

Engenharia de Manutenção (EF 302000)

Prof. Dr. Marcelo Sucena, PhD

marcelosucena@gmail.com

<http://www.marcelosucena.com.br>



MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

MANUTENÇÃO NÃO-ESTRATÉGICA

- Retrabalho;
- Problemas crônicos (p.e. acidentes);
- Falta de estoque para manutenção;
- Várias corretivas;
- Baixa produtividade dos equipamentos e dos RH;
- Falta histórico (dados) de manutenção (ou não-confiável);
- Falta de planejamento (informações);
- Excesso de horas extras;
- Tempo SOMENTE para corretiva (sem planejamento).

CONSEQUÊNCIAS DA MANUTENÇÃO NÃO-ESTRATÉGICA

- Baixa autoestima do grupo;
- Confiabilidade baixa;
- Disponibilidade baixa;
- Não cumprimento de prazos;
- Elevado número de equipamentos em manutenção;
- Perda de produção;
- Ação reativa e não proativa;
- NÃO SE MEDE, NÃO SE ESTUDA, NÃO SE PLANEJA, NÃO SE GERENCIA.

1



2



3



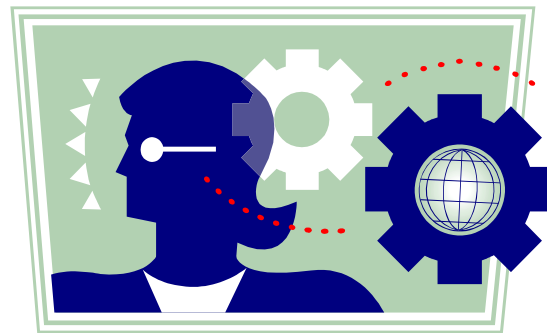
1 - <http://www1.an.com.br/2002/dez/07/index.htm>

2 - http://sinferrobru.blog.uol.com.br/arch2007-06-24_2007-06-30.html

3 - <http://www.carambei.pr.gov.br/html/modules/news/article.php?storyid=145>

MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE - MCC

A MCC é um processo sistemático, utilizado para decidir (**planejar**) o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer tudo o que os seus usuários desejam que ele faça.



A metodologia de **Manutenção Centrada na Confiabilidade²** procura aumentar a confiabilidade e a segurança operacional dos ativos, além da minimização dos impactos ambientais negativos.

Visa o PLANEJAMENTO da manutenção.
Foco na FUNÇÃO do sistema.

2 – Em inglês, *Reliability-centred Maintenance* (RCM)

Questões	Manutenção Tradicional	MCC
Atuação	Componente	Sistema
Foco	Funcionamento do Equipamento	Função do Sistema
Objetivo	Manter o equipamento	Preservar a função
Atividades	O que <u>pode</u> ser feito	O que <u>deve</u> ser feito
Dados	Pouca importância	Muita importância
Documentação	Pouca	Necessária
Metodologia	Empírica	Estruturada
Ação	Desgaste do equipamento	Planejamento: consequências da falha
Normalização	Não	Sim

Mas, como tudo começou?

Começou a ser desenvolvida na **indústria aeronáutica***, por volta de 1960, com o objetivo de estabelecer um **processo racional e sistemático de análise**, que permitisse a definição de tarefas de manutenção de equipamentos para garantir a confiabilidade e a segurança operacional ao menor custo possível.

* Certificação do Boeing 747 pela *Federal Aviation Authority* (FAA)

Normalização da MCC?

- ❑ **1999:** pela Comissão Internacional de Eletrotécnica⁴, IEC-60300-3-11.
- ❑ **1999:** Padrão outorgado pela Sociedade Internacional de Engenheiros Automotivos⁵, SAE-JA 1011.
- ❑ **2002:** SAE-JA 1012

4 - IEC - *International Electrotechnical Commission*

5 - SAE – *Society of Automotive Engineers*

Padrões Específicos

- ❑ Comando Aéreo Naval dos Estados Unidos da América: *Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process* (NAVAIR 00-25-403).
- ❑ Marinha Real Britânica: *Naval Engineering Standard* (NES45).
- ❑ RCM2 – Versão da ALADON Consultoria em RCM, fundada por John Mitchell Moubray IV († 2004), que incorpora, dentre outros pontos, às questões ambientais e os critérios para quantificação de riscos ao processo de tomada de decisões.

