto, segurança e contenção, além da conformidade com as leis ambientais (MOUBRAY, 1997).

De acordo com a NBR 5462 (1994), uma falha é o término da capacidade de um item de realizar a sua função especificada. Isso é definitivamente importante para lidar com a manutenção, já que um plano de manutenção deve focar em se aproximar do gerenciamento das falhas para o alcance de seus objetivos.

Uma falha pode ser caracterizada de diversas formas, como quanto à origem, quanto à extensão, quanto à velocidade, quanto à manifestação, quanto à criticidade e quanto à idade (SIQUEIRA, 2014).

A falha é considerada uma falha de origem quando se originam de deficiências de um componente, dentro dos limites normais de operação. A falha pode estar enquadrada no grupo quanto à extensão quando se analisa a perda parcial ou total da função requerida do item. Sobre a classificação de falhas quanto à velocidade, ela pode ser gradual ou repentina, de acordo com a percepção de sua ocorrência. A falha pode ser considerada quanto à manifestação quando ela se classifica como por degradação, total ou intermitente. As falhas ligadas à criticidade se dividem em críticas e não críticas. Por fim, quanto à idade, a falha pode ser prematura, aleatória ou progressiva.

Dentro da lógica da Manutenção Centrada na Confiabilidade, as falhas podem ser funcionais, quando existe capacidade de um item realizar a sua função dentro do esperado com relação à performance, ou potenciais, quando existe uma condição identificável e mensurável indicando uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência.

Brito (2014) destaca ainda que um modo de falha pode ser definido como qualquer evento que possa levar um sistema ou um processo a falhar. É uma forma de se direcionar às causas das falhas funcionais.

A confiabilidade tem como objetivo determinar o comportamento de falhas ao longo do tempo, ou seja, ela é a probabilidade de não ocorrência de falhas dentro de um período definido. Para ampliação do entendimento de um determinado componente, a falha é analisada respondendo a perguntas como “por que falhou?”, “quando falhou?”, “quanto tempo trabalhou sem falhar?”. Neste sentido, Gano (2011) determina a diferença entre um método e uma ferramenta de análise de causa raiz. A primeira tem seu uso limitado, enquanto o último dispõe de diversos procedimentos para o alcance de seu fim.

### **2.1.5 Análise de Falha e Causa Raiz**

O método conhecido como *Root Cause Failure Analysis* (RCFA), cuja tradução para o português é Análise de Falha e Causa Raiz, considera a descrição do modo de falha, sua verificação e as diversas hipóteses para suas não conformidades, permitindo à equipe de trabalho uma investigação profunda e a consequente eliminação, ou diminuição, das falhas, derivadas das origens do problema (LEPREE, 2008).

Pinto e Xavier (2001) complementam que a RCFA é um método de análise de falhas que pode ser utilizado com eficácia para equipamentos críticos que se tornam gargalos produtivos em seus processos.

Rooney e Hewel (2004) destacam um importante ponto a se considerar. Para os autores, o método objetiva auxiliar com relação à identificação das causas pela qual determinada falha acontece, e, portanto, não foca na simples descrição dos fatos ocorridos. Conhecer o objetivo do método é importante para que se compreenda que só se determinam ações de combate à reincidência de um evento falha quando o motivo pelo qual ela acontece já está identificado. É desta forma que a causa original do defeito deve ser buscada.

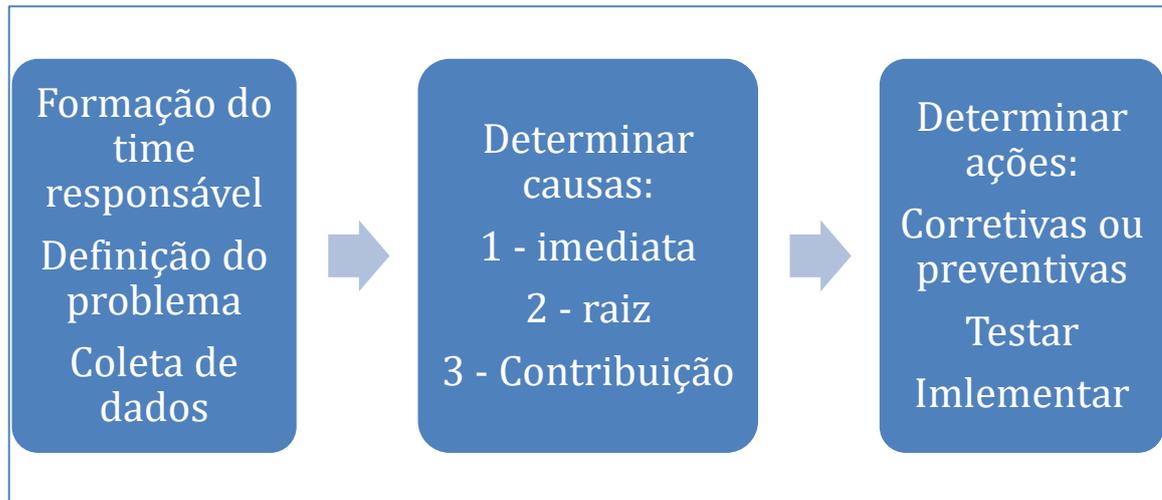
Na RCFA o problema pode ser estudado de maneiras distintas, o que permite a existência de divergências entre os modelos. Ransom (2007) propõe que a RCFA pode ser composta, a partir de um evento, por uma fase de coleta, seguida por uma fase de análise, e finalizada por uma fase de solução.

Na fase de coleta estão consideradas as atividades de formação da equipe responsável pelo caso, a definição do problema e a própria coleta em si.

Já a fase de análise contempla a determinação das causas da falha em análise, podendo esta ser dividida em uma causa imediata, uma causa raiz, ou uma contribuinte para a causa.

Na fase de solução são propostas ações, corretivas ou preventivas, que deverão ser testadas e validadas antes de sua real implementação. A *Figura 14* demonstra as principais fases e suas atividades.

Figura 14 - Fases da proposta de ação



Fonte: Autor

Andersen e Fagerhaug (2006) estabelecem os principais termos e nomenclaturas para lidar com uma RCFA. Para os autores, o termo Ocorrência indica uma condição, ou evento, que não esteja incluso na funcionalidade do sistema normal ou do componente utilizado. Evento é o termo utilizado para indicar uma ocorrência em tempo real. É um fato que tem condições de afetar de forma intensa o funcionamento do sistema. O Fator Causal, ou o porquê, é um evento ou uma condição que resulte, ou ao menos participe, no acontecimento de um efeito. Os fatores causais se dividem em Causa direta (quando a causa resulta na ocorrência), em Causa contribuinte (quando a causa contribui com a ocorrência, mesmo não sendo o principal fator), ou causa raiz (aquela que, quando corrigida, impedirá a ocorrência daquela ocorrência e de ocorrências similares).

### 2.1.6 Ferramentas da Qualidade

Como pode ser percebido, a manutenção tem total relação com a oferta de um produto ou serviço que atenda, entre outros pontos, ao quesito da qualidade. Como a qualidade tornou-se peça chave na diferenciação de diversas empresas que competem no mercado, a literatura sobre o tema cresce e alcança diferentes setores. Indezeichak (2005) reconhece que o gerenciamento da qualidade, tanto no caso de produtos como de serviços, tem relação com a competitividade necessária

para a sobrevivência no mercado, oferecendo melhorias no produto e no processo que serão percebidas pelo mercado.

Dentro do universo da qualidade, Oliveira, Allora e Sakamoto (2006) apontam as ferramentas da qualidade com forma de atacar as causas para coibir o aparecimento de problemas. Dentre as ferramentas da qualidade está aquela conhecida como Método dos cinco porquês.

