



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**MBA-ENGEMAN**

**ANTONIO EUSTÁQUIO FIGUEIRA DE ARAÚJO**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA  
EM CONFIABILIDADE EM SISTEMAS *NO-BREAK* DE MÉDIO E  
GRANDE PORTE**

Monografia apresentada como requisito final para a  
conclusão do MBA em Engenharia de Manutenção  
da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Orientador:**

Rogério Arcuri Filho, M.Sc.

Rio de Janeiro

2010

**ANTONIO EUSTÁQUIO FIGUEIRA DE ARAÚJO**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA  
EM CONFIABILIDADE EM SISTEMAS *NO-BREAK* DE MÉDIO E  
GRANDE PORTE**

Monografia apresentada como requisito final para a  
conclusão do MBA em Engenharia de Manutenção  
da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2010

**CONCEITO FINAL: “ A ”**

**EXAMINADORES:**

---

Rogério Arcuri Filho, M.Sc.

---

José Haim Benzecry, D.Sc

Dedico esse trabalho aos meus familiares pelo amor incondicional, carinho sincero, respeito e admiração que sempre demonstraram por mim.

## AGRADECIMENTOS

Ao mestre Rogério Arcuri Filho, por seus ensinamentos e conselhos claros, precisos e consistentes, pelo seu incansável prazer em produzir, compartilhar e divulgar conhecimentos, e pela orientação científica, paciência, incentivo e amizade que demonstrou aos alunos do MBA-ENGEMAN e na realização deste TCC.

Aos nossos estimados mestres do MBA-ENGEMAN, que não pouparam esforços para compartilhar seus saberes acadêmicos e experiências profissionais, assim como pelos ensinamentos e orientações que estão mudando paradigmas e a maneira de pensar a Manutenção no Brasil.

Aos novos amigos e colegas da 23ª turma do MBA-ENGEMAN, que compartilharam seus conhecimentos e experiências profissionais ao longo de toda a trajetória do Curso.

“ Não há ensino sem pesquisa e pesquisa sem ensino. Ensinar não é transferir conhecimentos, mas criar as possibilidades para sua própria produção ou a sua construção. Quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender ”

Paulo Freire

Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa.

## RESUMO

Este estudo objetiva investigar os mecanismos pelos quais a aplicação da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em sistemas *no-break* de médio e grande porte poderá beneficiar as empresas.

Os sistemas *no-break* são imprescindíveis para os processos produtivos das empresas. A qualificação dos profissionais que fazem a manutenção dos sistemas de alimentação elétrica de emergência é outro ponto de vital importância.

Assim, é necessário implantar novas metodologias de manutenção, em substituição aos métodos tradicionais, que já não atendem aos avanços tecnológicos que são incorporados a este tipo de equipamentos.

Nesta linha, o trabalho apresenta dois exemplos da aplicação da MCC em sistemas *no-break* de médios e grandes portes empregados em plantas dos setores de petróleo e indústria química, mostrando as vantagens técnicas e econômicas advindas do emprego desta metodologia.

Palavras-Chave: Manutenção, Sistemas *no-breaks*, Terceirização, Paralelismo de *no-breaks*, Confiabilidade.

## ABSTRACT

This study investigates the mechanisms by which the methodology application of Reliability Centered Maintenance (MCC) in UPS systems for medium and large companies can benefit businesses.

UPS systems are essential to the production processes of enterprises. The qualification of the professionals who maintain systems for emergency power supply is another vital point.

It is therefore necessary to deploy new methods of maintenance to replace the traditional methods that no longer meets the technological advancements that are incorporated into this type equipment.

In this vein, the paper presents two examples of the implementation of MCC in UPS systems for medium and large plants employed in the sectors of petroleum and chemical industries, showing the technical and economic advantages resulting from the use of this methodology.

Keywords: Maintenance, UPS Systems, Outsourced, Parallel UPS, Reliability.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1	Diagrama de blocos do sistema <i>no-break</i>	<b>21</b>
Figura 2	Diagrama de blocos do sistema <i>no-break</i> configuração singela	<b>23</b>
Figura 3	Sistemas <i>no-break</i> de 80 kVA e 40 kVA GE Digital	<b>24</b>
Figura 4	Sistema <i>no-break</i> de 150 kVA Mitsubishi Electric	<b>24</b>
Figura 5	Diagrama de blocos dos sistemas <i>no-break</i> ligados na configuração redundante isolado	<b>26</b>
Figura 6	Diagrama de blocos dos sistemas <i>no-break</i> ligados na configuração paralelo ativo	<b>28</b>
Figura 7	Padrões de modos de falha	<b>32</b>
Figura 8	Diagrama de decisão para priorização de modos de falha	<b>38</b>
Figura 9	Diagrama de decisão para seleção de tarefas	<b>41</b>



**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1	Matriz de priorização da criticidade de sistemas <i>no-break</i> indústria química	<b>18</b>
Quadro 2	Matriz de priorização da criticidade de sistemas <i>no-break</i> empresa de petróleo	<b>19</b>
Quadro 3	AFF e FMEA para sistemas <i>no-break</i> de médio e grande porte	<b>36</b>
Quadro 4	Priorização de falhas com base no diagrama de decisão	<b>39</b>
Quadro 5	Tarefas selecionadas com base no diagrama de decisão	<b>42</b>
Quadro 6	<i>Check List</i> para manutenção de <i>no-break</i> de médio e grande porte	<b>45</b>

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFF	Análise de Falhas Funcionais
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CPD	Centro de Processamento de Dados
CS	Chave Seccionadora
CTA	Chave de Transferência Automática
DJ	Disjuntor
FAA	Federal Aviation Authority
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (Análise de Modos e Efeitos de Falhas)
IEC	International Electrotechnical Commission
MC	Manutenção Corretiva
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MPBC	Manutenção Preventiva Baseada na Condição
MPBT	Manutenção Preventiva Baseada no Tempo
MSG	Maintenance Steering Group
MTBF	Mean Time Between Failure (TMEF – Tempo Médio Entre Falhas)
MTTR	Mean Time To Repair (TMPR – Tempo Médio Para Reparo)
NBK	No-Break
QDGE	Quadro de Distribuição Geral de Energia
QDPE	Quadro de Distribuição Parcial de Energia

RCM	Reliability-Centered Manintenance
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
TDF	Teste de Detecção de Falhas Ocultas
TPM	Total Productive Maintenance
TR	Transformador de Tensão
UPS	Uninterruptible Power System
USCA	Unidade de Supervisão de Corrente Alternada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS DO ESTUDO .....	16
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA .....	17
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	20
<b>2 CONCEITOS SOBRE O SISTEMA <i>NO-BREAK</i> .....</b>	<b>20</b>
2.1 DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA <i>NO-BREAK</i> SINGELO .....	22
2.2 CONFIGURAÇÃO PARALELO REDUDANTE ISOLADO DE <i>NO-BREAK</i> .....	25
2.3 CONFIGURAÇÃO PARALELO REDUDANTE ATIVO DE <i>NO-BREAK</i> .....	27
<b>3 EVOLUÇÃO DA FUNÇÃO MANUTENÇÃO .....</b>	<b>29</b>
3.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO .....	29
3.2 A METODOLOGIA DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	30
<b>3.2.1 Definição da MCC (Normas SAE JA1011/JA1012) .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.2 Paradigma Central da MCC .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.3 Fundamentos/Objetivos da MCC (SAE JA1011/JA1012) .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.4 Conceitos Principais da MCC .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.4.1 Padrões de Modos de Falhas.....</b>	<b>32</b>
3.2.4.2 Classificação das Falhas .....	33
3.2.4.3 Conceitos dos Modos de Falhas .....	34
<b>4 APLICAÇÃO DA MCC EM <i>NO-BREAKS</i> DE MÉDIO E GRANDE PORTE .....</b>	<b>34</b>
4.1 ANÁLISES DE FALHAS FUNCIONAIS (AFF) E FMEA .....	35
4.2 APLICAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE DECISÃO .....	38
4.3 PRIORIZAÇÃO DOS MODOS DE FALHAS SELECIONADOS.....	38

4.4 RELAÇÃO DE TAREFAS .....	40
4.5 PLANO DE MANUTENÇÃO .....	44
4.6 RESULTADOS ESPERADOS .....	46
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O *no-break* é um sistema eletro-eletrônico que converte energia elétrica na forma de corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC) e vice-versa. A forma de onda na saída do *no-break* é do tipo senoidal, estabilizada em tensão e frequência. Os sistemas *no-break* são empregados para alimentar equipamentos eletro-eletrônicos sensíveis as interrupções, variações e distúrbios elétricos.

A energia elétrica distribuída pelas concessionárias aos consumidores brasileiros, em muitos locais, não é de boa qualidade. Os problemas elétricos mais comuns são as variações de tensão e frequência, ruídos espúrios, baixo fator de potência e frequentes cortes no fornecimento de energia. Diante desta realidade, as empresas brasileiras são obrigadas a investir em sistemas alternativos de energia. Os sistemas *no-break* e os grupos geradores são os equipamentos indicados para atender este segmento de consumidores.

Assim, este estudo objetiva investigar os mecanismos pelos quais a aplicação da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em sistemas *no-break* de médio e grande porte poderá beneficiar as empresas. Para ilustrar a hipótese do estudo, foram selecionadas duas grandes empresas dos setores de petróleo e indústria química que utilizam estes equipamentos. O objetivo é reduzir ou eliminar a vulnerabilidade operacional, aumentar a disponibilidade dos equipamentos e reduzir o tempo de parada. Nos dois casos relatados, existem diversos pontos críticos a serem superados.

O primeiro caso trata de uma grande fábrica brasileira do setor químico, a sua sede administrativa e fabril está instalada na cidade do Rio de Janeiro. Os seus equipamentos de informática, automação, controle de qualidade, CPD, CLP e SDCD são alimentados por dois sistemas *no-break* de 40 kVA e 150 kVA, ambos operando na configuração singela, ou seja, cada sistema *no-break* alimenta quadros de distribuição elétrica distintos, que por sua vez, alimentam cargas distintas. Na ocorrência de falha ou avaria de um sistema *no-break*, parte das cargas ficará fora de operação e, conseqüentemente, parte da fábrica também ficará fora de operação. Os prejuízos financeiros, materiais e ambientais são incalculáveis. A retomada de operação não ocorre de forma imediata, pois alguns equipamentos exigem procedimentos de partida complexa, o que pode demorar algumas horas.