Perguntas-Chave

(adaptado da norma SAE-JA 1011/1999)

Evaluation Criteria for a Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes

- ✓ O que é o sistema?
- ✓ Quanto ao sistema, quais as **funções** (e desempenho) a preservar?
(FMEA ajuda)
- ✓ De que forma o sistema falha em cumprir suas funções (**falhas funcionais**)?
- ✓ Quais são os **modos de falha** (FMEA e FTA ajudam)?
- ✓ O que acontece quando ocorre cada falha (**efeitos**)?
- ✓ De que forma cada falha tem importância (**consequências das falha**)?
(FMEA ajuda)
- ✓ O que pode ser feito para **detectar e prevenir** a falha (**tarefas preditivas e preventivas**)?
- ✓ O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-ativa adequada (**ações default**)?
- ✓ Qual é a **periodicidade** das tarefas?
- ✓ Existem **outras alternativas**?

Passos da Metodologia:

1. Conhecer o sistema;
2. Detalhar os componentes;
3. Destacar as funções dos componentes (incluindo os padrões de desempenho) e as falhas funcionais;
4. Avaliar os modos de falha e os efeitos;
5. Relacionar as possíveis atividades de manutenção;
6. Avaliar as consequências das atividades;
7. Definir a periodicidade das atividades.

Passos da Metodologia:

1. Conhecer o sistema;
2. Detalhar os componentes;
3. Destacar as funções dos componentes (incluindo os padrões de desempenho) e as falhas funcionais;
4. Avaliar os modos de falha e os efeitos;
5. Relacionar as possíveis atividades de manutenção;
6. Avaliar as consequências das atividades;
7. Definir a periodicidade das atividades.

O SISTEMA E SEUS COMPONENTES (passos 1 e 2)

- a) Descrição;
- b) Responsabilidade dos componentes na operação;
- c) Hierarquização;
- d) Entradas, saídas, recursos e limitações (diagrama de blocos funcionais ajuda);
- e) Interfaces (fronteiras) entre os componentes e deles com outros sistemas (diagrama de blocos funcionais ajuda).

ANÁLISE FUNCIONAL DE SISTEMAS

(representação por blocos funcionais)

Método SADT – *Standard Analysis and Design Technique*

Normalmente os diagramas funcionais são desenvolvidos antes da análise de falhas:

- ✓ Entender como são os sinais de entrada e de saída;
- ✓ Quais são os mecanismos de controle necessários à execução de uma determinada função pelo sistema;
- ✓ Como um componente interage com outros.

Fonte: ANÁLISE DE FALHAS - TÓPICOS DE ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE - LUIS HENRIQUE TERBECK PINTO
- ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO - 2004-NOVEMBRO

ANÁLISE FUNCIONAL DE SISTEMAS

(representação por blocos funcionais)

Método SADT – Standard Analysis and Design Technique

O que representar?