#### **2.1.6.1 Método dos Cinco Porquês**

O método dos cinco porquês é mais uma abordagem desenvolvida no sistema Toyota de Produção, que tem como princípio o reconhecimento da causa raiz do problema. Para Ohno (1997), os sintomas mais óbvios escondem as verdadeiras causas do problema percebido.

O método consiste em formular a pergunta “Por quê?” cinco vezes, ultrapassando assim a barreira dos sintomas e chegando-se à causa raiz. O método não se limita ao número cinco, é apenas uma sugestão. Para Weiss (2011), a pergunta “por quê?” deve ser repetida até que se alcance a causa raiz do problema, o que pode acontecer com mais do que cinco perguntas, ou menos do que cinco perguntas.

A partir do método dos cinco porquês é possível determinar o que de fato aconteceu naquela ocorrência, descobrir a causa que originou aquele, e outros, efeitos, e ainda descobrir o que deve ser feito para que a probabilidade de que a ocorrência se repita seja reduzida.

Weiss (2011) descreve um conjunto de passos para a aplicação do método dos cinco porquês. São um total de cinco passos:

1. Iniciar com a afirmação da situação que se deseja compreender;
2. Perguntar por que a afirmação descrita no passo número 1 pode ser considerado verdadeiro;

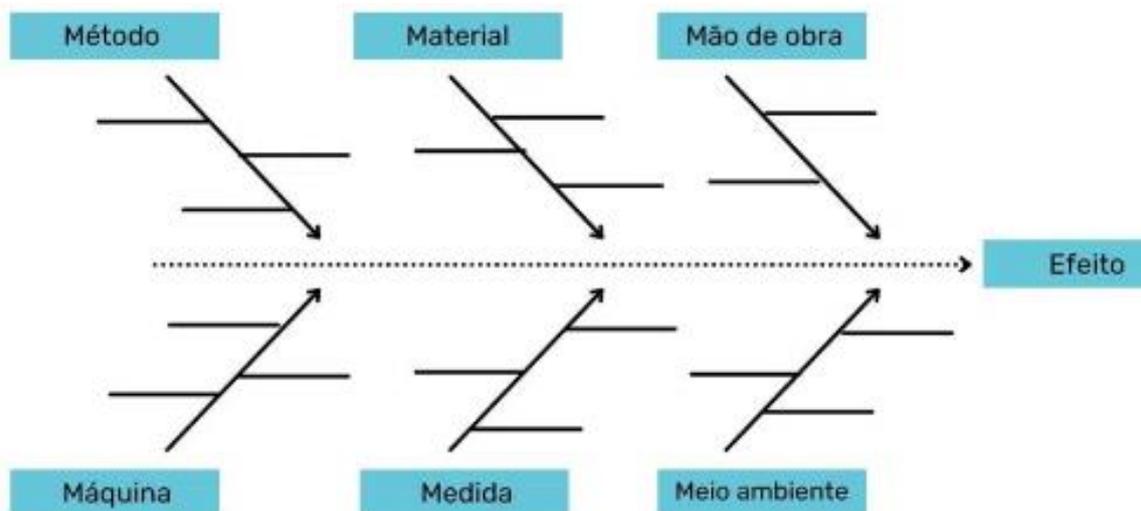
3. Para a razão descrita para explicar a questão do passo número dois, deve ser perguntado mais uma vez: por quê?;
4. O algoritmo deve ser repetido até que não seja mais possível perguntar o porquê de uma resposta;
5. Ao término das respostas, a causa raiz foi identificada.

#### **2.1.6.2 Diagrama de Causa e Efeito**

O diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa ou Diagrama Espinha de Peixe, é uma ferramenta da qualidade desenvolvida por Ishikawa para auxílio no levantamento de causas-raízes de um determinado problema, analisando, por meio de uma metodologia definida, todos os fatores que envolvem a execução do processo. O Diagrama de Causa e Efeito permite que os responsáveis pela análise em questão organizem todas as informações, de uma forma que fique possível indentificar as prováveis causas do problema. Werkema (1995) defende que o Diagrama de Causa e Efeito se configura como uma ferramenta que pode ser utilizada para demonstrar quais são as relações entre um resultado de um processo, o que, neste caso, se refere ao efeito e aos fatores que podem ser modificados para diferenciação no resultado.

A *Figura 15* ilustra um *template* para a utilização do diagrama de causa e efeito.

Figura 15 - Diagrama de causa e efeito



Fonte: Pagina da internet Zeev

Disponível em: <<https://blog.zeev.it/diagrama-de-ishikawa/>> Acesso em : 03 out 2022.

De acordo com o método proposto para o Diagrama de Causa e Efeito, todo problema apresenta um conjunto de causas específicas que podem ser analisadas e testadas, com o intuito de comprovar qual delas está sendo mais relevante na consequência analisada, que é o problema em questão. Desta forma, é possível eliminar também o problema que originou o trabalho.

Werkema (1995) indica seis etapas para serem seguidas na execução do diagrama de causa e efeito.

1. Definir o problema a ser estudado, bem como definir o que se deseja obter;
2. Estudar e conhecer o processo por meio de observação, documentação e relacionamento com os envolvidos;
3. Fazer reuniões com os envolvidos no processo para que o problema seja discutido;
4. Organizar as informações obtidas em causas principais, secundárias, terciárias, e eliminar as informações sem importância;
5. Montar o diagrama de causa e efeito e conferir com todos os envolvidos a representação da situação obtida.

6. Marcar aqui é mais importante para o alcance dos objetivos.

Tubino (2000) e Slack *et al.* (2009) entendem o diagrama de causa e efeito como um método com alto grau de atingimento de seus objetivos, ou seja, de definição das raízes do problema. É um método que possui aparência simplista, mas que torna processos complexos em um modelo funcional para todos os membros da equipe, com diversas formações ou experiências distintas.

### **2.1.6.3 Brainstorming**

Uma poderosa ferramenta da qualidade é o Brainstorming, que pode ser traduzido para o português como “tempestade de ideias”. Esta ferramenta tem grande aplicabilidade entre as próprias ferramentas da qualidade e também entre outros métodos independentes de qualquer relação com a área da qualidade.

Schlicksupp (1999) afirma que a técnica pode servir como o primeiro impulso para a utilização de algumas ferramentas mais avançadas, já que o brainstorming traz à tona as ideias mais óbvias e acessíveis para alcançar aquelas mais elaboradas.

O principal objetivo do brainstorming é a obtenção do maior número possível de informações, valendo-se do repertório de conhecimento de todos os membros participantes, ou ao menos interessados, do processo em questão. Costas (1991) explica que o Brainstorming é uma rodada de ideias, na qual as sugestões dos vários membros do grupo são expostas para posterior discussão sobre as causas ou efeitos de um determinado problema, e sobre como este problema pode ser amenizado, ou eliminado pelo grupo.

Importante salientar que, para o autor, existe o pressuposto de que um grupo é capaz de gerar mais ideias do que um indivíduo isolado. Este é o motivo pelo qual o brainstorming é tratado como fonte de inovação e utilizado em gestão da criatividade.