O corte no fornecimento de energia elétrica superior a 20 minutos deixa a fábrica totalmente fora de operação. A autonomia máxima do sistema *no-break* principal é de aproximadamente 20 minutos, não existindo a opção de uma fonte alternativa de energia, por exemplo, um grupo gerador de emergência.

A aquisição de sobressalentes para os sistemas *no-break* não é uma prioridade da empresa. Nos casos de falhas ou avarias nos circuitos de controle do equipamento, componentes e peças, o sistema ficará fora de operação até a aquisição do componente defeituoso, em alguns casos poderá demorar até 90 dias, isso, se o *no-break* ainda estiver em produção. O risco maior é manter equipamentos sensíveis alimentados diretamente pela energia da concessionária, sem qualquer proteção por um longo período de tempo.

Para a implantação da metodologia MCC, alguns paradigmas terão que ser quebrados, a empresa terá que fazer alguns investimentos para aquisição e adequação de seus sistemas de energia. Sem mudar a visão atual da Função Manutenção no âmbito interno, a implantação da metodologia MCC não terá sucesso.

O segundo caso trata de uma empresa global de energia, que se constitui num dos maiores grupos multinacionais do setor de petróleo. As ações já implementadas pela empresa vêm contribuir para a redução da vulnerabilidade operacional com relação ao quesito energia de qualidade. A sede da empresa, no Rio de Janeiro, possui dois sistemas *no-break* de 80 kVA, ligados na configuração paralelo redundante ativo. Nesta configuração, os sistemas *no-break* alimentam ao mesmo tempo um único quadro de distribuição geral de energia elétrica (QDGE). Os quadros de distribuição parcial de energia (QDPE) são alimentados a partir do QDGE.

Na ocorrência de falha ou defeito de um *no-break*, o outro remanescente continuará fornecendo energia sem interrupção para todas as cargas. O *no-break* afetado será retirado do barramento principal de energia, sem risco para as cargas e o sistema. Após a manutenção corretiva ele será religado, sem risco e sem interrupção de energia para as cargas. A manutenção dos *no-break* poderá ocorrer a qualquer tempo, uma vez que apenas um *no-break* em operação é suficiente para manter todas as cargas alimentadas.

Os sistemas *no-break* são responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica ininterrupta para os equipamentos de informática instalados no seu *Data Center* mais importante do Brasil. Os bancos de baterias dos *no-break* garantem uma autonomia de aproximadamente 60 minutos. Os sistemas *no-break* têm a opção de receber energia elétrica

automaticamente de dois grupos geradores. Na ocorrência de uma falha ou corte no fornecimento de energia elétrica da concessionária, os *no-break* continuarão recebendo energia dos grupos geradores até o retorno da energia da concessionária. A autonomia do sistema depende apenas do abastecimento de combustível dos grupos geradores. A empresa também adotou a política de manter um estoque adequado de sobressalentes para os seus sistemas *no-break*.

Em ambos os casos, a Manutenção é desenvolvida segundo os parâmetros tradicionais. As duas empresas optaram por não ter funcionários próprios treinados em sistemas *no-break*, com sua manutenção sendo terceirizada por meio de uma empresa especializada em sistemas de energia. A manutenção preditiva é realizada mensalmente, com a preventiva sendo semestral no primeiro caso, durante as paradas programadas da fábrica, enquanto que no segundo caso possui uma periodicidade trimestral.

## 1.1 OBJETIVOS DO ESTUDO

O estudo objetiva demonstrar que a implantação do Método de Manutenção Centrada em Confiabilidade irá contribuir para a mudança da cultura da Manutenção dos sistemas *no-break* de médio e grande porte nos casos abordados. A aplicação dos conceitos da MCC irá permitir a implantação de novas configurações operacionais e novas políticas de manutenção para reduzir a vulnerabilidade operacional. No caso de falha ou avaria dos sistemas *no-break*, o tempo de paralisação será minimizado ou até reduzido a zero, reduzindo os custos de manutenção, aumentando a segurança dos usuários e do meio ambiente, afastando situações que provoquem lucro cessante, e o comprometimento na imagem das empresas no mercado, o que provocaria prejuízos para os acionistas e os colaboradores.



## 1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA

O sistema *no-break* é responsável pelo fornecimento de energia elétrica ininterrupta, estabilizada em tensão e frequência. A energia elétrica gerada pelo sistema *no-break* é empregada para alimentar equipamentos eletro-eletrônicos sensível as interrupções, variações e distúrbios elétricos.

A energia elétrica distribuída para os consumidores brasileiros, em muitos locais, ainda não é de boa qualidade. Os problemas elétricos mais comuns são as variações de tensão e frequência, ruídos espúrios, baixo fator de potência e frequentes cortes no fornecimento de energia. Diante desta realidade, as empresas brasileiras são obrigadas a investir em sistemas alternativos de energia. Os sistemas *no-break* e os grupos geradores são os equipamentos indicados para atender este segmento de consumidores.

O parque brasileiro de sistemas *no-break* de médio e grande porte é um dos maiores do mundo. O mercado brasileiro é abastecido atualmente por 36 empresas nacionais e 30 empresas multinacionais. (ARAÚJO, 2005).

Atualmente são fabricados sistemas *no-break* trifásicos que atingem a potência de 1.200 kVA, podendo-se, com este tipo de equipamento, ligar até 6 unidades na configuração paralela redundante ativa. Essa técnica aumenta a confiabilidade e a disponibilidade do sistema.

Nesta linha, o quadro 1 apresenta os fatores de criticidades para indústria química que são consideradas para enquadrar e justificar a utilização do método MCC em sistemas *no-break* de médio e grande porte.

FATORES DE SELEÇÃO		CRITICIDADE		
		MÁXIMA	MÉDIA	MÍNIMA
S	SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	<i>Danos graves ao Pessoal, Público e/ou Meio Ambiente. Descarte de produtos químicos inacabados devido a quebra de produção por falta de energia dos no-break e da concessionária</i>	Explosão do vaso da bateria e/ou vazamento de ácido sulfúrico das baterias dos sistemas no-break	Não há risco para o Pessoal, Público e/ou Meio Ambiente
Q	QUALIDADE DO PRODUTO FINAL	<i>A interrupção de energia durante a produção, afeta muito a qualidade do produto</i>	A qualidade do produto é afetada por conta das variações de energia da concessionária	Não há efeitos sobre a qualidade do Produto/Serviço
D	DISPONIBILIDADE DE PRODUÇÃO	<i>A falta de energia do no-break provoca a interrupção total da Produção (Falta redundância e/ou equipamento reserva)</i>	Interrupção parcial ou redução da produção, parte da carga é mantida alimentada pelo sistema no-break	Não há perda de produção (redundância e/ou equipamento reserva)
C	CUSTOS DE PRODUÇÃO E REPARO	<i>Custo da Produção afetado e/ou Custo de Reparo &gt; R\$ 70.000,00</i>	O custo da Produção não é afetado e /ou Custo de Reparo $1.000 \leq CR \leq 70.000$	O custo da Produção não é afetado e/ou Custo de Reparo < R\$ 1.000,00
F	FREQUÊNCIA DE FALHAS (MTBF)	<i>MTBF &lt; 6 meses</i>	$6 \text{ m} \leq \text{MTBF} \leq 12 \text{ m}$	<i>MTBF &gt; 12 meses</i>
M	MANUTENABILIDADE	<i>MTTR &gt; 4 horas e /ou Custo &gt; CUSTO &gt; R\$ 1.000,00</i>	$1 \text{ h} \leq \text{MTTR} \leq 4 \text{ h}$ $\text{R\$ } 500,00 \leq \text{Custo} \leq \text{R\$ } 1.000,00$	MTTR < 1 hora Custo < R\$ 500,00

**Quadro 1:** Matriz de priorização da criticidade de sistemas *no-break* indústria química  
Fonte: Adaptado de Arcuri Filho (2009)

Conforme assinado em itálico na matriz apresentada no quadro 1, a indústria química apresenta enquadramentos nas criticidades máximas nos fatores de segurança e meio ambiente, qualidade do produto final, disponibilidade de produção, custos de produção e reparo e manutenibilidade. O fator de frequência de falhas enquadra-se na criticidade mínima.

O quadro 2 apresenta os fatores de criticidades para a empresa de petróleo que são consideradas para enquadrar e justificar a utilização do método MCC em sistemas *no-break* de médio e grande porte.

FATORES DE SELEÇÃO		CRITICIDADE		
		MÁXIMA	MÉDIA	MÍNIMA
S	SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	<i>Danos graves ao Pessoal, Público e/ou Meio Ambiente. (Vazamento de combustível nos tanques dos geradores)</i>	Risco moderado de acidente e/ou contaminação (Vazamento de ácido sulfúrico das baterias)	Não há risco para o Pessoal, Público e/ou Meio Ambiente
Q	QUALIDADE DO PRODUTO FINAL	<i>A interrupção de energia durante a produção, afeta muito a qualidade do produto</i>	A qualidade do produto é afetada por conta das variações de energia da concessionária e dos geradores	Não há efeitos sobre a qualidade do Produto/Serviço
D	DISPONIBILIDADE DE PRODUÇÃO	<i>A falta de energia dos no-break e dos geradores provoca a interrupção total da Produção</i>	Interrupção parcial ou redução da produção, parte da carga é mantida alimentada pelo sistema no-break	Não há perda de produção (redundância e/ou equipamento reserva)
C	CUSTOS DE PRODUÇÃO E REPARO	<i>Custo da Produção afetado e/ou Custo de Reparo &gt; R\$ 70.000,00</i>	O custo da Produção não é afetado e /ou Custo de Reparo $1.000 \leq CR \leq 70.000$	O custo da Produção não é afetado e/ou Custo de Reparo < R\$ 1.000,00
F	FREQUÊNCIA DE FALHAS (MTBF)	<i>MTBF &lt; 6 meses</i>	$6 \text{ m} \leq \text{MTBF} \leq 12 \text{ m}$	<i>MTBF &gt; 12 meses</i>
M	MANUTENABILIDADE	<i>MTTR &gt; 4 horas e /ou Custo &gt; CUSTO &gt; R\$ 1.000,00</i>	$1 \text{ h} \leq \text{MTTR} \leq 4 \text{ h}$ $R\$ 500,00 \leq \text{Custo} \leq R\$ 1.000,00$	<i>MTTR &lt; 1 hora Custo &lt; R\$ 500,00</i>

**Quadro 2:** Matriz de priorização da criticidade de sistemas *no-break* da empresa de petróleo

Fonte: Adaptado de Arcuri Filho (2009)