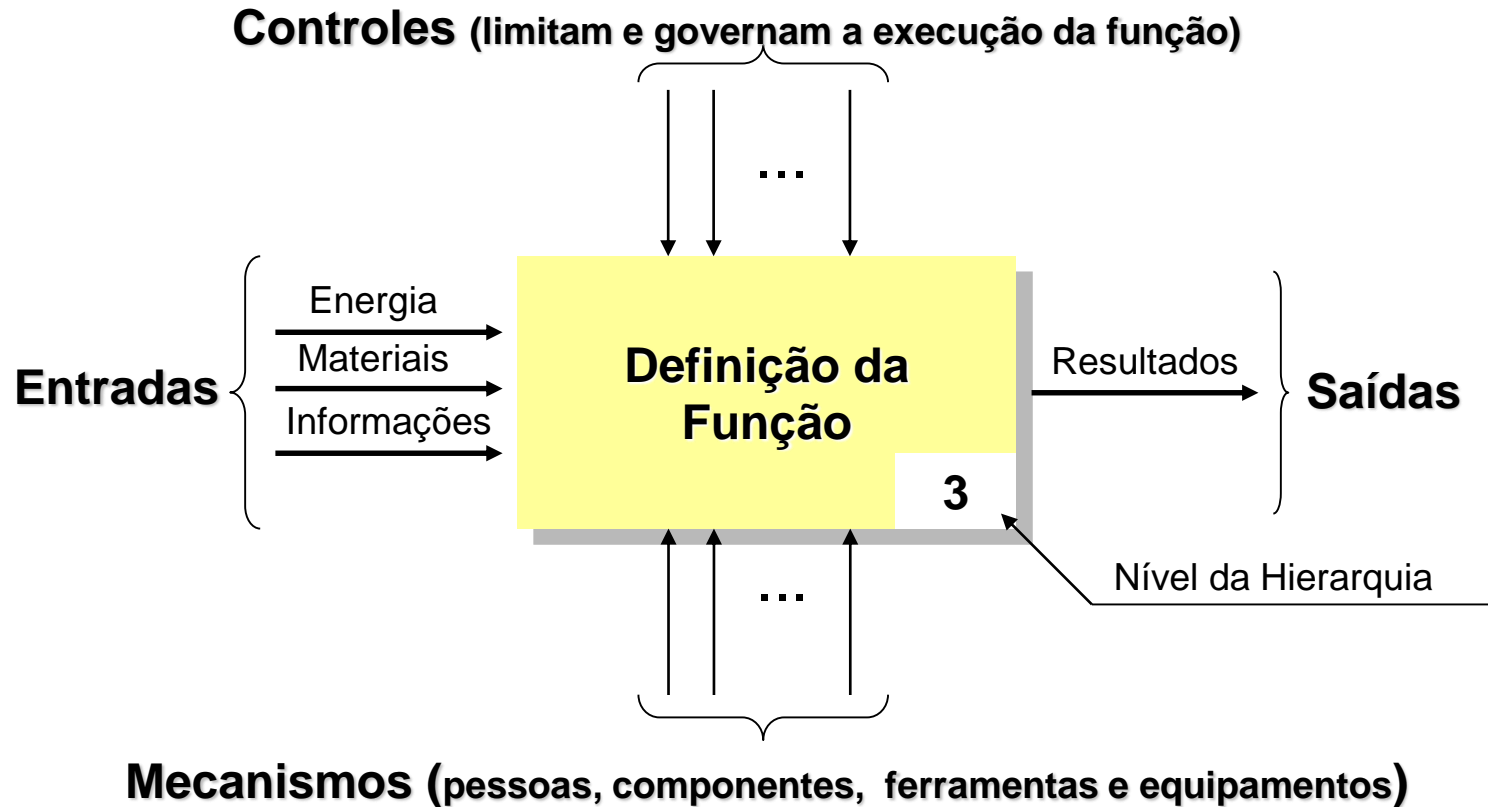
- ✓ **Entradas**: as energias, os materiais e ou as informações necessárias à execução da função.
- ✓ **Controles**: os controles e outros elementos que limitam ou governam a forma como a função é executada.
- ✓ **Mecanismos**: as pessoas, os sistemas, as ferramentas ou os equipamentos necessários à execução da função.
- ✓ **Saídas**: os resultados da execução da função.

Fonte: ANÁLISE DE FALHAS - TÓPICOS DE ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE - LUIS HENRIQUE TERBECK PINTO
- ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO - 2004-NOVEMBRO

ANÁLISE FUNCIONAL DE SISTEMAS

(representação por blocos funcionais)