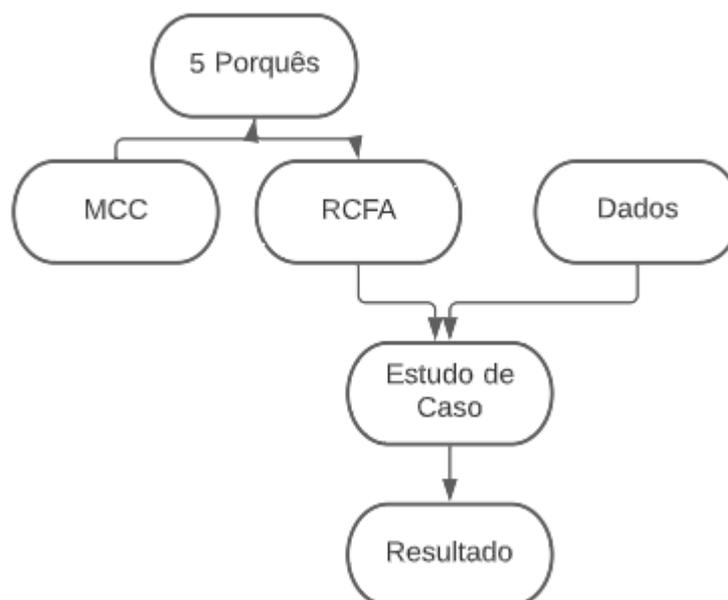
Baxter (2008) entende que quanto mais ideias forem expostas, melhor para a resolução do problema. Isso porque o brainstorming é uma técnica de base quantitativa, ideal para aplicação em um grupo de cinco a nove pessoas.

Dentre os participantes, Baxter (2008) salienta a importância do mediador, responsável por direcionar o foco das ferramentas e por garantir que todas as etapas e regras sejam seguidas. Destaca-se uma das regras que livra qualquer ideia do julgamento alheio. Todos os participantes devem estar à vontade para falar o que vier na cabeça, já que mesmo uma ideia considerada ruim pode servir como *insight* para alguém propor uma ideia ótima.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia proposta para a execução do presente trabalho segue o esquema sugerido pela *Figura 16*.

Figura 16 – Representação da metodologia da pesquisa



Fonte: Autor

De acordo com a Figura 16, os conceitos apresentados e utilizados como referencial bibliográfico do trabalho são organizados para atingirem maior aderência com a realidade da empresa em que o estudo é aplicado. O principal motivo para utilização desse método é a agilidade que a ferramenta proporciona de acordo com a alta demanda de análises que o processo de fabricação de peças usinadas exige.

A metodologia do MCC é aplicada para uma análise geral das falhas ocorridas, suas causas e suas consequências. A partir do método dos 5 porquês, as distintas causas de falhas encontradas podem ser agrupadas, com o intuito de permitir a detecção dos principais pontos a serem trabalhados. Este aprofundamento leva até a metodologia do RCFA, com a qual os resultados podem ser analisados.

Desta forma, os dados coletados na empresa analisada são organizados no formato de Estudo de Caso, em que foram selecionados subconjuntos dos equipamentos CNC para a percepção das possibilidades de melhoria em termos de

pessoal dedicado, tempo gasto e, conseqüentemente, diminuição dos custos operacionais.

Os resultados do presente trabalho são apresentados em formato de planilha, com possibilidade futura de desenvolvimento de um aplicativo para a gestão das falhas de manutenção do setor estudado. Em essência, a planilha e o aplicativo servem como uma espécie de guia de bolso para os gestores do setor, indicando as ações prioritárias a serem tomadas, identificando o histórico e a frequência de cada tipo de falha em cada tipo de componente.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Análise MCC

A partir de uma reunião com os gestores ligados ao setor da produção e da manutenção, foi obtida uma planilha na qual os principais dados acerca das falhas apresentadas pelos equipamentos são registrados e analisados.

Os campos da planilha foram construídos de acordo com os passos propostos pelo método da manutenção centrada na confiabilidade (MCC). Foram consideradas colunas para o registro do “problema”, das “possíveis causas”, das “consequências”, do “índice de severidade” e da “solução”.

Como base para readequação do tratamento dos dados selecionados e analisados, foi utilizado o sistema proposto por Moubray (1997) com as sete questões ligadas à manutenção:

1. Quais são as funções e padrões de desempenho associadas no contexto operacional?
2. De que modo o sistema para de cumprir suas funções?
3. O que causa cada falha funcional?
4. O que acontece quando esta falha ocorre?
5. De que modo esta falha importa?
6. O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada?

A questão 1 não foi considerada para o registro dos dados no sistema, visto que os operadores de máquina reconhecem as funções e os padrões de desempenho associadas ao contexto operacional como parte de seu cotidiano, tornando desprezível este registro.

As questões de 2 a 6 se transformaram em colunas a serem preenchidas pelo responsável pela coleta dos dados.

A questão 2 está associada ao título “Problema”, em que é inserida uma descrição do problema encontrado.

A questão 3 está associada ao título “Possíveis Causas”, em que é respondido o primeiro “porquê” que descreve uma causa da falha ocorrida. Já a questão 4 aparece no título “Consequência”, em que o operador descreve quais são as consequências da falha para os processos consecutivos.

A questão 5 passa a ser respondida de acordo com um índice que vai de 1 a 5, em que 1 significa uma baixa importância para a falha ocorrida, e 5 significa alta importância para a falha ocorrida. Importâncias intermediárias são classificadas com os números 2, 3 e 4.

A questão 6 é respondida no título “Solução”, em que as ações tomadas como solução para a falha são registradas.

A questão 7 não é contemplada nesta etapa do estudo, pois com a aplicação dos 5 porquês todas as falhas passam a ser agrupadas e respondidas com uma tarefa proativa.

A *Figura 17* ilustra o cabeçalho construído para o registro das falhas de acordo com as propostas do MCC

Figura 17 – Cabeçalho da planilha de registro de falhas

MODELO DO EQUIPAMENTO	TAG	PROBLEMA	SOLUÇÃO	POSSÍVEIS CAUSAS	DATA ENTRADA	NOME NOTIFICADO	DAF	SUBCONJUNTO
BRUNIDORA NAGEL VERTICAL	09-BR0002	PORTA DE TRABALHO DANIFICADA/QUEBROU TRILHO	RECUPERADO NA CALDERARIA	DESGASTE POR ATRITO/TEMPO DE USO	21/02/2020	Joel da Conceicao Braga	80072094	MAGAZINE
ESTANQUEIDADE OP-70	09-EQ0059	FALHA NA SEQUENCIA / FALHA NO ESTOPER	DESTRAVADO MICRO PRESENÇA DE PEÇA DA MESA	EXCESSO DE SUJEIRA /CONTAMINAÇÃO	16/03/2020	Sergio Carlos dos Santos Filho	80072936	HIDRAULICO
FRESADORA DELAMARIS	09-FR0113	FALHA NO AVANÇO DA MESA/FALHA NA REDE PROFIBUSS	APÓS VÁRIAS INTERVENÇÕES EQUIPAMENTO RETORNOU À FUNCIONAR E NÃO GEROU MAIS FALHAS / SEM SOLUÇÃO DIAGNÓSTICADA	FALHA DE COMUNICAÇÃO DA REDE PROFIBUSS	26/01/2020	Gustavo Henning	80071110	EIXO X
FURADEIRA PROFUNDA NAGEL 2BELL	09-FU0039	DISPLAY DA IHM NÃO LIGA	SUBSTITUIDO IHM	BATER CONTRA / USO INADEQUADO / CONTAMINAÇÃO	08/05/2020	Ronald Marcos Pinheiro Custodia	80073543	EIXO B
LAVADORA CEMAQ	09-LV0005	BAIXA PRESSÃO NA BOMBA	FILTRO SATURADO	SUBSTITUIDO FILTRO	28/01/2020	Anderson Cidral	80071209	EIXO X
PRENSA BRIQUETEIRA RUF 90/3900/120	09-PR0116	ALARME DE Prensagem/PINO DO CARRETEL DA VALVULA TRANÇADO	DESMONTADO VALVULA E REALIZADO LIMPEZA DESTRAVANDO CARRETEL	LUBRIFICAÇÃO INADEQUADA / FALTA DE LUBRIFICAÇÃO / SUJEIRA NO SISTEMA HIDRAULICO	08/05/2020	Balicio Correa	80073550	EIXO B

Fonte: Autor

## 4.2 Resultado 5 porquês

Considerando o alto tempo necessário para compreender e tomar decisões acerca de cada falha em específico, e considerando que a causa raiz pudesse estar camuflada por causas superficiais, o método dos 5 porquês foi aplicado para que as diversas falhas pudessem ser agrupadas de acordo com sua causa raiz.