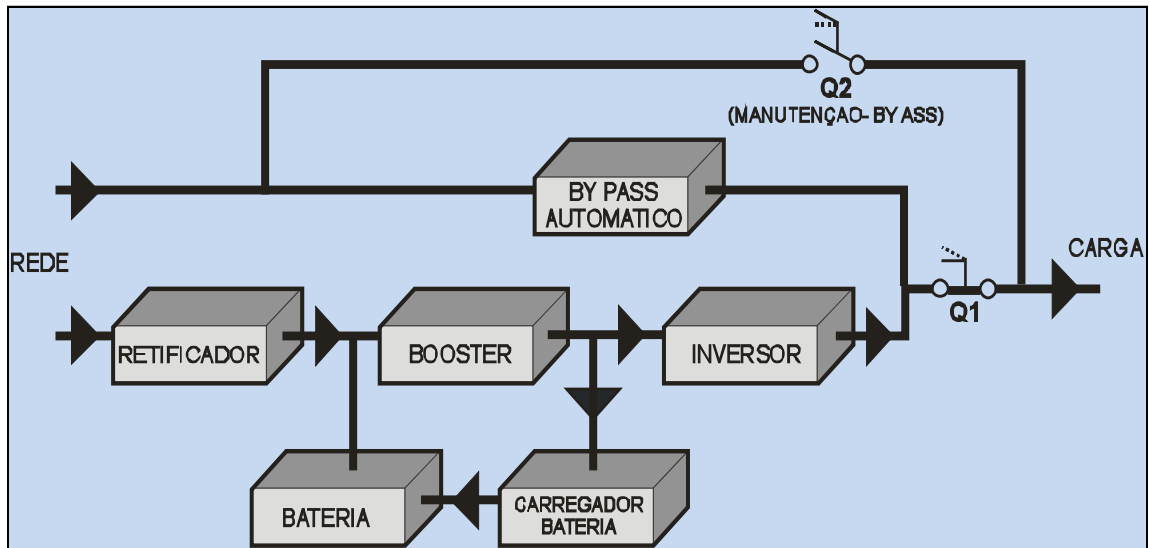
Conforme assinado em *itálico* na matriz apresentada no quadro 2, a empresa do setor de petróleo apresenta enquadramentos nas criticidades máximas nos fatores segurança e meio ambiente, qualidade do produto final, disponibilidade de produção e custos de produção e reparo. Os fatores de frequência de falhas e manutenibilidade enquadram-se nas criticidades mínimas.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O estudo se desenvolve em cinco capítulos, onde o primeiro (Introdução) aborda aspectos introdutórios gerais sobre o tema. No segundo capítulo (Conceitos sobre o sistema *no-break*), apresenta uma descrição do funcionamento do sistema *no-break* e os tipos de configurações de paralelismo destes equipamentos. No terceiro capítulo (Evolução da Função Manutenção), é apresentado um breve histórico, onde procura-se estabelecer cronologicamente o processo evolutivo da Função Manutenção. Ainda neste capítulo, é apresentada a fundamentação teórica e os detalhamentos dos conceitos e definições da MCC. No quarto capítulo (Aplicação da MCC em sistemas *no-break* de médio e grande porte), detalham-se as análises de falhas funcionais (AFF) e FMEA dos casos abordados, aplicação dos diagramas de decisão a listas das tarefas e planos de manutenção, resultados esperados e a análise comparativa dos dois casos abordados. No quinto e último capítulo (Conclusões), são apresentadas as considerações sobre os objetivos formulados, as análises conclusivas e os comentários sobre o modelo proposto.

## 2 CONCEITOS SOBRE O SISTEMA *NO-BREAK*

O sistema *no-break* é um equipamento eletro-eletrônico que converte energia elétrica na forma de corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC) e vice-versa. O sistema *no-break* também é denominado *UPS (Uninterruptible Power System)*. A tensão de saída do *no-break* é do tipo senoidal, estabilizada em tensão e frequência. A energia elétrica fornecida pelo sistema *no-break* é empregada para alimentar equipamentos elétricos e eletrônicos sensíveis as interrupções e os distúrbios elétricos. A figura 1 mostra o diagrama de blocos do sistema *no-break*.



**Figura 1** – Diagrama de blocos do sistema *no-break*

Fonte: O autor.

Conforme mostrado na figura 1, a energia elétrica de corrente alternada (CA), fornecida pela concessionária de energia ou de uma fonte alternativa, que pode ser um grupo gerador, é aplicada diretamente no circuito retificador. O circuito retificador tem a função de converter a energia elétrica de corrente alternada (CA), em energia elétrica de corrente contínua estabilizada (CC). A energia elétrica contínua (CC) presente na saída do circuito retificador é enviada para o circuito de *booster*, circuito inversor e o acumulador de cargas contínuas (banco de baterias).

O circuito de *booster*, presente em alguns tipos e modelos de sistemas *no-break*, tem a função de elevar a tensão contínua (CC) que recebe do circuito retificador e do banco de baterias, a energia resultante é aplicada no circuito inversor. Os sistemas *no-break* antigos, não possui o circuito de *booster*, neste caso, o energia de corrente contínua oriunda do circuito retificador e do banco de baterias é aplicada diretamente no circuito inversor.

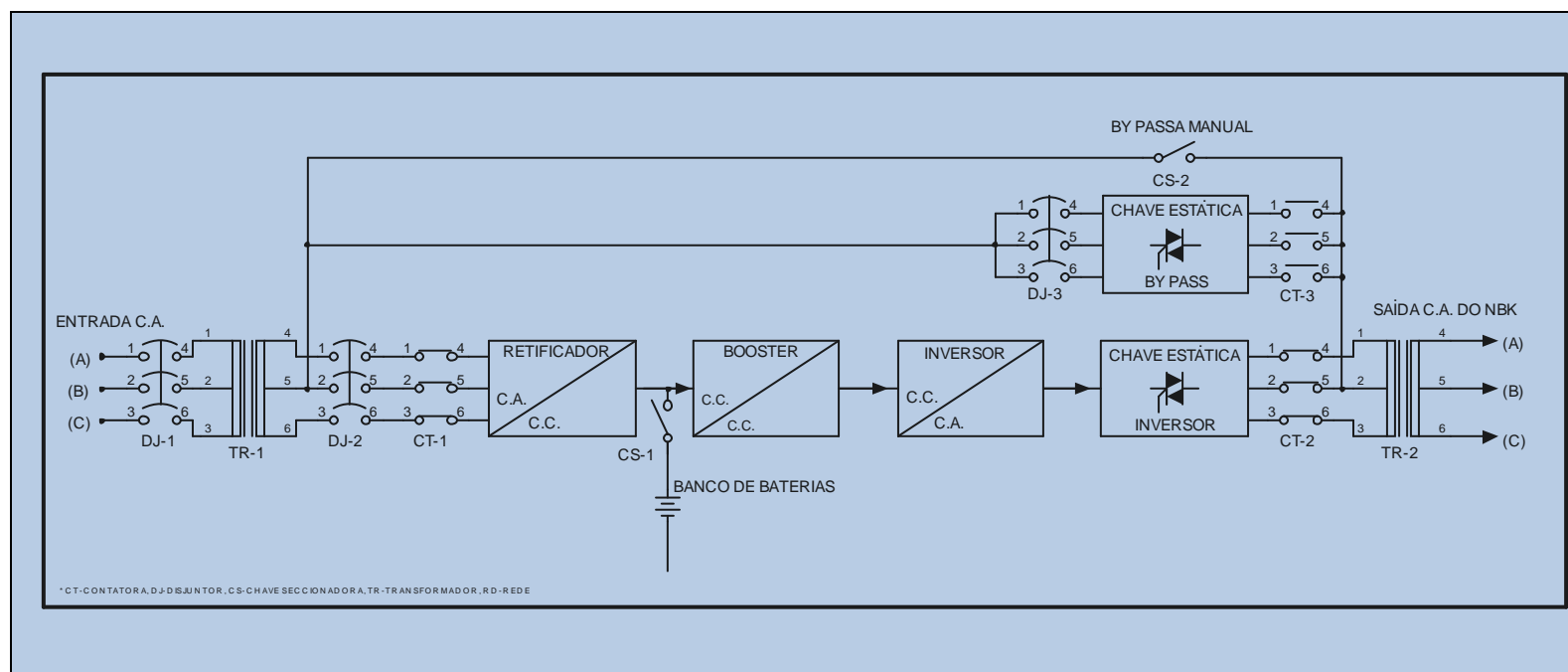
A função do circuito inversor é converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). A forma de onda de saída do *no-break* é do tipo senoidal, estabilizada em tensão e frequência. Na falta de energia da concessionária ou de uma fonte alternativa de energia, o circuito inversor utiliza a energia contínua armazenada no banco de baterias. O tempo que o banco de baterias consegue manter o circuito inversor alimentando a carga é chamado de autonomia do sistema.

A chave estática do inversor libera automaticamente para a carga a energia presente na saída do inversor. Na ocorrência de uma falha ou queima do inversor, a tensão alternada da concessionária é transferida automaticamente para carga, via a chave estática automática do *by pass*. O *by pass* manual é usado para transferir manualmente a tensão alternada presente na entrada do *no-break* para a(s) carga(s). Essa opção é usada também na ocorrência de uma falha ou avaria das chaves estáticas, ou então por ocasião de uma parada para manutenção quando é preciso desligar o *no-break*, mas precisa liberando energia para a carga. As contadoras instaladas na entrada e na saída do *no-break* têm a função de isolar galvanicamente o equipamento da instalação elétrica e da rede da concessionária.

## 2.1 DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA *NO-BREAK* SINGELO

O diagrama de blocos da figura 2 mostra um sistema *no-break* singelo. Nesta configuração, o *no-break* é a fonte principal de energia, com a ocorrência de uma falha ou defeito no mesmo, fazendo com que a carga receba automaticamente energia da concessionária através da chave estática. Neste caso, o risco maior é manter equipamentos sensíveis alimentado diretamente pela energia da concessionária, sem qualquer proteção. Por questões técnicas, o grupo gerador não pode alimentar diretamente os equipamentos eletroeletrônicos, uma vez que o gerador não garante o fornecimento de energia estabilizada em tensão e frequência. Por isso, a energia gerada pelo grupo gerador para alimentar cargas sensíveis tem que passar primeiramente por um sistema *no-break* para corrigir os problemas elétricos.