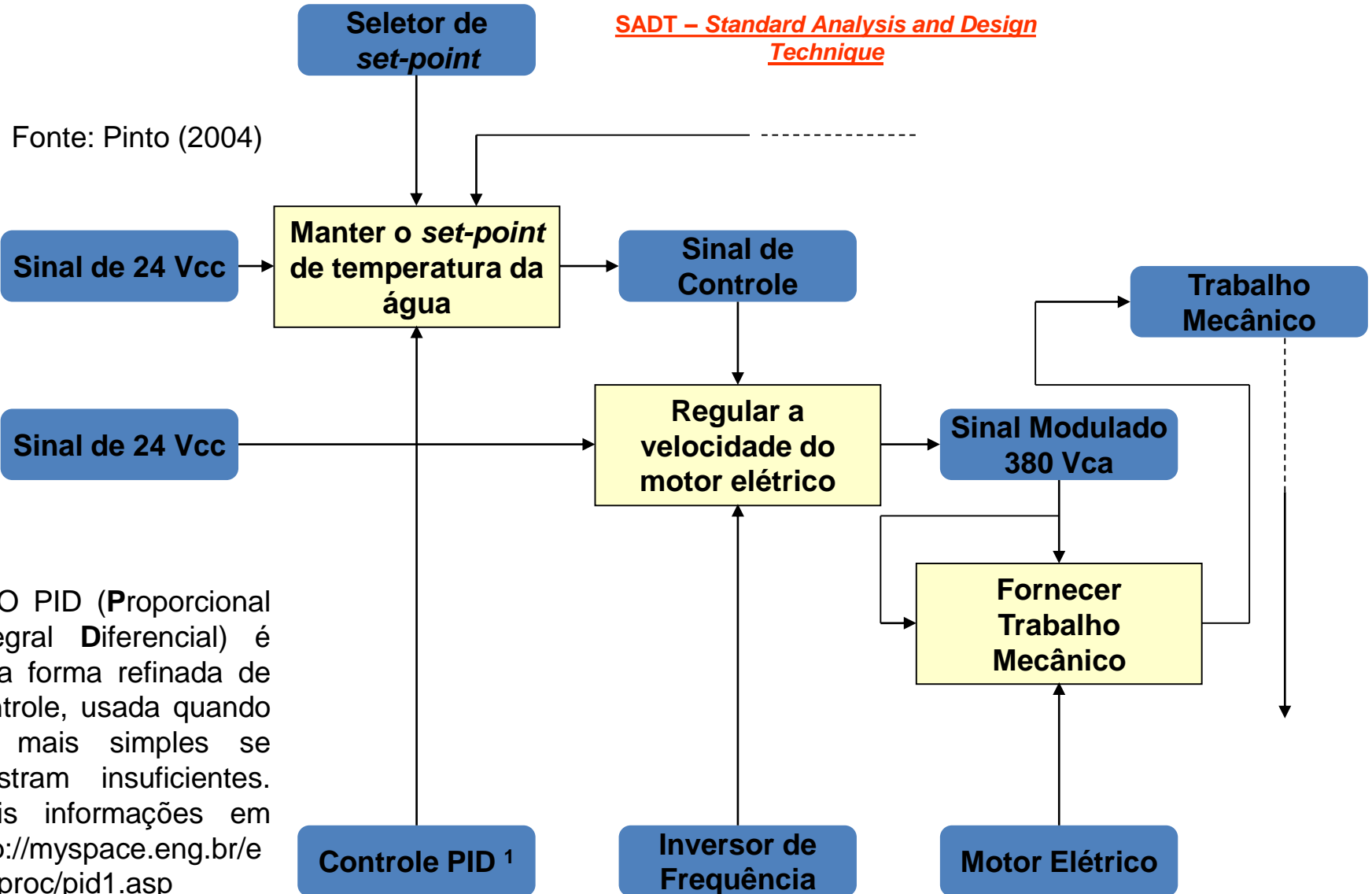
SADT – Standard Analysis and Design Technique



Fonte: ANÁLISE DE FALHAS - TÓPICOS DE ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE - LUIS HENRIQUE TERBECK PINTO
- ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO - 2004-NOVEMBRO

ANÁLISE FUNCIONAL DE SISTEMAS

SADT – Standard Analysis and Design
Technique



1- O PID (**P**roportional **I**ntegral **D**iferencial) é uma forma refinada de controle, usada quando as mais simples se mostram insuficientes. Mais informações em <http://myspace.eng.br/eng/proc/pid1.asp>

Passos da Metodologia:

1. Conhecer o sistema;
2. Detalhar os componentes;
3. Destacar as funções dos componentes (incluindo os padrões de desempenho) e as falhas funcionais;
4. Avaliar os modos de falha e os efeitos;
5. Relacionar as possíveis atividades de manutenção;
6. Avaliar as consequências das atividades;
7. Definir a periodicidade das atividades.