De acordo com a sistemática adotada por Weiss (2011) para a aplicação dos cinco porquês, é importante:

1. Iniciar com a afirmação da situação que se deseja compreender;
2. Perguntar por que a afirmação descrita no passo número 1 pode ser considerado verdadeiro;
3. Para a razão descrita para explicar a questão do passo número dois, deve ser perguntado mais uma vez: por quê?;
4. O algoritmo deve ser repetido até que não seja mais possível perguntar o porquê de uma resposta;
5. Ao término das respostas, a causa raiz foi identificada.

As DAF's do plano de ação foram reunidas para análise pela ótica dos 5 porquês, como ilustram as *Figura 18* e *Figura 19*.

Figura 18 – Ilustração do método dos 5 porquês

POR QUÊ?	
1º POR QUÊ?	CABEÇOTE DE PLASTICO DANIFICADO
2º POR QUÊ?	OPERADOR AO FECHAR A PORTA DANIFICOU 28.10.2020 11:33:33 BRAZIL Rodrigo da Rosa (09820349) DANIFICOU O CABEÇOTE, PROVAVEL CAUZA O MESMO FECHOU COM MUITA FORÇA DESALINHANDO A PORTA E COLIDINDO A LINGUETA CONTRA A CHAVE, SENDO QUE FOI VERIFICADO A LINGUETA E CHAVE E A MESMA APRESENTAVA FIXAÇÃO CORRETA.
3º POR QUÊ?	
4º POR QUÊ?	
5º POR QUÊ?	

Fonte: Recorte do sistema SAP da empresa, feito pelo autor.

Figura 19 – Ilustração do método dos 5 porquês

POR QUÊ?	
1º POR QUÊ?	FERRAMENTA NÃO TRAVADA NO BRAÇO
2º POR QUÊ?	UNHAS DO BRAÇO COM FOLGA
3º POR QUÊ?	PINO DA UNHA QUEBRADO
4º POR QUÊ?	OXIDAÇÃO DO CONJUNTO DA UNHA
5º POR QUÊ?	

Fonte: Recorte do sistema SAP da empresa, feito pelo autor.

Como pode ser visto nas *Figura 18* e *Figura 19*, nem todos os porquês foram respondidos das respectivas DAF's. Isso é algo previsto na sistemática teórica dos 5 porquês, pois a investigação continua até que o problema principal seja encontrando, podendo ser perguntado “por quê?” menos ou mais do que cinco vezes, como sugerido pelo passo 4 do método de Weiss (2011).

Com a análise de 87 Diagnóstico de Análise de Falha (DAF) ocorridas em 21 meses, foi possível elencar as principais causas que se ramificam nas diversas falhas percebidas no setor produtivo.

A partir da aplicação dos 5 porquês em todas as 87 DAF registradas, foi possível determinar que são quatro as principais causas das falhas ocorridas, sendo elas:

1. a falta de manutenção preventiva;
2. a falha de operação;
3. a substituição de peças; e
4. a limpeza.

A *Figura 20* apresenta uma análise completa de uma DAF que não exigiu uma ação de maior custo ou esforço.

Figura 20 – DAF sem plano de ação

GRUPO PLANEJ. M05 - MAN USINAGEM	CT RESP.: ELD - ELETRICISTA USINAGEM MF4/MF6
Nº DA NOTA CORRET. 12758417	Nº ORDEM CORRET.: 12564432
TEMPO PARADA: 80,00 MIN	NOTAS CORRETIVAS PEND.: 00020
PEÇA EM PROD.: USINAGEM BLOCO	NOTIFICADOR: Luan Carlos Marques
CÓD. DE PARADA DA PROD.: N/A	
DESCRIÇÃO DA NOTA DAF: alarme de refrigeração	
DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E AÇÃO IMEDIATA: 07.01.2022 09:28:13 BRAZIL Luan Carlos Marques (09832518) DESCRIÇÃO DO PROBLEMA: FALHA UNIDADE ALTA PRESSÃO	
AÇÃO IMEDIATA: REALIZADO LIMPEZA DA BOMBA E DO TANQUE	
POR QUÊ?	
1º POR QUÊ?	FALHA NA UNIDADE ALTA PRESSÃO
2º POR QUÊ?	NIVEL BAIXO DO TANQUE
3º POR QUÊ?	POUCA VAZÃO DA BOMBA DE ENCHIMENTO
4º POR QUÊ?	EXCESSO DE BORRA NO TANQUE INFERIOR
5º POR QUÊ?	FALTA DE LIMPEZA
SOLUÇÃO DA CAUSA RAIZ (O QUE FOI, SERÁ OU ESTÁ SENDO FEITO?)	
REALIZAR LIMPEZA DO TANQUE ( TOL )	
ANÁLISE CRÍTICA	
MEDIDA SERÁ TRATADA COMO CORRETIVA	
CLASSE	

Fonte: Recorte do sistema SAP da empresa, feito pelo autor.

Como pode ser visto no relatório mostrado pela *Figura 20*, com a investigação dos 5 porquês foi possível encontrar uma causa raiz de simples resolução. A falha na unidade alta pressão foi causada pelo nível baixo do tanque, que por sua vez foi causado por pouca vazão da bomba de enchimento. Esta foi causada por excesso de borra no tanque inferior, o que só aconteceu por falta de limpeza. Portanto, para resolução deste tipo de problema, seria suficiente a aplicação de manutenção corretiva e a definição de uma rotina de limpeza das máquinas e aparelhos utilizados nos processos.

Em outro exemplo de DAF é possível perceber uma ocasião em que a equipe obteve sucesso na análise e na solução da falha. A *Figura 21* ilustra o exemplo.