Na ocorrência de falha e/ou defeito simultâneo no circuito inversor e na chave estática da rede, a carga não irá receber energia elétrica e, conseqüentemente, será desligada. Neste caso, o recurso para alimentar a carga é usar o *by pass* manual, interrompendo o fornecimento de energia durante a manobra da chave. Este sistema é o utilizado pela fábrica de produtos químicos, objeto deste estudo. As fotos das figuras 3 e 4 mostram o aspecto físico dos equipamentos.



**Figura 2** - Diagrama de blocos do sistema *no-break* configuração single  
Fonte: O Autor



**Figura 3** - Sistema *no-break* de 80 kVA e 40 kVA GE Digital  
Fonte: GE Digital Energy, 2010



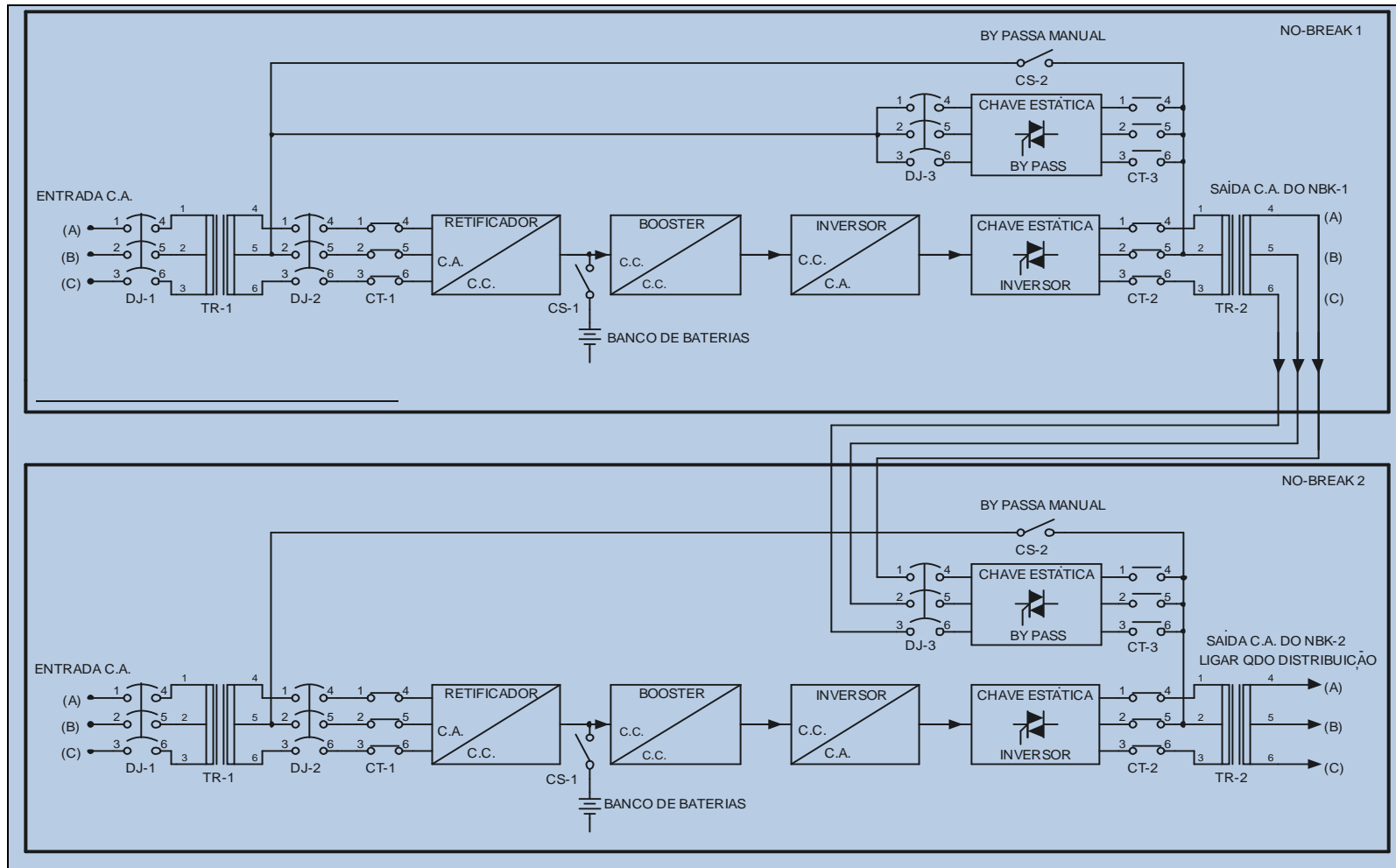
**Figura 4** - Sistema *no-break* de 150 kVA Mitsubishi Electric  
Fonte: Mitsubishi Electric Power Products, 2010



## 2.2 CONFIGURAÇÃO PARALELO REDUNDANTE ISOLADO DE *NO-BREAK*

No sistema paralelo redundante isolado, também chamado paralelo isolado, utilizam apenas dois sistemas *no-break*. Nesta configuração, as fases de saída do *no-break* 1 são ligadas na entrada da chave estática do *no-break* 2. O *no-break* 2 é a fonte principal de energia, as cargas são alimentadas preferencialmente por ele. O *no-break* 1 (fonte secundária) é mantido ligado sem carga, em *hot standby*.

Na ocorrência de falha ou defeito no *no-break* 2 (unidade principal), a chave estática é acionada para liberar a energia proveniente do *no-break* 1 (fonte secundária). A potência total é igual à potência individual de cada *no-break*, é recomendado que os sistemas *no-break* sejam de mesma potência, o fabricante pode ser diferente. A figura 5 a seguir mostra o diagrama de blocos do sistema paralelo redundante isolado.

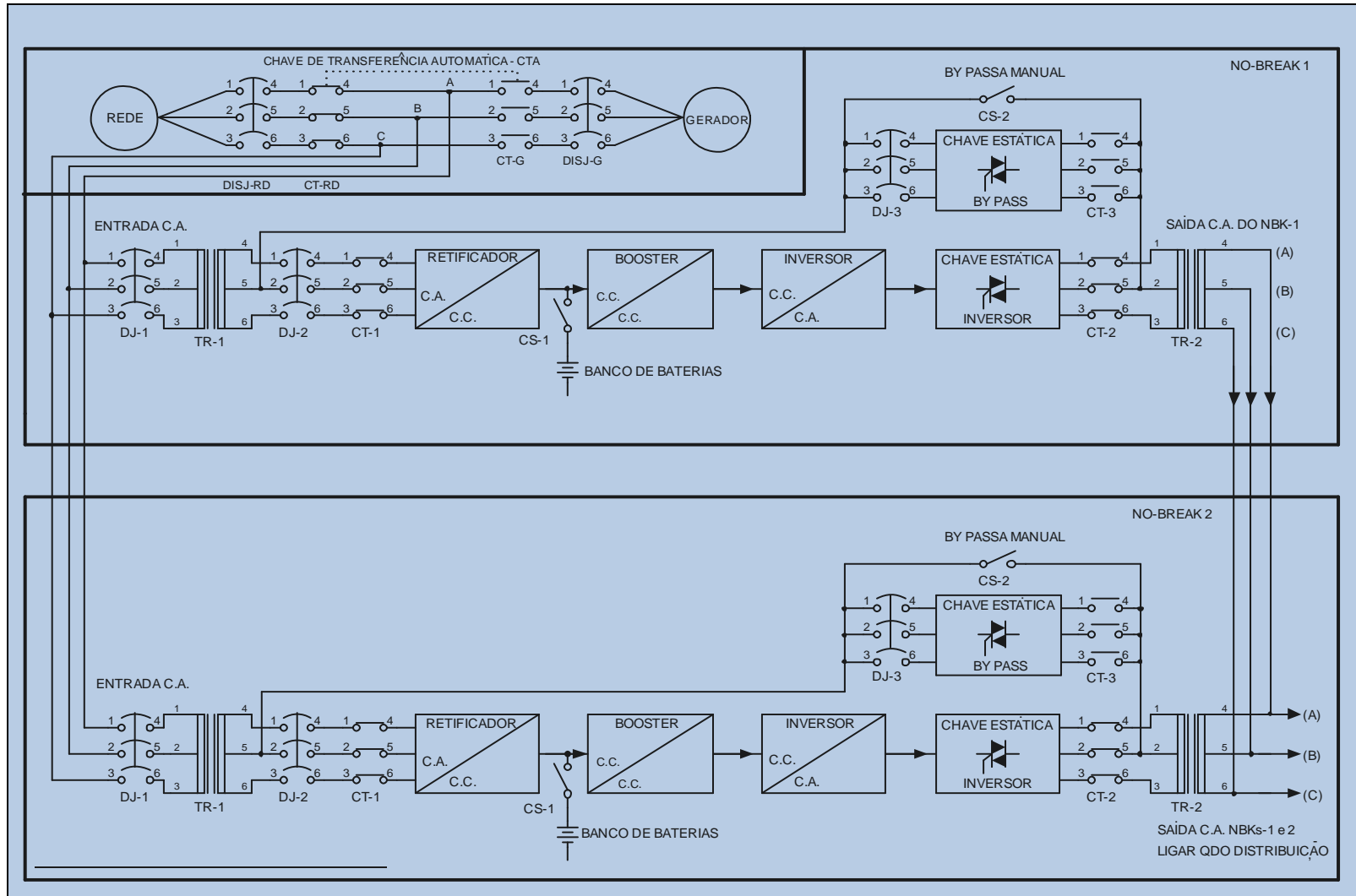


**Figura 5** - Diagrama de blocos do sistema *no-break* configuração paralelo redundante isolado

Fonte: O Autor

### 2.3 CONFIGURAÇÃO PARALELO REDUNDANTE ATIVO DE *NO-BREAK*

Na configuração paralelo redundante ativo podem ser ligados de 2 a 6 unidades de sistemas *no-break* trifásicos, com potência que varia de 10 kVA até 1200 kVA. A quantidade exata de unidades que serão ligadas no paralelismo é definida pelo fabricante. Um sistema *no-break* para operar na configuração paralelo redundante ativo é projetado especificamente para esta finalidade. Nesta configuração, os sistemas *no-break* obrigatoriamente devem ser do mesmo modelo, da mesma potência e do mesmo fabricante. A figura 6 a seguir mostra o diagrama de blocos com a ligação em paralelo de dois sistemas *no-break*, notando-se que as fases de saída do primeiro *no-break* são ligadas respectivamente em paralelo com as fases de saída do segundo. A potência total do sistema paralelo redundante ativo é igual à soma da potência individual de cada sistema *no-break*. No caso de paralelismo ativo de duas unidades, a recomendação técnica indica que a potência total do sistema deve ser igual à potência individual de um *no-break*. Na ocorrência de falha ou avaria no circuito inversor de um dos *no-break*, a chave estática do inversor é desabilitada automaticamente, e a unidade remanescente assume automaticamente a alimentação das cargas, sem interrupção. O sistema de controle do *no-break* garante o perfeito sincronismo entre os dois equipamentos. Este sistema é o utilizado pela empresa de petróleo, o outro objeto deste estudo.