FUNÇÕES, MODOS DE FALHAS E EFEITOS (passos 3 e 4)

- a) **Funções e desempenho do sistema, dos subsistemas e componentes;**
- b) Relação das possíveis falhas funcionais;
- c) Modos de falha;
- d) Efeitos da falha;
- e) Consequências (severidade) dos efeitos.

Função: qualquer propósito pretendido para um processo ou produto.

Funções primárias: são aquelas que resumem porque os ativos foram adquiridos em primeiro lugar.

Elas cobrem questões como velocidade, quantidade, capacidade, qualidade do produto e/ou dos serviços ao cliente.

Funções secundárias: são aquelas que reconhecem o que é esperado para todo ativo fazer, mais que simplesmente preencher suas funções primárias. Elas cobrem as expectativas em áreas como segurança, controle, conforto, proteção, contenção, integridade, estrutural, economia, conformidade com os regulamentos ambientais e até a aparência do ativo.

FUNÇÕES, MODOS DE FALHAS E EFEITOS (passos 3 e 4)

- a) Funções e desempenho do sistema, dos subsistemas e componentes;
- b) **Relação das possíveis falhas funcionais;**
- c) Modos de falha;
- d) Efeitos da falha;
- e) Consequências (severidade) dos efeitos.

Falhas Funcionais: As falhas conduzem à paralisação total ou parcial das funções requeridas para os ativos, obrigando à área de manutenção adotar uma abordagem adequada para a gerência da falha.

O processo da MCC faz isso em dois níveis:

- ✓ Identificar que circunstâncias resultam em um estado de falha;
- ✓ Perguntar que eventos podem levar o ativo a um estado de falha.

Obs.: Estados de falha são conhecidos como falhas funcionais porque elas ocorrem quando um ativo está incapaz de preencher a função em um padrão de desempenho que é aceitável para o usuário.

FUNÇÕES, MODOS DE FALHAS E EFEITOS

(passos 3 e 4)

- a) Funções e desempenho do sistema, dos subsistemas e componentes;
- b) Relação das possíveis falhas funcionais;
- c) **Modos de falha**;
- d) Efeitos da falha;
- e) Consequências (severidade) dos efeitos.

Modos de falha: Após a identificação de cada falha funcional, o próximo passo é identificar **todos os eventos** que são razoavelmente prováveis de causar cada estado de falha (falha funcional). Geralmente a descrição de um modo de falha deve consistir de um substantivo e de um verbo.

Exemplos típicos: fratura, separação, deformação, desgaste, corrosão, abrasão, desbalanceamento, rugosidade, desalinhado, trincamento, deficiências da manutenção, encurtamento.

Obs.: Listar os modos de falha associados às falhas causadas por deterioração ou desgaste normal, por erros humanos, falhas de projeto, assim como todas as **prováveis causas** que possam ser identificadas e tratadas apropriadamente.

FUNÇÕES, MODOS DE FALHAS E EFEITOS (passos 3 e 4)

- a) Funções e desempenho do sistema, dos subsistemas e componentes;
- b) Relação das possíveis falhas funcionais;
- c) **Modos de falha**;
- d) Efeitos da falha;
- e) Consequências (severidade) dos efeitos.

Modos de falha (outras definições):

- 1) É qualquer evento que possa levar um ativo (sistema ou processo) a falhar;
- 2) Maneira pela qual a falha é observada. Visão de fora do sistema.

Causas da falha (não são listadas no formulário da MCC): representa os eventos que geram (provocam, induzem) o aparecimento do modo de falha, e pode ser detalhada em diferentes níveis para diferentes situações.

A causa da falha pode ser associada a: falha de projeto; defeitos do material; deficiências durante o processamento ou fabricação dos componentes; defeitos de instalação e montagem; condições de serviço não previstas ou fora de projeto; erro de montagem ou operação indevida.

FUNÇÕES, MODOS DE FALHAS E EFEITOS (passos 3 e 4)

Modo de Falha

Exemplos:

Componente: Eixo do Truque.

Abordagem: Funcional.

Função: Sustentar o Trem, proporcionar o movimento.

Modo de Falha: **Não transmite o movimento.**

Componente: Eixo do Truque.

Abordagem: Estrutural.

Função: Sustentar o Trem, proporcionar o movimento.