Figura 21 – DAF com bom resultado no plano de ação

EQUIPAMENTO: 1006270 - CENTRO USINAGEM MAZAK HCN6000-2					
LOCAL DE INSTALAÇÃO:					
GRUPO PLANEJ.			CT RESP.: MMD - MECANICO USINAGEM MF4/MF6		
Nº DA NOTA CORRET. 12151829			Nº ORDEM CORRET.: 12000797		
TEMPO PARADA: 80,00 MIN			NOTAS CORRETIVAS PEND.: 00013		
PEÇA EM PROD.: BLOCO			NOTIFICADOR: ROBERTO OTT		
CÓD. DE PARADA DA PROD.: N/A					
DESCRIÇÃO DA NOTA DAF:					
Falha na unid. de alta pressão					
DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E AÇÃO IMEDIATA:					
13.10.2020 22:04:46 BRAZIL ROBERTO OTT (09792159)					
DESCRIÇÃO DA FALHA: FALHA UNIDADE ALTA PRESSÃO, VERIFICADO QUE O DISJUNTOR DA BOMBA DA ALTA PRESSÃO DESARMADO. CONSTATADO CONTATOR COLADO.					
AÇÃO IMEDIATA: ABERTO O MESMO ESTAVA MUITO CARBONIZADO. FOI REQUISITADO CONTATOR NOVO DE 32A. INSTALADO, TESTADO OK.					
POR QUÊ?					
1º POR QUÊ?	DISJUNTOR MOTOR DESARMADO				
2º POR QUÊ?	SOBRECARGA BOMBA ALTA PRESSÃO				
3º POR QUÊ?	CONTATOR COM CONTATOS COLADOS				
4º POR QUÊ?	DESGASTE / MULTIPLOS ACIONAMENTOS				
5º POR QUÊ?	TEMPO VIDA ÚTIL				
SOLUÇÃO DA CAUSA RAIZ (O QUE FOI, SERÁ OU ESTÁ SENDO FEITO?)					
SUBSTITUIDO CONTATOR POR NOVO DE 32A CCO - CONTATO COLADO - CONTATOR ALTA PRESSÃO					
ANÁLISE CRÍTICA					
VERIFICAR DESCRIÇÃO >>>					
19.10.2020 13:22:09 BRAZIL Geferson Borba (09715069) Tel. 8169 8169 SABE ME DIZER PARA QUANTOS AMPER, ESTAVA DIMENSIONADO O CONTATOR QUE CARBONIZOU? VOU VERIFICAR COM FORNECEDOR E VER SE NESSES CASOS DE VÁRIAS MANOBRAS INTERMITENTES, NÃO DEVERIA SER DIMENSIONADO UM DISJUNTOR EM AC4.					
20.10.2020 14:46:09 BRAZIL ROBERTO OTT (09792159) CONTATOR JA FOI DESCARTADO E O MESMO JÁ NÃO ERA MAIS ORIGINAL. O CONTATOR QUE ESTA SENDO INSTALADO É O QUE TEMOS DISPONIVEL NO ESTOQUE.					
SUGESTÃO: VER UM MODELO COMPATÍVEL COM A FUNÇÃO PARA VÁRIAS PARTIDAS, COM CAPACIDADE DE NO MÍNIMO 25A. E SER ADICIONADO COMO CONTROLE DE ESTOQUE					
- CONTATOR INSTALADO FOI: 40096100 - CONTATOR TRIP;32A;SIEMENS/3RT20271AN20 21.10.2020 11:02:55 BRAZIL Geferson Borba (09715069) Tel. 8169 8169 OK					
14.11.2020 17:02:52 BRAZIL ROBERTO OTT (09792159) O CONTATOR INFORMADO JÁ É ADEQUADO A ESPECIFICAÇÃO AC4. REMOVIDA A MEDIDA PARA SUBSTITUIÇÃO, POIS O CONTATOR JÁ FOI INSTALADO EM CORRETIVA.					
PLANO DE AÇÃO					
No	DESCRIÇÃO	DT INÍCIO	DT FIM	RESPONS	STATUS
1	CONTATOR ALTA PRESSAO	21.10.2020	31.10.2021	Geferson Borba	Medida concluída
22.10.2020 09:20:32 BRAZIL Geferson Borba (09715069) Tel. 8169 8169 FEITO ANÁLISE JUNTO AOS SUPERVISORES, CONSTATADO JUNTO AOS FORNECEDORES, QUE O EQUIPAMENTO DEVE TRABALHAR EM REGIME AC4, IREMOS PEGAR UMA LINHA MODELO, E FAZER A SUBSTITUIÇÃO DOS CONTADORES PELO CONTATOR DE 32A, COM REGIME AC4 22A, FICOU ACORDADO QUE ALINHA MODELO SERÁ 6.7, SERÁ DIVULGADO A MEDIDA PARA QUE QUANDO UM CONTATOR DER PROBLEMA EM OUTROS EQUIPAMENTOS ESSE QUE DEVE SER UTILIZADO.					

Fonte: Recorte do sistema SAP da empresa, feito pelo autor.

Como pode ser visto na *Figura 21*, com a utilização dos 5 porquês foi possível compreender que a causa raiz que levou à falha ocorrida foi um componente com tempo de vida útil inferior ao tempo de utilização do mesmo.

Neste outro exemplo, mostrado pela *Figura 22*, a aplicação dos 5 porquês leva da falha de desarme do disjuntor-motor para o desgaste dos contatos do contator, o que pode ser classificado como uma questão de substituição de peças. Neste caso, chama-se atenção para o tempo gasto com a execução do plano de melhoria: cerca de seis meses de estudos e análises foram utilizados para a definição e execução das medidas tomadas.

Figura 22 – DAF com bom resultado no plano de ação

EQUIPAMENTO: 1006310 - CENTRO USINAGEM MAZAK VCN535C-2					
LOCAL DE INSTALAÇÃO: _____					
GRUPO PLANEJ. M05 - MAN USINAGEM			CT RESP.: ELU - ELETRICISTA USINAGEM		
Nº DA NOTA CORRET. 12028004			Nº ORDEM CORRET.: 11885340		
TEMPO PARADA: 29,10 MIN			NOTAS CORRETIVAS PEND.: 00026		
PEÇA EM PROD.: USINAGEM CAPA			NOTIFICADOR: Mauricio Carlos Castanho		
CÓD. DE PARADA DA PROD.: N/A					
DESCRIÇÃO DA NOTA DAF:					
Desarmou rele térmico					
DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E AÇÃO IMEDIATA:					
20.06.2020 13:39:31 BRAZIL Mauricio Carlos Castanho (09896000) DESARME DE DISJUNTOR MOTOR DO MOTOR HIDRÁULICO DO SISTEMA TAF.					
POR QUÊ?					
1º POR QUÊ?	DESARME DO DISJUNTOR-MOTOR				
2º POR QUÊ?	SOBRECARGA DO MOTOR				
3º POR QUÊ?	MOTOR TRABALHA EM REGIME DE PARTIDA				
4º POR QUÊ?	LIGAR TEMPO CURTO NA TROCA DE FERRAMENTE				
5º POR QUÊ?	DESGASTE DOS CONTATOS DO CONTATOR				
SOLUÇÃO DA CAUSA RAIZ (O QUE FOI, SERÁ OU ESTÁ SENDO FEITO?)					
SUBS. CONTATOR POR MODELO ESTADO SÓLIDO CAB - CONTATO ABERTO - DESGASTE NOS CONTATOS DO CONTATOR					
ANÁLISE CRÍTICA					
VERIFICAR DESCRIÇÃO >>> 11.07.2020 07:06:45 BRAZIL Geferson Borba (09715069) JÁ TIVEMOS ALGUMAS OCORRENCIAS NESSES CONTATOR DO HIDRÁULICO EM OUTROS EQUIPAMENTOS, SERÁ FEITO LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES PARA MODIFICARMOS CONTATOR ORIGINAL, POR CONTATOR DE ESTADO SÓLIDO.  Não possuem partes móveis e componentes mecânicos. Não há nenhum tipo de contato que pode gerar arcos. Seu material não desgasta com o tempo de uso. Inexistência de qualquer ruído acústico. Sua durabilidade, assim como a velocidade de comutação, são maiores. O raio de tensão e correntes também são maiores.  05.11.2020 09:03:11 BRAZIL Geferson Borba (09715069) Tel. 8169 8169					
PLANO DE AÇÃO					
No	DESCRIÇÃO	DT INÍCIO	DT FIM	RESPONS	STATUS
1	VERIFICAR VIABILIDADE	11.07.2020	01.01.2021	Geferson Borba	Medida concluída
11.07.2020 07:19:20 BRAZIL Geferson Borba (09715069) ESTÁ SENDO VERIFICADA VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DO CONTATOR POR CONTATOR ESTADO SÓLIDO JUNTO AOS FORNECEDORES, ASSIM QUE FOR FEITO TODO LEVANTAMENTO ABRIREMOS NOVO PLANO DE AÇÃO PARA POSSÍVEL SUBSTITUIÇÃO QUE PODERÁ ABRANGER OUTROS EQUIPAMENTOS, DEVIDO HISTÓRICO DE FALHA DESSE COMPONENTE PARA APLICAÇÃO. 20.07.2020 11:08:26 BRAZIL Geferson Borba (09715069) REALIZADO O LEVANTAMENTO DE VALORES PARA VERIFICAR SE HÁ POSSIBILIDADE DE MELHORIA, EM ANEXO TEMOS OS VALORES. 18.08.2020 13:42:53 BRAZIL Geferson Borba (09715069) FOI APROVADO PELA GESTÃO E CADASTRADOS OS CÓDIGOS 40096603 40096611 40096604 40096605 40096606 40096607 40096608 SERÁ SOLICITADO A COMPRA DO CONTATOR ADEQUADO PARA APLICAÇÃO E INSTALADO					