**Figura 6** - Diagrama de blocos do sistema *no-break* configuração paralelo ativo  
 Fonte: O Autor

### 3 EVOLUÇÃO DA FUNÇÃO MANUTENÇÃO

Segundo Arcuri Filho (2009), a Manutenção é uma função institucional exercida por seres humanos e para eles dirigida, visando à preservação da vida das organizações através da garantia de sua lucratividade e sustentabilidade. Já a NBR 5462 (1994) conceitua a Atividade como uma combinação de ações técnicas, administrativas e de supervisão destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

Pode-se observar que a visão de Arcuri Filho (2009) é sistêmica e bem mais abrangente, própria para garantia da continuidade operacional, o que a faz alcançar até os mais altos escalões da organização, passando a fazer parte das diretrizes estratégicas da organização.

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

De acordo com Siqueira (2005), após a Segunda Guerra Mundial teve início o período da mecanização da indústria, quando os equipamentos eram simples e robustos. Neste período, a exigência era que o equipamento mantivesse em operação, por isso a restauração era o método aplicado na época.

Prosseguindo na escala de tempo, Tavares (2009) mostra que, com a industrialização, surgiu a implantação e disseminação das linhas de produção contínuas. O processo de automação foi acelerado nas indústrias, exigindo mão de obra especializada, o que se tornou muito escassa na época; isso provocou a elevação dos custos das correções das falhas. Maior disponibilidade e vida útil, a um baixo custo, tornaram-se o objetivo básico dos pesquisadores, isso motivou as pesquisas de novas técnicas de manutenções preventivas, orientadas para minimizar as falhas nos processos e meios de produção.

Assim, na década de 60 surgiram as primeiras técnicas de manutenção preditivas para otimizar as revisões periódicas implantadas notadamente na indústria aeronáutica. Em meados da década de 70, surge a Manutenção Produtiva Total (*TPM – Total Productive Maintenance*).

Todo este processo evolutivo vai desembocar na metodologia de MCC, adotada inicialmente no setor de aeronáutica com o documento MSG-1, conforme descrito por Arcuri Filho (2009) e detalhado a seguir.

### 3.2 A METODOLOGIA DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

O primeiro evento geralmente atribuído à origem do método Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou *Reliability-Centered Manintenance (RCM)*, refere-se à necessidade das aeronaves Boeing 747, pela FAA (*Federal Aviation Authority*), nos Estados Unidos.

O objetivo era reduzir o tempo de paralisação das aeronaves e os custos de manutenção. O método da MCC possibilita o desenvolvimento e a seleção de projetos alternativos de manutenção, baseados em critérios econômicos, de segurança e operacionais.

#### 3.2.1 Definição da MCC (Normas SAE JA1011 / JA1012)

- Processo específico utilizado para identificar as políticas/estratégias, que devem ser implementadas para controlar as causas/modos das falhas funcionais e qualquer ativo físico num determinado contexto operacional.
- Método desenvolvido para refinar o Planejamento de Manutenção, integrando suas diversas formas de atividades de modo a racionalizar e otimizar as programações tradicionalmente empregadas.

#### 3.2.2 Paradigma Central da MCC

Preservar a função do sistema. O mais importante é a função do equipamento (componente) e não o equipamento (componente) em si. (ARCURI FILHO, 2009).

### 3.2.3 Fundamentos/ Objetivos da MCC (SAE JA1011 / JA1012) :

- Quais são as funções e os respectivos padrões de performance desejados para os ativos no atual contexto operacional?
- De que formas eles podem falhar e deixar de cumprir suas funções?
- Quais são as causas de cada falha funcional?
- O que acontece quando a falha ocorre?
- Quais são os encargos derivados da ocorrência da falha?
- O que deve ser feito para prever ou bloquear a falha?
- O que deve ser feito se uma tarefa de bloqueio adequada não puder ser definida?

### 3.2.4 Conceitos Principais da MCC

A filosofia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) baseia-se num método desenvolvido para refinar o planejamento da manutenção, integrando as diversas especialidades que contribuem para manter o sistema operando, de modo a racionalizar e otimizar os planos de manutenção tradicionalmente empregados (MOUBRAY, 1998).

Já na ótica de Oliveira apud Arcuri Filho (2009), as 4 diretrizes que norteiam a MCC são:

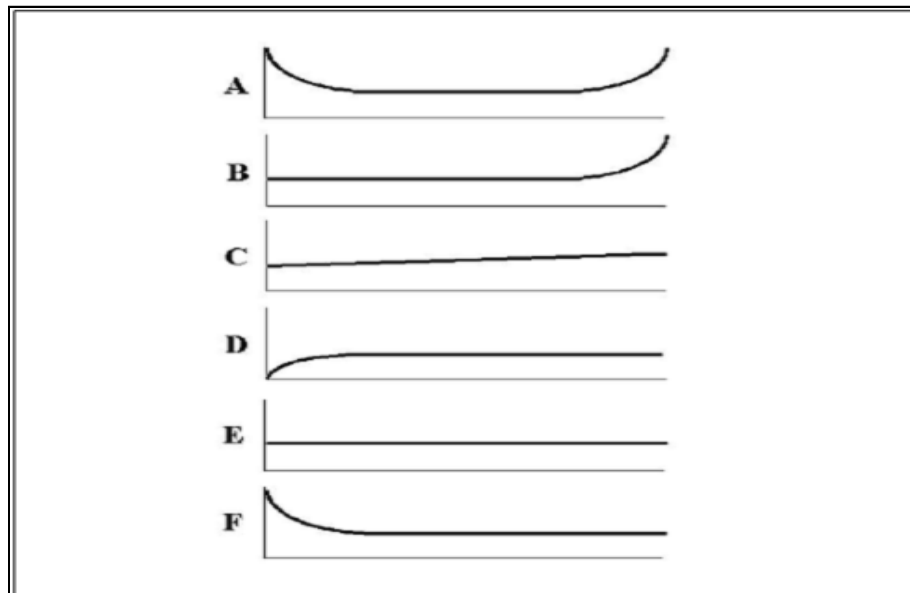
- preservação da função do sistema;
- levantamento das falhas funcionais e modos de falhas dominantes;
- identificação das tarefas de manutenção potencialmente adequadas através de diagrama de decisão;
- seleção de tarefas aplicáveis técnica e economicamente.

Segundo o mesmo autor, a implantação da MCC está estruturada em 5 etapas:

- seleção dos sistemas, fronteiras, interfaces e modularização;
- determinação das funções e falhas funcionais;
- análise de modos e efeitos das falhas funcionais (FMEA);
- seleção das tarefas;
- formulação e implementação do plano de manutenção.

### 3.2.4.1 Padrões de Modos de Falhas

Outro paradigma levantado, questionado e derrubado mediante os estudos da MCC é o que convencionava que a maioria dos equipamentos se torna mais propensos a falhas à medida que envelhece. A manutenção tinha como único padrão de modo de falha a curva da banheira, na qual o envelhecimento e a mortalidade infantil eram bem caracterizados. Essa relação entre idade e falha pode ser predita e aplicável a alguns modos de falha, nos quais a idade está associada à fadiga e a corrosão. A evolução dos equipamentos, entretanto, deu origem a novos padrões de modos de falha (MOUBRAY, 1998).



**Figura 7** – Padrões de modos de falhas  
Fonte: Moubray (1998)

O padrão A é a conhecida curva da banheira; o padrão B está associado ao desgaste e a fadiga; o padrão C mostra um aumento gradual da probabilidade de falha sem idade definida de descarte; o padrão D mostra uma baixa probabilidade de falha inicial, com um rápido aumento até um nível constante, ao passo que o padrão E possui probabilidade de falha constante em todas as idades; por fim o padrão F inicia com um alto índice de mortalidade precoce e decai a uma probabilidade de falha constante ou levemente crescente.



Estudos em aeronaves civis apontaram que 4% dos itens atuam conforme o modo de falha do padrão A; 2%, do B; 5%, do C; 7%, do D; 14%, do E, e cerca de 68%, do padrão F. Quanto à natureza dos itens, os padrões A, B e C representam componentes mais simples, com modo de falha dominante simples (por exemplo, desgaste e fadiga); por sua vez, os padrões D, E e F descrevem os modos de falha de itens complexos, como sistemas de controle hidráulico, eletrônico e pneumático, os quais possuem características aleatórias (SMITH, 1993).

#### 3.2.4.2 Classificação de Falhas

Para os objetivos da MCC, as falhas são classificadas, de acordo com o efeito que provocam sobre uma função do sistema a que pertencem, em duas categorias básicas:

- Falha Funcional – definida pela incapacidade de um item de desempenhar uma função específica dentro de limites desejados de performance.
- Falha Potencial – definida como uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência.

As falhas funcionais, por sua vez, são classificadas pela MCC, em três categorias, de acordo com sua visibilidade:

- Falha Evidente – a qual, por si só, é detectada pela equipe de operação durante o trabalho normal;
- Falha Oculta – efeito não aparente, uma falha que não é detectada pela equipe de operação durante o trabalho normal;
- Falha Aleatória – sem correlação com a idade do equipamento;
- Falha Simples – não provocam eventos que possam gerar outras falhas;
- Falha Múltipla – uma combinação de uma falha oculta mais uma segunda falha, ou evento, que a torne evidente.

Esta classificação é adotada pela MCC para definir a melhor estratégia de manutenção. Para falhas evidentes, a estratégia deverá necessariamente prevenir a consequência de uma falha simples; já para as falhas ocultas a estratégia deverá concentrar-se em prevenir a

consequência de uma falha múltipla. Em última análise, algumas falhas devem ser prevenidas; outras podem ser aceitas.

### 3.2.4.3 Conceitos dos Modos de Falhas

O estudo dos modos de falhas deve iniciar-se pela definição precisa deste termo. Segundo as normas SAE JA1011 (1999) e IEC 60300-3-11 (2009), têm-se, respectivamente, as seguintes definições para modos de falha:

- Um evento ou condição física, que causa uma falha funcional;
- Um dos possíveis estados de falha de um item, para uma dada função requerida.