Modo de Falha: **Desbalanceamento, ruptura, empeno, desgaste.**

FUNÇÕES, MODOS DE FALHAS E EFEITOS

(passos 3 e 4)

- a) Funções e desempenho do sistema, dos subsistemas e componentes;
- b) Relação das possíveis falhas funcionais;
- c) Modos de falha e causa da falha;
- d) **Efeitos da falha**;
- e) Consequências (severidade) dos efeitos.

Efeitos da falha: listar os efeitos da falha, os quais descrevem o que acontece quando ocorre cada modo de falha. Estas descrições devem incluir todas as informações necessárias para suportar a avaliação da consequência da falha, tais como:

- a) Qual a evidência (se existe alguma) de que ocorreu a falha;
- b) De que modo (se existe algum) ela é uma ameaça à segurança ou ao meio Ambiente;
- c) De que modo (se existe algum) ela afeta a produção ou operação;
- d) Qual o dano físico (se existe algum) é causado pela falha;
- e) O que deve ser feito para restaurar a função do sistema após a falha.

FUNÇÕES, MODOS DE FALHAS E EFEITOS (passos 3 e 4)

- a) Funções e desempenho do sistema, dos subsistemas e componentes;
- b) Relação das possíveis falhas funcionais;
- c) Modos de falha e causa da falha;
- d) **Efeitos da falha**;
- e) Consequências (severidade) dos efeitos.

Deve-se ter o cuidado de não confundir efeito da falha com consequência da falha:

O efeito da falha responde a questão “**O que acontece quando o modo de falha ocorre?**”

A consequência da falha responde a questão “**Quais são as consequências quando o modo de falha ocorre?**”

Continua...

FUNÇÕES, MODOS DE FALHAS E EFEITOS

(passos 3 e 4)

- a) Funções e desempenho do sistema, dos subsistemas e componentes;
- b) Relação das possíveis falhas funcionais;
- c) Modos de falha e causa da falha;
- d) Efeitos da falha;
- e) **Consequências (severidade) dos efeitos.**


Categorias das consequências da falha:

- ✓ Ocultas: as falhas ocultas não têm impacto direto, mas expõem a empresa a falhas múltiplas com consequências sérias, frequentemente catastróficas.
- ✓ Segurança e Meio Ambiente : uma falha tem consequência sobre a segurança se ela puder ferir ou matar alguém. Tem consequências sobre o meio ambiente se vier a violar qualquer padrão ambiental, da empresa, regional ou federal.
- ✓ Operacionais: uma falha tem consequências operacionais se ela afeta a produção (quantidade, qualidade do produto, serviço ao cliente ou custos operacionais, além do custo direto do reparo).
- ✓ Não-operacionais: tem apenas o custo direto do reparo.

Passos da Metodologia:

1. Conhecer o sistema;
2. Detalhar os componentes;
3. Destacar as funções dos componentes (incluindo os padrões de desempenho) e as falhas funcionais;
4. Avaliar os modos de falha e os efeitos;
5. Relacionar as possíveis atividades de manutenção;
6. Avaliar as consequências das atividades;
7. Definir a periodicidade das atividades.