Fonte: Recorte do sistema SAP da empresa, feito pelo autor.

### 4.3 Plano de Ação por Causa

Conforme a metodologia do RCFA, a partir da determinação das causas raiz e imediatas, é possível realizar a proposta de ações corretivas e preventivas para a eliminação daquela causa.

O modelo de relatório utilizado para a análise das falhas é mostrado pela *Figura 23*.

Figura 23 – Relatório de análise de falha

DAF: 80077763	FALHA NO SINAL DE PORTA FECHADA, NÃO ESTAVA TRAVANDO LIGUETA NO CABEÇOTE	
MOTIVO DA FALHA	CABEÇOTE DA CHAVE DANIFICADO (CABEÇOTE DE PLÁSTICO)	
SOLUÇÃO DA CAUSA	SUBSTITUIDO CHAVE DE SEGURANÇA POR MODELO DE ESTOQUE 440G-MT (CABEÇOTE DE FERRO)	
Local instalação / equipamento:		
Responsável pela DAF:	RODRIGO DA ROSA	
Tempo que equipamento ficou parado na corretiva	585 MIN	
Tempo para execução da solução da causa	FEITO NA CORRETIVA	




Fonte: Autor

Cada DAF é inserida no sistema com as informações ligadas ao motivo da falha e à solução proposta, além de outras informações como o equipamento em que ocorreu a falha, o responsável pela DAF e o tempo perdido devido às consequências da falha.

A DAF mostrada na *Figura 22* foi tratada conforme mostra a *Figura 24*.

Figura 24 - Relatório de Análise 01

DAF: 80074336	DESARMANDO DISJUNTOR DO HIDRÁULICO DA TROCA DE FERRAMENTAS TAF	
MOTIVO DA FALHA	CONTATO ABERTO CONTATOR, DESGASTE DOS CONTATOS DEVIDO ALTA QUANTIDADE DE MANOBRAS	
SOLUÇÃO DA CAUSA	MODIFICADO TIPO DE CONTATOR PARA CONTATOR DE ESTADO SÓLIDO, ELIMINANDO O CONTATO MECANICO, AGORA É COM CHAVEAMENTO DE TRANSISTORES	
Local instalação /equipamento:		
Responsável pela DAF:	MAURICIO CARLOS CASTANHO	
Tempo que equipamento ficou parado na corretiva	120 MIN	
Tempo para execução da solução da causa	120 MIN	
<p>NÃO POSSUEM PARTES MÓVEIS E COMPONENTES MECÂNICOS.  NÃO HÁ NENHUM TIPO DE CONTATO QUE PODE GERAR ARCOS.  SEU MATERIAL NÃO DESGASTA COM O TEMPO DE USO.  INEXISTÊNCIA DE QUALQUER RUÍDO ACÚSTICO.  SUA DURABILIDADE, ASSIM COMO A VELOCIDADE DE COMUTAÇÃO, SÃO MAIORES.</p>		
Retorno esperado:	Aumentar MTBF, aumentar a vida útil do componente para aplicação.	



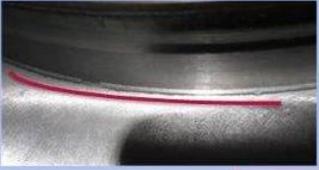
Fonte: Autor

Percebe-se na *Figura 24* que, a partir dos 5 porquês, foi possível identificar como causa raiz o desgaste dos contatos do contator, o que incide na causa geral “substituição de componentes”. Sendo assim, foi proposta a modificação do tipo de contato para contator de estado sólido, o que eliminaria o contato mecânico com a utilização do chaveamento de transistores. Com esta solução, espera-se que o tempo médio entre falhas (MTBF) e a vida útil do componente sejam aumentados.

Neste caso, o tempo em que o equipamento ficou parado na corretiva foi igual a 120 minutos, e o tempo para a execução da solução da causa também foi igual a 120 minutos.

No relatório de DAF mostrado pela *Figura 25* é possível contrastar o tempo gasto na corretiva.

Figura 25 – Relatório de Análise 02

DAF: 80076117	NÍVEL BAIXO DO ÓLEO HIDRÁULICO DA MESA, VAZANDO NA LATERAL DA MESA, TRINCA NA BASE DO EMBOLO DO FREIO	
MOTIVO DA FALHA	FALHA NO PROJETO DO FREIO DO EQUIPAMENTO (PRESSÃO MUITO ALTA 70 BAR)	
SOLUÇÃO DA CAUSA	MODIFICADO PRESSÃO DE TRABALHO DO FREIO PARA LIMITAR EM 50 BAR, INSTALADO REGULADORA DE PRESSÃO HIDRÁULICA (PARA A MAZAK JÁ FOI INFORMADO O PROBLEMA E ESTÁ ALINHADO QUE ESSA REGULAGEM VENHA DE FÁBRICA PARA NOVOS EQUIPAMENTOS)	
Local instalação / equipamento:		
Responsável pela DAF:	EDENILSON GON	
Tempo que equipamento ficou parado na corretiva	5049 MIN	
Tempo para execução da solução da causa	N/A	
		
Retorno esperado:	Eliminar a ocorrência permanentemente	

Fonte: Autor.

Como pode ser visto na *Figura 25*, o tempo gasto na corretiva foi de 5049 minutos, o que resulta em um período maior do que o de 10 dias para a correção. Neste caso, a ação indicada para que a falha não volte a ocorrer foi a modificação da pressão de trabalho do freio, que passou de 70 BAR para 50 BAR. Neste caso, pode ser considerado que houve uma substituição no equipamento, com o qual acredita-se que a ocorrência não volte a ocorrer, visto que a pressão superior à necessária causou nível baixo do óleo hidráulico da mesa, vazamento na lateral e trinca na mesa do êmbolo do freio.

A outra grande causa analisada no trabalho pode ser percebida na *Figura 26*

Figura 26 – Relatório de Análise 03

DAF: 80075471	QUEBROU PINO DA UNHA
MOTIVO DA FALHA	FALTA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA
SOLUÇÃO DA CAUSA	PARA PODERMOS ATENDER OCORRENCIA EMERGENCIAL MAIS RAPIDAMENTE EM CASO DE QUEBRA DO PINO E PARA SUBSTITUIÇÃO DO PINO EM PREVENTIVA, FOI REALIZADO FURAÇÃO PARA SACAR PINO, TAMBEM FUI INCLUSO PREVENTIVA DO CONJUNTO
Local instalação / equipamento:	
Responsável pela DAF:	JHONATA RIBAS LIMA / HENRIQUE DE MOURA PAINI
Tempo que equipamento ficou parado na corretiva	290 MIN
Tempo para execução da solução da causa	FEITO NA CORRETIVA



Retorno esperado:	Baixar MTTR.
-------------------	--------------

Fonte: Autor.