Ao contrário da falha funcional, usualmente associada a um estado anormal da função do equipamento, o modo de falha está associado ao evento ou fenômeno físico que provoca a transição do estado normal ao estado anormal. Os modos de falha descrevem como as falhas funcionais acontecem, ou seja, o mecanismo de falha ou o que pode falhar. Cada componente de um processo pode gerar um conjunto de modos de falha, característicos de sua tecnologia. Cada modo de falha, por sua vez, pode ser originado por um conjunto de causas.

## **4 APLICAÇÃO DA MCC EM *NO-BREAKS* DE MÉDIO E GRANDE PORTE**

Este capítulo apresenta as diversas etapas de aplicação da MCC aos dois objetos de estudo deste trabalho, ou seja, o sistema *no-break* singelo da planta química, já descrito no item 2.1, e o sistema *no-break* redundante paralelo ativo, da empresa do setor de petróleo, detalhado no item 2.3 desta monografia.

#### 4.1 ANÁLISES DE FALHAS FUNCIONAIS (AFF) E FMEA DOS CASOS ABORDADOS

As consequências são analisadas na MCC pelos impactos dos efeitos dos modos de falhas na operação do sistema, no meio ambiente, na segurança física e na economia do processo. O quadro 2 mostra a AFF e FMEA para os sistemas *no-break* aqui abordados. Uma vez escolhida as funções significantes, a MCC utiliza uma lógica estruturada para determinar a ação recomendada para eliminar ou diminuir as consequências de cada modo de falha destas funções. A lógica aplica um grupo de questões objetivas, com dupla opção de escolha (sim ou não), para classificar e caracterizar cada modo de falha.

AFF E FMEA PARA <i>NO-BREAK</i> DE MÉDIO E GRANDE PORTE				
MÓDULO	FUNÇÕES	FALHAS FUNCIONAIS	CAUSAS ORIGINADORAS	MODOS
Rede Elétrica da Concessionária	Fornecer energia elétrica para alimentar o sistema	Interrupção no fornecimento de energia elétrica	Avaria na rede de distribuição	Evidente/Aleatória
			Avaria na subestação elétrica	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga na rede elétrica	Oculto/Aleatória/Múltipla
Gerador de Energia	Fornecer energia elétrica para alimentar o sistema	Interrupção no fornecimento de energia elétrica	Falha no gerador de energia	Evidente/Aleatória
			Defeito no gerador de energia	Evidente/Aleatória
			Falta de combustível	Evidente/Aleatória/Simples
Chave de Transferência Automática CTA	Liberar energia elétrica da rede ou do gerador para o sistema	Interrupção no fornecimento de energia elétrica da rede ou do gerador	Falha na CTA	Evidente/Aleatória
			Defeito na CTA	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga na CTA	Oculto/Aleatória/Múltipla
Disjuntor de Entrada do Transformador DJ-1	Liberar energia elétrica para o transformador TR-1	Interrupção no fornecimento de energia elétrica	Falha no disjuntor	Evidente/Aleatória
			Defeito no disjuntor	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga no disjuntor	Oculto/Aleatória/Múltipla
Transformador de Entrada TR-1	Elevar, isolar e adaptar a tensão C.A. de entrada	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para o <i>no-break</i>	Falha no transformador	Oculto/Aleatória/Múltipla
			Defeito no transformador	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga no transformador	Oculto/Aleatória/Múltipla
Disjuntor de Entrada do <i>No-Break</i> DJ-2	Liberar energia elétrica C.A. para o <i>no-break</i>	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para o <i>no-break</i>	Falha no disjuntor	Evidente/Aleatória
			Defeito no disjuntor	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga no disjuntor	Oculto/Aleatória/Múltipla
Contatora de Entrada do <i>No-Break</i> CT-1	Liberar energia elétrica C.A. para o <i>no-break</i>	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para o <i>no-break</i>	Falha na contatora	Evidente/Aleatória
			Defeito na contatora	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga na contatora	Oculto/Aleatória/Múltipla
Circuito Retificador	Converter energia C.A. em energia C.C.	Interrupção no fornecimento de corrente contínua para o <i>Booster</i> , inversor e baterias	Falha no circuito retificador	Evidente/Aleatória
			Defeito no circuito retificador	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga no retificador	Oculto/Aleatória/Múltipla
Circuito de <i>Booster</i>	Elevar a corrente contínua para o circuito inversor	Interrupção no fornecimento de corrente contínua para o inversor e baterias	Falha no circuito de <i>Booster</i>	Evidente/Aleatória
			Defeito no circuito de <i>Booster</i>	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga no circuito <i>Booster</i>	Oculto/Aleatória/Múltipla
Circuito Inversor	Converter energia C.C. em energia C.A.	Interrupção no fornecimento de energia C.A. para a carga	Falha no circuito inversor	Evidente/Aleatória
			Defeito no circuito inversor	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga no circuito inversor	Oculto/Aleatória/Múltipla

**Quadro 3** – AFF e FMEA para *no-break* de médio e grande porte

Fonte: O autor

AFF E FMEA PARA <i>NO-BREAK</i> DE MÉDIO E GRANDE PORTE				
MÓDULO	FUNÇÕES	FALHAS FUNCIONAIS	CAUSAS ORIGINADORAS	MODOS
Chave Estática do Inversor	Liberar energia elétrica do inversor para a carga	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Falha na chave estática	Evidente/Aleatória
			Defeito na chave estática	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga na chave estática	Oculto/Aleatória/Múltipla
Contatora de Saída CT-2	Liberar energia elétrica do inversor para a carga	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Falha na chave estática	Evidente/Aleatória
			Defeito na chave estática	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga na chave estática	Oculto/Aleatória/Múltipla
Banco de Baterias	Armazenar cargas elétricas Para alimentar o <i>Booster</i> e o inversor	Perda da capacidade de armazenamento de cargas elétricas	Vida útil	Oculto
			Sobretensão	Oculto/Aleatória/Múltipla
			Subtensão	Oculto/Aleatória/Múltipla
Chave Seccionadora da Bateria CS-1	Liberar as cargas elétricas das baterias para o <i>Booster</i> e o inversor	Desligamento do circuito inversor por falta de corrente contínua	Falha na chave	Evidente/Aleatória
			Defeito na chave	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga na chave	Oculto/Aleatória/Múltipla
Disjuntor de Entrada da Chave Estática do <i>By Pass</i> Automático DJ-3	Liberar energia elétrica C.A. para a carga, nas avarias do circuito inversor	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Falha no disjuntor	Evidente/Aleatória
			Defeito no disjuntor	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga no disjuntor	Oculto/Aleatória/Múltipla
Chave Estática do <i>By Pass</i> Automático	Liberar energia elétrica C.A. para a carga, nas avarias do circuito inversor	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Falha na chave	Evidente/Aleatória
			Defeito na chave	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga na chave	Oculto/Aleatória/Múltipla
Contatora de Saída da Chave Estática do <i>By Pass</i> Automático CT-3	Liberar energia elétrica C.A. para a carga, nas avarias do circuito inversor	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Falha na contatora	Evidente/Aleatória
			Defeito na contatora	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga na contatora	Oculto/Aleatória/Múltipla
<i>By Pass</i> Manual CS-2	Liberar energia elétrica para a carga	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Falha no <i>By Pass</i> Manual	Evidente/Aleatória
			Defeito no <i>By Pass</i> Manual	Evidente/Aleatória
			Sobrecarga no <i>By Pass</i> Manual	Oculto/Aleatória/Múltipla

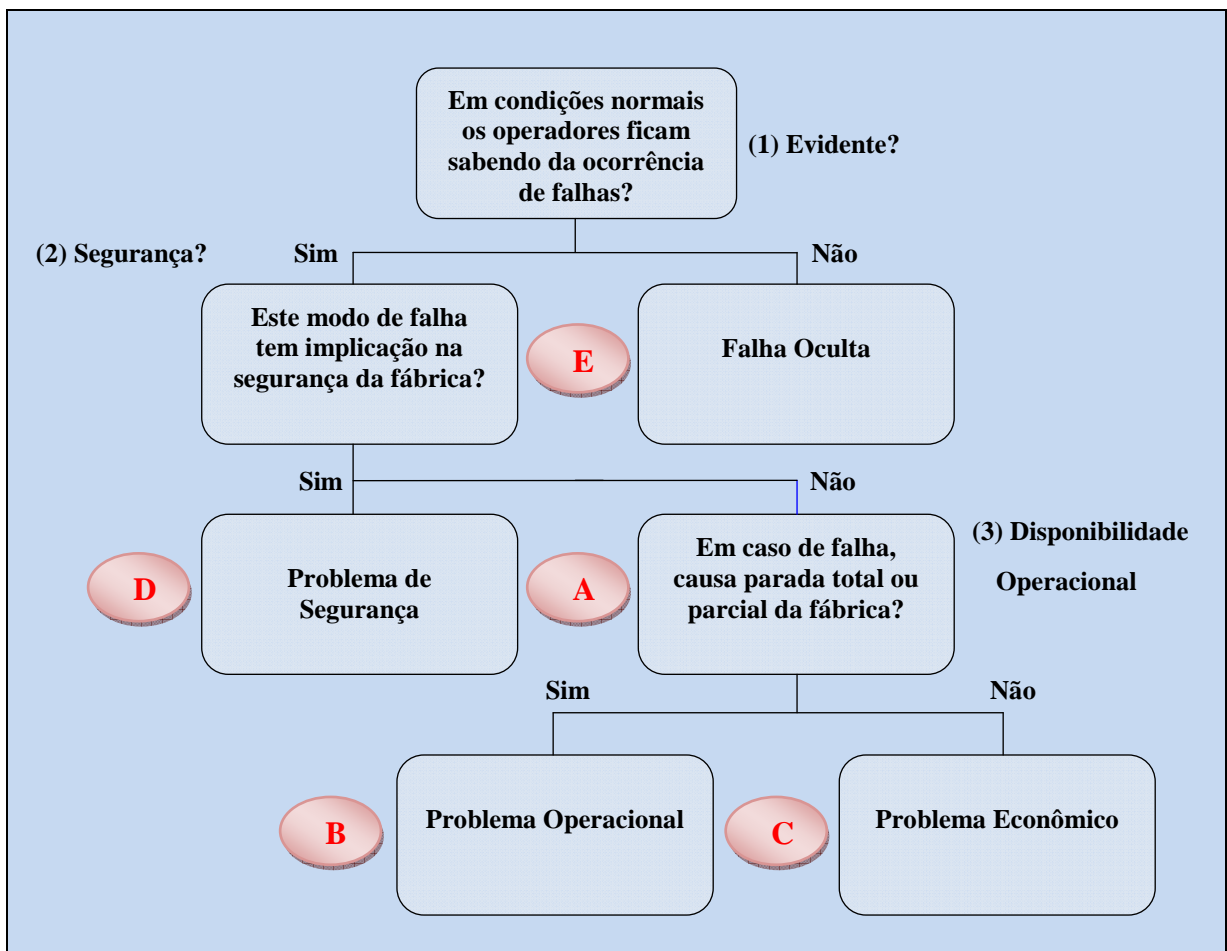
Quadro 3 – Continuação

## 4.2 APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE DECISÃO

Conforme a Análise de Falhas Funcionais (AFF) e Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA) desenvolvidas no item 4.1, foram aplicados os conceitos do diagrama de decisão com o objetivo de determinar as prioridades das falhas e consequentemente, a seleção das tarefas aplicáveis (técnica e economicamente).