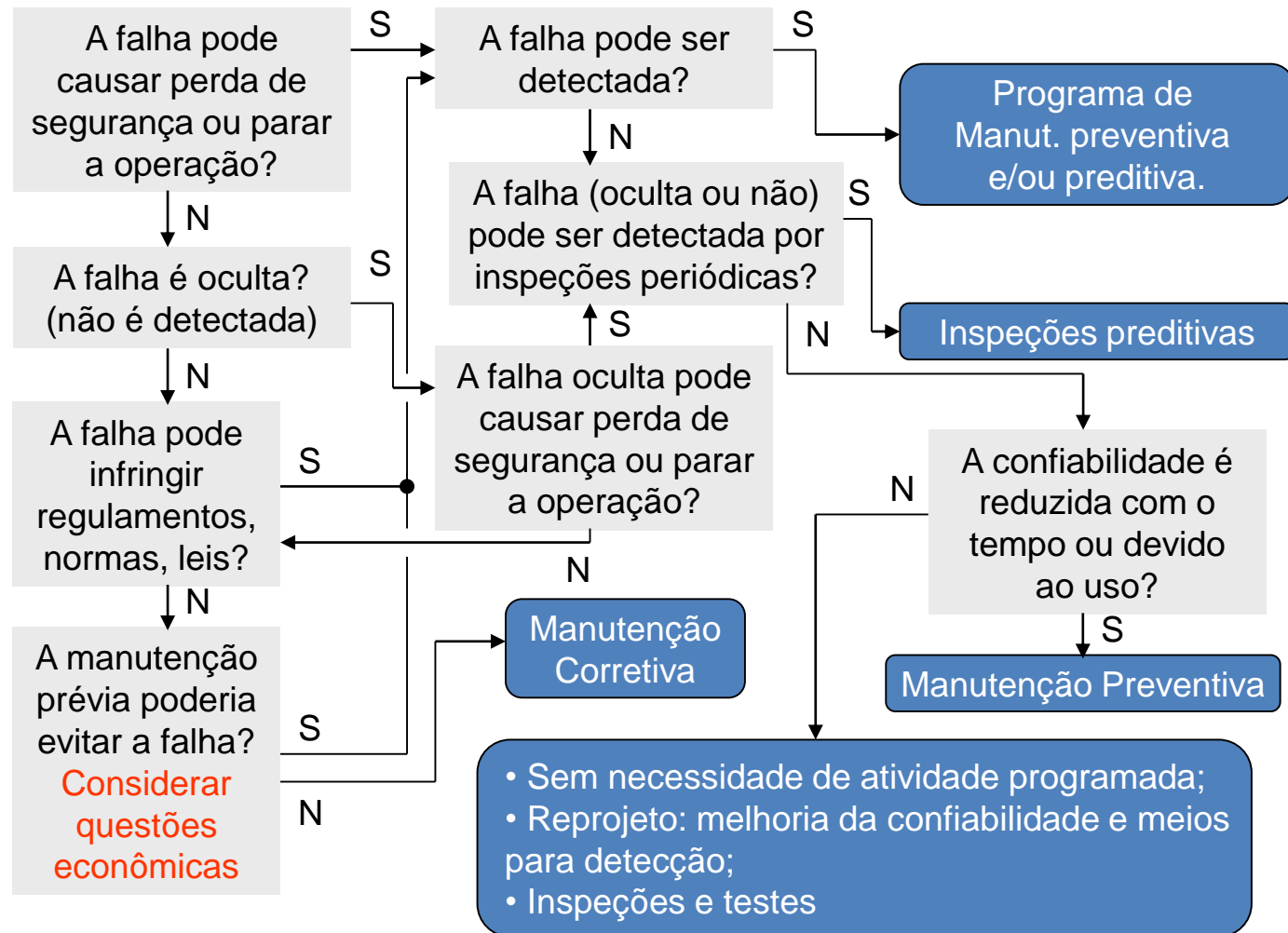
ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E AS SUAS CONSEQUÊNCIAS (passos 5 e 6)

- a) Atividades de manutenção (Análise das Atividades );
- b) Consequências dessas atividades.

Atividades Consideradas

- ✓ Atividades proativa: são tarefas empreendidas antes de uma falha ocorrer, de modo a prevenir o item de entrar em um estado de falha. Elas abrangem o que é tradicionalmente conhecido como manutenção preditiva e preventiva.
- ✓ Atividades default: são tarefas que tratam o estado de falha e são escolhidas quando não é possível identificar uma tarefa proativa efetiva. Ações default incluem busca da falha, reprojeto e rodar até falhar.

ANÁLISE DAS ATIVIDADES



Adaptado de Seixas (s/d)

Passos da Metodologia:

1. Conhecer o sistema;
2. Detalhar os componentes;
3. Destacar as funções dos componentes (incluindo os padrões de desempenho) e as falhas funcionais;
4. Avaliar os modos de falha e os efeitos;
5. Relacionar as possíveis atividades de manutenção;
6. Avaliar as consequências das atividades;
7. Definir a periodicidade das atividades.

PERIODICIDADE DAS ATIVIDADES (passo 7)

a) Nesta etapa são determinados os planos de manutenção com os tempos de intervenção.

Além disso, deve-se também considerar:

- ✓ A estruturação para **implantação da metodologia** → .
- ✓ A caracterização de indicadores (confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade) para percepção do desempenho – antes e depois da MCC.