Nota-se que, para a DAF analisada na *Figura 26*, a quebra do pino da unha ocorreu por falta de manutenção preventiva. A ocorrência, por sua vez, demandou um tempo de 290 minutos para resolução, visto que a quebra ocasionou problemas que também precisaram ser analisados e corrigidos, o que seria amenizado com uma atuação mais precisa de manutenção preventiva.

O relatório de análise de DAF mostrado pela *Figura 27* aponta outra grande causa raiz.

Figura 27 – Relatório de Análise 04

DAF : 80074594	QUEBROU PROTEÇÃO DO EIXO X
MOTIVO DA FALHA	ACUMULO DE CAVACOS SEM ESCOAMENTO
SOLUÇÃO DA CAUSA	INSTALADO BICOS ADICIONAIS DE LIMPEZA NO EQUIPAMENTO PARA ESCOAR O CAVACO E EVITAR QUEBRA, UMA BOMBA ADICIONAL FOI INSTALADA PARA ESSA LIMPEZA PARA GARANTIR A EFICIENCIA E NÃO IMPACTAR NA REFRIGERAÇÃO ORIGINAL
Local instalação / equipamento:	
Responsável pela DAF:	JOAO PAULO BONGUERNER
Tempo que equipamento ficou parado na corretiva	283 MIN
Tempo para execução da solução da causa	1500 MIN

Retorno esperado:	Aumentar MTBF, aumentar a vida útil do componente para aplicação.
-------------------	---



Fonte: Autor.

No caso da DAF apresentada no relatório da *Figura 27*, a proteção do eixo X quebrou, o que aconteceu por excesso de acúmulo de cavacos sem escoamento. Este tipo de problema acontece por consequência de um procedimento de limpeza inadequado. Com 183 minutos equipamento parado na corretiva e 1500 minutos necessários para a execução da solução, ou seja, mais do que três dias de equipamento parado, a solução definida pela equipe responsável foi a de instalar bicos adicionais de limpeza no equipamento, o que aumentaria a capacidade do mesmo em escoar o cavaco sem impactar na refrigeração original.

Com a solução proposta, espera-se que aumente o tempo médio entre falhas e, por consequência, a vida útil do componente.

A falha humana durante a operação também gera falhas que precisam ser analisadas, conforme mostra o relatório da *Figura 28*.

Figura 28 - Relatório de Análise 05

DAF : 80074110	TRANCOU TRANSPORTADOR DE CAVACOS
MOTIVO DA FALHA	OPERADOR ESQUECEU O TRANSPORTADOR DESLIGADO
SOLUÇÃO DA CAUSA	CRIADO ALARME DE TRANSPORTADOR DESLIGADO, TAMBEM MODIFICADO CHAVE SELETORA DE DIREÇÃO DO TRANSPORTADOR DE 200V AC PARA 24V DC.
Local instalação / equipamento:	
Responsável pela DAF:	EWERTON SYLAS MACHADO/CLEIVER RODRIGUES SOTERO
Tempo que equipamento ficou parado na corretiva	200 MIN
Tempo para execução da solução da causa	360 MIN


Retorno esperado:	Eliminar a ocorrência permanentemente.
-------------------	--

Fonte: Autor.

Neste caso, foram gastos 560 minutos com equipamento parado para corretiva e execução da solução da causa. O transportador de cavacos ficou trancado porque o operador se esqueceu de ligá-lo. Falhas humanas estão sempre suscetíveis a ocorrer, portanto a melhor estratégia para falhas do tipo é impedir que elas aconteçam. No exemplo mostrado, foi criado um alarme de transportador desligado, bem como foi modificada a chave seletora de direção do transportador de 200V AC para 24V DC. Com isso, espera-se que a ocorrência seja eliminada permanentemente.

As análises das falhas ganharam velocidade e resultados com maior qualidade após a aplicação da planilha que já contemplava a causa raiz. Com isso, cada tipo de falha é direcionado para uma equipe especialista na resolução e que está apta para tomar as decisões necessárias enquanto ação corretiva e enquanto planejamento de futuras falhas.

A imagem da *Figura 29* demonstra a planilha final obtida para análise das falhas.

Figura 29 – Tabela para análise da causa raiz

MODELO DO EQUIPAMENTO	TAG	PROBLEMA	SOLUÇÃO	POSSÍVEIS CAUSAS	DATA ENTRAD	NOME NOTIFICADO	DAF	SUBCONJUNTO
CENTRO USINAGEM MAZAK HCN6800-2	09-CU0121	ATC FORA DE POSIÇÃO / PARANDO ANTES DA TROCA	AJUSTADO FREIO E PARAMETROS DO INVERSOR DO ATC	DESGASTE MECANICO / FALTA DE PREVENTIVA /	24/09/2020	Dilnei Menegaz Garezzi Junior	80076690	ATC
CENTRO USINAGEM MAZAK HCN6800-2	09-CU0121	FALHA NO TROCADOR DE FERRAMENTAS / FALHA DE COMUNICAÇÃO NA REDE INTERNA	REFIXADO CONECTORES ETHERNET	FALHA DE COMUNICAÇÃO POR MAL CONTATO NOS CONECTORES	09/09/2020	Diogui Dagostim Gislon	80076237	ATC
CENTRO USINAGEM MAZAK HCN6800-2	09-CU0134	CAINDO FERRAMENTAS	AJUSTADO PONTO DE TROCA	FALTA DE PREVENTIVA	03/03/2020	Igor Bernardo Goulart	80072423	ATC
CENTRO USINAGEM MAZAK HCN6800-2	09-CU0156	FALHA NO ATC / POTE 0/90 GRAUS NÃO RETORNA SINAL DE POSIÇÃO	SUBSTITUIDO REGULADORA DO CILINDRO OBSTRUÍDO POR OXIDAÇÃO/SUJEIRA	SISTEMA DE LUBRIFIL DANIFICADO/ FALTA ÓLEO NO LUBRIFIL/ CONTAMINAÇÃO ÓLEO CORTE NO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO	28/04/2021	Luciano Pereira de Oliveira	80084251	ATC
CENTRO USINAGEM MAZAK HCN6800-2	09-CU0188	FALHA NA PORTA DO ATC / PORCA DO CILINDRO SOLTA	FEITO REAPERTO ADEQUADO NA PORCA	PLANO PREVENTIVO ATRASADO / DESGASTE / RETRABALHO	27/05/2020	Diego Joao Carlos da Rosa	80073932	ATC
CENTRO USINAGEM MAZAK HCN6800-2	09-CU0188	FALHA NA TROCA DE FERRAMENTA DEVIDO A	AJUSTADO PONTO DE TROCA EM Y	FALTA DE PREVENTIVA PARA AJUSTE DO PONTO	20/05/2020	Ricardo de	80073805	ATC

Fonte: Autor.

Como pode ser percebido na *Figura 29*, todos os equipamentos que apresentaram falhas no período foram listados na tabela, facilitando o início do trabalho corretivo.

O exemplo da falha da primeira linha apresentada na *Figura 29* aconteceu no Centro de Usinagem Mazak. Neste equipamento, trocador de ferramentas estava fora de posição. Como causas para o problema, podem ser considerados o desgaste por atrito e o tempo de uso ou falta de preventiva. Com a aplicação dos 5 porquês sobre o problema observado, chega-se à conclusão que a causa raiz é a falta de manutenção no freio.