## 4.3 PRIORIZAÇÃO DOS MODOS DE FALHAS SELECIONADOS

Com base nos critérios do diagrama de decisão da figura 8, foram selecionados os modos de falhas apresentados no quadro 4 logo a seguir.



**Figura 8** – Diagrama de decisão para priorização de modos de falha

Fonte: Adaptado de Arcuri Filho (2009)

MÓDULO	FALHAS FUNCIONAIS	MODOS	PRIORIZAÇÃO
Rede Elétrica da Concessionária	Interrupção no fornecimento de energia elétrica	Evidente/Aleatória	A/C
Gerador de Energia	Interrupção no fornecimento de energia elétrica	Evidente/Aleatória	B/C
Chave de Transferência Automática CTA	Interrupção no fornecimento de energia elétrica da rede ou do gerador	Evidente/Aleatória	A/C
Disjuntor de Entrada do Transformador DJ-1	Interrupção no fornecimento de energia elétrica	Evidente/Aleatória	A/B/C
Transformador de Entrada TR-1	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para o <i>no-break</i>	Evidente/Aleatória	A/B/C
Disjuntor de Entrada do <i>No-Break</i> DJ-2	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para o <i>no-break</i>	Evidente/Aleatória	A/B/C
Contatora de Entrada do <i>No-Break</i> CT-1	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para o <i>no-break</i>	Evidente/Aleatória	A/B/C
Circuito Retificador	Interrupção no fornecimento de corrente contínua para o <i>Booster</i> , inversor e baterias	Evidente/Aleatória	A/B/C
Circuito de <i>Booster</i>	Interrupção no fornecimento de corrente contínua para o inversor e baterias	Evidente/Aleatória	A/B/C
Circuito Inversor	Interrupção no fornecimento de energia C.A. para a carga	Evidente/Aleatória	A/B/C
Chave Estática do Inversor	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Evidente/Aleatória	A/B/C
Contatora de Saída CT-2	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Evidente/Aleatória	A/B/C
Banco de Baterias	Perda da capacidade de armazenamento de cargas elétricas	Oculto/Aleatória/Múltipla	D/E
Chave Seccionadora da Bateria CS-1	Desligamento do circuito inversor por falta de corrente contínua	Evidente/Aleatória	B
Disjuntor de Entrada da Chave Estática do <i>By Pass</i> Automático DJ-3	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Evidente/Aleatória	B
Chave Estática do <i>By Pass</i> Automático	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Evidente/Aleatória	B
Contatora de Saída da Chave Estática do <i>By Pass</i> Automático CT-3	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Evidente/Aleatória	B
<i>By Pass</i> Manual CS-2	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	Evidente/Aleatória	B

**Quadro 4** – Priorização de falhas com base no diagrama de decisão

Fonte: O autor

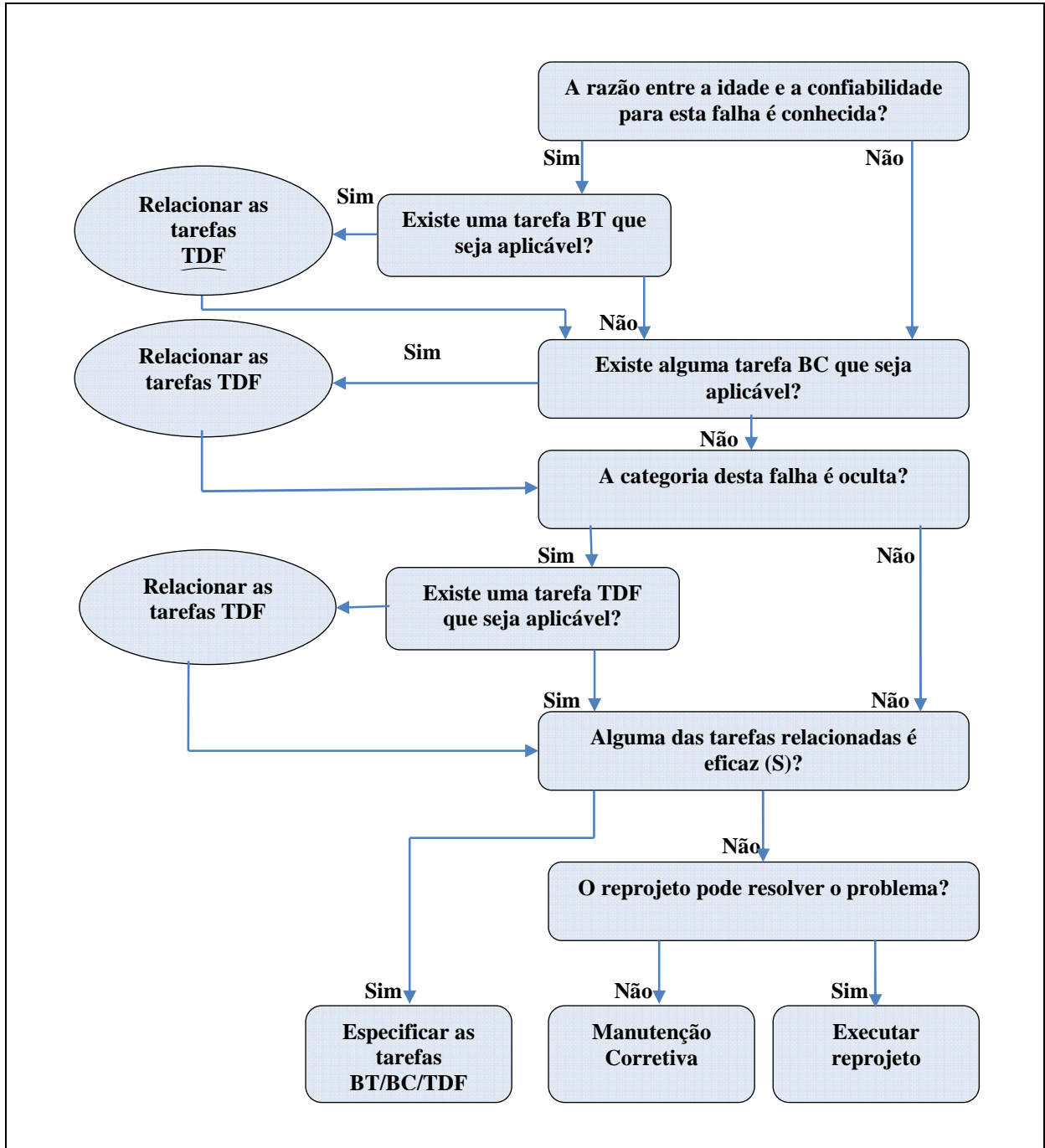
#### 4.4 RELAÇÃO DE TAREFAS

Com a finalidade de bloquear cada tipo de falhas, as tarefas foram baseadas nos procedimentos de Manutenção Preditiva e Preventiva, normalmente implantados pelos planos de MCC tradicionais, a saber:

- Manutenção preventiva baseada no tempo (MP-BT)
- Manutenção preventiva baseada na condição (MP-BC)
- Testes de detecção de falhas ocultas (TDF)
- Manutenção corretiva (MC)

Nesta etapa, utilizou-se o diagrama de decisão da figura 9 para selecionar as tarefas selecionadas no quadro 5 logo a seguir.





**Figura 9** – Diagrama de decisão para seleção de tarefas  
 Fonte: Arcuri Filho (2009)

MÓDULO	FALHAS FUNCIONAIS	PRIORIZAÇÃO	TAREFAS
Rede Elétrica da Concessionária	Interrupção no fornecimento de energia elétrica	C	Manter o <i>no-break</i> em operação permanente (MP-BC) Manutenção periodicamente da subestação e da instalação elétrica (TDF)
Gerador de Energia	Interrupção no fornecimento de energia elétrica	B/C	Manter o <i>no-break</i> em operação permanente (MP-BC) Teste operacional periódico do gerador (MP-BT)
Chave de Transferência Automática - CTA	Interrupção no fornecimento de energia elétrica da rede ou do gerador	A/C	Teste periódico da chave estática (MP-BT) Substituição imediata do componente defeituoso (MC)
Disjuntor de Entrada do Transformador DJ1	Interrupção no fornecimento de energia elétrica	A/B/C	Estudo termográfico do disjuntor (MP-BT) Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC)
Transformador de Entrada - TR1	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para o <i>no-break</i>	A/B/C	Estudo termográfico do transformador (MP-BT) Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC)
Disjuntor de Entrada do <i>No-Break</i> - DJ2	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para o <i>no-break</i>	A/B/C	Estudo termográfico do transformador (MP-BC) Monitoração do consumo de energia (MP-BC)
Contatora de Entrada do <i>No-Break</i> - CT1	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para o <i>no-break</i>	A/B/C	Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Substituição imediata da contatora defeituosa (MC)
Circuito Retificador	Interrupção no fornecimento de corrente contínua para o <i>Booster</i> , inversor e baterias	A/B/C	Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Teste operacional do circuito retificador (MP-BT) Substituição imediata do componente defeituoso (MC)
Circuito de <i>Booster</i>	Interrupção no fornecimento de corrente CC para o inversor e baterias	A/B/C	Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Teste operacional do circuito de <i>booster</i> (MP-BT) Substituição imediata do componente defeituoso (MC)
Circuito Inversor	Interrupção no fornecimento de energia C.A. para a carga	A/B/C	Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Substituição imediata do componente defeituoso (MC)
Chave Estática do Inversor	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	A/B/C	Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Teste operacional da chave estática (MP-BC) Substituição imediata do componente defeituoso (MC)
Contatora de Saída CT2	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	A/B/C	Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Substituição imediata da contatora defeituosa (MC)