Os dois principais atores dessa equipe são:

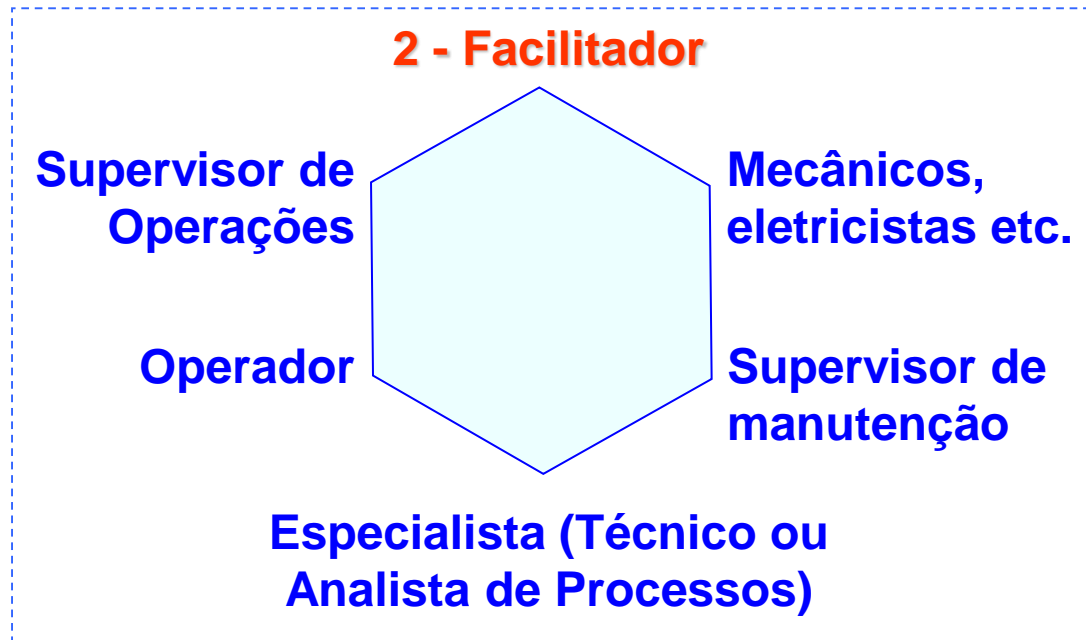
1 – Auditores (funcionário): são gerentes de nível superior, ou delegados por eles, devem comprovar a correta análise do sistema, a avaliação das consequências das falhas e a seleção de tarefas.

2- Facilitadores (funcionário ou não): especialistas treinados em MCC que deve garantir:

- ✓ Que as perguntas do MCC sejam feitas corretamente, na sequência correta e que sejam entendidas pelo grupo;
- ✓ Que se cheguem a uma resposta de consenso;
- ✓ Que nenhum componente significativo seja ignorado;
- ✓ Que as reuniões progridam de forma rápida;
- ✓ Que todos os documentos do MCC estejam concluídos corretamente.

A implementação da MCC passa pela formação de uma equipe com a seguinte estrutura:

1- Auditor



Resultados esperados com a implementação da MCC

- ✓ Conhecimento aprimorado de como o componente funciona, juntamente com um claro entendimento do nível que ele pode e não pode alcançar;
- ✓ Compreensão do funcionamento do sistema e de como o componente pode falhar, juntamente com as causas básicas de cada falha;
- ✓ Listas das tarefas propostas projetadas para assegurar que o componente continue a operar no nível de desempenho desejado;
- ✓ Aprimoramento do trabalho em grupo.

1) Exercício Proposto

Estruturar o formulário MCC

Propostas de Sistemas para Avaliação (parte):

- ✓ Grade ferroviária;
- ✓ Material rodante;
- ✓ Sinalização;
- ✓ Energia.

Obs.: determinar 2 funções, esgotando os itens do formulário em discussões no grupo.

Obrigado!

*LABFER - Laboratório para Ensino e Pesquisa de Engenharia
Ferroviária no Estado do Rio de Janeiro*

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha. CEP: 22.290-270 Rio de
Janeiro – RJ. Telefone: (21) 3820-4199. www.ime.eb.br