Uma vez identificada a causa raiz, o problema pode ser direcionado para a equipe responsável, no caso, pela manutenção corretiva. Essa equipe conduz as atividades, apontando para as consequências de uma falha daquele tipo, classificando a falha com relação ao índice e registrando o tipo de solução encontrado para o caso.

Com a estratificação por causa raiz, a equipe responsável tende a encontrar soluções com maior rapidez e qualidade, devido à especialização no tipo de problema e ampliação do conhecimento sobre o caso.

A inserção de dados na tabela é uma atividade que demanda a reunião da equipe para a realização do procedimento proposto pelos 5 porquês. Isso porque o registro de cada um dos porquês afetaria a usabilidade da tabela, a qual deve disponibilizar para o registro apenas a causa raiz, com a qual as medidas são tomadas. Neste sentido, a utilização do aplicativo para celular como substituto da planilha tem a capacidade de agilizar ainda mais a inserção dos dados e orientar as equipes com relação aos registros.

Após a definição dos responsáveis pela execução de cada plano de ação, as medidas tomadas se refletiram em um número menor de ocorrências, como pode ser visto no exemplo pela

*Figura 30*

Figura 30 – Número de ocorrências por período

Equipamento	Descrição	Data da nota	Total	1p	2p
1006232	FALHA NA UNIDADE DE ALTA PRESSÃO	07/01/2020	5	4	1
1006195	FALHA NA ALTA PRESSÃO	08/01/2020	6	6	0
1006229	FALHA NA UNIDADE DE ALTA PRESSÃO	09/01/2020	13	9	4
1006245	AJUSTAR ALTA PRESSÃO	21/01/2020	10	9	1
1006246	AJUSTAR ALTA PRESSÃO	02/02/2020	15	8	7
1006299	FALHA NA BOMBA DE ALTA PRESSÃO	03/02/2020	6	5	1
1006233	cu0120 falha na unidade de alta pressão	06/02/2020	14	8	6
1006244	VERIFICAR SISTEMA DA ALTA PRESSÃO	07/02/2020	10	6	4
1006234	FALHA NA UNIDADE DE ALTA PRESSÃO	12/02/2020	6	1	5
1006233	FALHA NA UNIDADE DE ALTA PRESSÃO	20/02/2020	14	8	6
1005628	falha na bomba de alta pressão	10/11/2021	1	0	1
1006306	ALARME NA UNIDADE DE ALTA PRESSÃO	10/12/2021	1	0	1

Fonte: Autor.

O primeiro período, denominado na

*Figura 30* pela coluna 1p, acontece até a data de 03/03/2021, enquanto o segundo período, referente à coluna 2p, acontece após a referida data. O período de amostragem não é diferente. Apenas aqui está colocado como o desempenho era antes e como ficou depois da aplicação do método proposto por esse trabalho. Percebe-se que o número de ocorrências diminuiu com o início da aplicação do método que culminou na execução dos planos de ação, sob responsabilidade do especialista na causa raiz.

Buscando comprovar a melhoria em termos de confiabilidade, os cálculos foram realizados para os períodos anterior e posterior à data relativa à execução dos planos de ação das DAF.

Em primeiro lugar, foi calculado o Tempo médio entre Falhas (MTBF) e a taxa de falhas.

$$MTBF = \frac{7944}{55} = 144.44$$

Onde 7944 é o somatório do tempo disponível no período, em horas, e 55 é o número de falhas ocorridas no período.

Para a taxa de falhas o cálculo foi o seguinte:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{144,44} = 0,0069$$

Por fim, a confiabilidade do período é dada por:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,0069*15} = 8,27\%$$

Assim, 8,27% é a confiabilidade dos equipamentos em um momento anterior à definição de um plano para a execução das DAF.

Para o período posterior à definição de um plano para a execução das DAF, a confiabilidade passou para 18,89%, conforme as fórmulas da sequência:

$$MTBF = \frac{6912}{35} = 216$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{216} = 0,00463$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,00463 \cdot 15} = 18,89\%$$

Com isso, fica claro que os equipamentos passaram a ter uma confiabilidade maior com a definição dos planos de ação de execução das DAF, direcionados pela equipe responsável para cada causa raiz.

## 5 CONCLUSÃO

A realização do trabalho leva ao atingimento do objetivo principal do mesmo, ou seja, foi possível aplicar uma metodologia para análise de falhas em equipamentos CNC em uma metalúrgica e perceber melhorias no processo.

A quantidade de plano de ação realizado posterior ao diagnóstico da análise de falhas (DAF) está diretamente ligada à probabilidade de um equipamento não entrar em falha (confiabilidade). Portanto, a organização das falhas permitida pelo método da MCC juntamente com a RCFA e os 5 porquês fez com que aumentasse a autonomia e a condição técnica da equipe responsável pela DAF, trazendo maiores condições para a execução dos planos definidos.

Com a execução dos planos, o número de ocorrência de falhas por máquina caiu de forma significativa, o que pode ser percebido pela comparação dos dados anteriores e posteriores à data de 03/03/2021. A Confiabilidade anterior à referida data era de 8,27% e passou para 18,89%.

Como oportunidades de trabalhos futuros, sugere-se a elaboração de um aplicativo capaz de automatizar e dinamizar o registro e a análise das falhas em menor tempo e de forma facilitada. O presente trabalho valida os resultados alcançados pelos procedimentos desenvolvidos em planilha, e que podem ser resolvidos com utilização de softwares dedicados.

## REFERÊNCIAS

ALBERT, Alain. **Understanding CNC Routers**. FPInnovations - Forintek Division, First Edition, 2004

ALMEIDA, A. T.; SOUZA, F. M. C. **Gestão da Manutenção: na Direção da Competitividade**. Editora Universitária da UFPE, 2001.

ANDERSEN, B.; FAGERHAUG, T. **Root Cause Analysis: Simplified Tools and Techniques**. ASQ Quality Press, 2nd edition, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

INDEZEICHAK, V. **Análise do controle estatístico da produção para empresa de pequeno porte: um estudo de caso**. : Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2005.

ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total: à maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

LAFRAIA, J. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. 3 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2008.

LEPREEE, J. RCFA: **Root Causes Failure Analysis**. Disponível em: <http://www.tarrani.net/linda/RootCauseAnalysis.pdf>, 2008. Acesso em: 10 de Junho de 2022.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**: 2. ed. New York: Industrial Press Inc. 1997.

MADISON, J. **CNC Machining Handbook: Basic Theory, Production Data, and Machining Procedures**. Norwalk: Industrial Press Inc., 1996.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas: UMA ABORDAGEM INTEGRADA**. 4. ed. [S. I.]: Bookman, 2013. 1055 p.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. de A. N. **Manutenção: função estratégica**. 2 ed. rev. amp. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

RANSOM, D. L. **A practical guideline for a successful root cause failure analysis**. Proceedings of the Thirty-Sixth Turbomachinery Symposium, p.149-155, 2007.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**; Revisão técnica Henrique Corrêia, Irineu Gíaresi. São Paulo: Atlas, 2009.

SIQUEIRA, I, P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**: Manual de Implementação. 3ª ed; Rio de Janeiro : Qualimar, 2014.

STOETERAU, R. L. **Introdução ao Projeto de Máquina Ferramentas Modernas**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Mecânica, 2004

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2000

WEISS, A.E. **Key business solutions**: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.

WERKEMA, M.C.C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

ZAVELINSKI, A. L. **Projetos de Torno CNC para prototipagem rápida e outros usos**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento de Eletrônica