**Quadro 5** - Tarefas selecionadas com base no diagrama de decisão

Fonte: O autor

Banco de Baterias	Perda da capacidade de armazenamento de cargas elétricas	D/E	Teste periódico das baterias, simular falha de energia (TDF) Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Substituição imediata do banco de baterias (MC)
Chave Seccionadora da Bateria - CS1	Desligamento do circuito inversor por falta de corrente contínua	B	Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Substituição imediata da chave seccionadora defeituosa (MC)
Disjuntor de Entrada da Chave Estática do <i>By Pass</i> Automático DJ3	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	B	Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Estudo termográfico do disjuntor (MP-BT) Substituição imediata do disjuntor defeituoso (MC)
Chave Estática do <i>By Pass</i> Automático	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	B	Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Substituição imediata do componente defeituoso (MC)
Contatora de Saída da Chave Estática do <i>By Pass</i> Automático CT3	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	B	Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC) Substituição imediata do componente defeituoso (MC)
<i>By Pass</i> Manual CS2	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para a carga	B	Substituição imediata do componente defeituoso (MC)
Transformador de saída – TR2	Interrupção no fornecimento de energia elétrica para as cargas	A/B/C	Estudo termográfico do transformador (MP-BT) Leitura periódica da corrente, tensão e temperatura (MP-BC)

**Quadro 5** - Continuação

#### 4.5 PLANO DE MANUTENÇÃO

O plano de Manutenção tem como objetivo aperfeiçoar e incrementar a estrutura da manutenção preventiva, de forma a priorizar as tarefas relacionadas aos módulos mais críticos. Portanto, será apresentado em forma de *check list*, relacionando todas as tarefas selecionadas e instruções sobre as condições de funcionamento do sistema. Esta proposta de *check list* condensa todos os procedimentos que devem ser seguidos pelo profissional de manutenção que realizará os serviços de manutenção preventiva.

A implantação do plano de manutenção também inclui o treinamento e atualização constante dos engenheiros e técnicos, capacitando-os para tal finalidade. Os operadores do sistema e os eletricitistas do cliente também receberão treinamentos formais, além das recomendações que vão junto ao próprio *check list*, cuja primeira via sempre será entregue ao cliente, juntamente com a respectiva via da ordem de serviço e o relatório de manutenção.

EQUIPAMENTO:		TAG	OS
CLIENTE:		DATA: / /	
ESCOPO DO SERVIÇO	PERIODICIDADE	TIPO DE MANUTENÇÃO	
Inspeção visual no sistema Gravar os registros dos logs de eventos do UPS Gravar os registros dos logs de alarmes do UPS Registro dos logs de eventos USCA e CTA Estudo termográfico do UPS Estudo termográfico dos quadros elétricos Estudo termográfico dos disjuntores Estudo termográfico dos transformadores Estudo termográfico dos condutores elétricos Gravar os registros de grandezas elétricas do UPS (entrada e saída) Tensão elétrica Corrente elétrica Frequência Potência aparente (kVA) Potência real (kW) Fator de potência	Mensal Bimestral Trimestral Semestral Anual	Preditiva Preventiva Corretiva	
Aferir o funcionamento dos circuitos: Retificador Booster Carregador de baterias Inversor Chave estática do inversor Chave estática do <i>by pass</i> Teste operacional do UPS Teste operacional do gerador Teste operacional da CTA Teste operacional da USCA Teste operacional do banco de baterias Teste operacional das chaves estáticas	Mensal Bimestral Trimestral Semestral Anual	Preditiva Preventiva Corretiva	
Inspeção visual das baterias Analisar as baterias com o analisador de bateria Aferir a tensão de: Flutuação Carga Medir a tensão de cada bateria Medir a tensão total do banco de baterias Medir a temperatura das baterias Medir a temperatura sala das baterias Medir a temperatura cabos das baterias	Mensal Bimestral Trimestral Semestral Anual	Preditiva Preventiva Corretiva	
Limpeza do <i>no-break</i> Limpeza Placas de controle do <i>no-break</i> Limpeza da CTA e USCA Limpeza dos transformadores Limpeza das baterias Gabinete de bateria	Mensal Bimestral Trimestral Semestral Anual	Preditiva Preventiva Corretiva	
Substituição de componentes por tempo de uso Ventiladores do <i>no-break</i> Capacitores eletrolíticos do retificador Capacitores eletrolíticos do <i>booster</i> Capacitores eletrolíticos do inversor	3 Anos 5 Anos 7 Anos 10 Anos	Preditiva Preventiva Corretiva	

**Quadro 6** – Check List para manutenção de *no-break* de médio de grande porte

Fonte: O autor

#### 4.6 RESULTADOS ESPERADOS

Para justificar o MCC, com base no quadro 1 a indústria química, apresenta enquadramentos nas criticidades máximas nos fatores de segurança e meio ambiente, qualidade do produto final, disponibilidade de produção, custos de produção e reparo e manutenibilidade. O fator de frequência de falhas enquadra-se na criticidade média.

O ponto de vulnerabilidade da indústria química são as interrupções no fornecimento de energia elétrica da concessionária. As interrupções de energia com duração de até 20 minutos, provocam paradas parciais da fábrica, e as interrupções superior a 20 minutos provocam parada total da fábrica. A falta de sistemas *no-break* redundantes, a baixa autonomia do sistema e a falta de grupo gerador para garantir o fornecimento de energia durante os cortes de energia da concessionária potencializam as criticidades da empresa.

Os pontos de vulnerabilidades da empresa de petróleo, que também compromete a função dos sistemas *no-break* são o(s) grupo(s) gerador(es) de energia, os sistemas de chaves de transferências automáticas (CTA) e as unidades de supervisão de corrente alternada (USCA) que apresentam níveis elevados de falhas. A falta de reservatório para contenção de um possível vazamento de combustível dos tanques dos geradores é um risco potencial para a empresa.

Nos dois casos abordados o sistema de ar condicionado não atende as recomendações dos fabricantes de *no-break*, a umidade relativa da sala ultrapassa os limites especificados. Os quadros e painéis elétricos de energia confiável não possuem redundância e nem circuitos alternativos para desvio de energia, em casos de panes nos componentes dos mesmos.

A análise comparativa dos casos abordados confirma os resultados esperados, pois a indisponibilidade de energia afeta a produção de ambos os casos. Para a implantação da metodologia MCC, alguns paradigmas terão que ser quebrados, as empresas terão que realizar alguns investimentos para aquisição e adequação de seus sistemas *no-break*, geradores de energia, sistemas de ar condicionado de precisão e quadros elétricos. Sem mudar a visão atual da Função Manutenção no âmbito interno, a implantação da metodologia MCC não terá sucesso.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho torna evidente a necessidade da implantação da metodologia MCC, nos casos na indústria química e da empresa do setor de petróleo que foram aqui abordados. Garantir o fornecimento de energia elétrica, de modo ininterrupto e com qualidade, vai contribuir para a redução da vulnerabilidade operacional das empresas, e aumentar a disponibilidade de energia elétrica estável para as cargas críticas.

O emprego da metodologia da MCC orienta o profissional de manutenção e os gestores das empresas, a pensar de forma estruturada, e faz com que os mesmos conheçam o funcionamento dos sistemas *no-break*, de forma a compreender as causas dos modos de falhas pertinentes a cada parte do sistema de energia confiável.

Desta forma, é necessária uma reavaliação das configurações dos sistemas *no-break* empregados atualmente, implantando mudanças graduais e não abruptas, mas que levem ao efeito esperado, possibilitando a recuperação da falta de investimento neste setor.

A disponibilidade de energia de qualidade deve fazer parte dos objetivos estratégicos das duas organizações. Sendo assim, é preciso ter uma visão sistêmica de todos os processos de modo a identificar os gargalos nos mesmos. A apresentação de um problema operacional mostra que o uso somente das técnicas de MCC não é suficiente, sendo necessário focar o negócio.

Por ser esta a meta permanente e o maior desafio dos profissionais e das equipes de Manutenção, fica evidente que os custos do reparo aplicados nos sistemas de energia para mantê-los com alta disponibilidade só expressa o montante gasto na prevenção e correção.

Após a implantação da metodologia MCC descrita neste estudo, resta perenizar as práticas a ela relacionadas. Porém, as exigências do mercado não permitem o conservadorismo e, desta forma, a manutenção dos sistemas *no-break* de médio e grande porte necessita sempre de técnicas mais apuradas que possam aumentar a disponibilidade de energia de qualidade e a competitividade das empresas no mercado nacional e mundial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Antonio Eustáquio Figueira de. *Sistemas No-Break Estáticos*. 1ª edição. Rio de Janeiro: Antenna, 2005.

\_\_\_\_\_. *Sistemas Estabilizadores de Tensão*. 1ª edição. Rio de Janeiro: edNews, 2008.

ARCURI FILHO, Rogério *Aplicação da MCC na otimização de planos de manutenção*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009. Apostila da disciplina ministrada no MBA em Engenharia de Manutenção (ENGEMAN)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *Norma NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade - terminologia*. Rio de Janeiro, 1994.

GE DIGITAL ENERGY. *Sistemas no-break de 40 kVA e 80 kVA*. Disponível em [www.gedigitalenergy.com/powerquality/catalog/lp33ups40.htm](http://www.gedigitalenergy.com/powerquality/catalog/lp33ups40.htm). Acesso em Julho/2010.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC *Norma 60300-3-11 Gestão de Confiabilidade – Parte 3-11: Guia de aplicação – Confiabilidade centrada na manutenção*, 2009.

MITSUBISHI ELETRIC POWER PRODUCTS. *Sistema no-break 150 kVA*. Disponível em [www.meppi.com/Products/UninterruptiblePowerSupplies/Products/Pages/Products.aspx](http://www.meppi.com/Products/UninterruptiblePowerSupplies/Products/Pages/Products.aspx). Acesso em Julho/2010.

MOUBRAY, John. *RCM II: Manutenção centrada em confiabilidade*. Grã Bretanha: Biddles, 1998.

SIQUEIRA, Iony Patriota. *Manutenção centrada na confiabilidade: Manual de implantação* Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SMITH, A.M. *Reliability-centered maintenance* – Mc Graw-Hill, 1993

TAVARES, Lourival Augusto. *Teoria Modulo 1 e 2 Desenvolvimento Tecnológico da Manutenção*, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009. Apostila da Disciplina ministrada no MBA em Engenharia de Manutenção (ENGEMAN)

THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND SEA AIR AND SPACE - SAE. *Norma SAE JA 1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes*. Warrendale, USA, 1999.



\_\_\_\_\_ *Norma SAE JA 1012: A guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard.* Warrendale, USA, 2002.