Um estudo para a operacionalização da MCC em uma empresa de logística

Bibiana Severo de Oliveira (bibiana.severo@gmail.com)
José Luis Duarte Ribeiro (ribeiro@producao.ufrgs.br)

Resumo

Este artigo apresenta a aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em uma empresa de logística. A revisão da literatura permitiu definir sete etapas essenciais para a operacionalização da MCC. Após a seleção do sistema a ser estudado, foi analisado o histórico de falhas e identificados os subsistemas que apresentam maior ocorrência de falhas, os modos de falha com maior incidência nos subsistemas e os intervalos entre essas falhas. A etapa seguinte consistiu na aplicação da FMEA. A partir desta análise, foi indicada a atividade de manutenção ideal para cada subsistema e os intervalos entre as mesmas. A adequada seleção da atividade de manutenção permitiu minimizar a ocorrência e facilitar a detecção dos modos de falha. Como resultado, obteve-se o aumento da disponibilidade dos equipamentos e eliminação de tarefas de manutenção desnecessárias, incorrendo em redução dos custos associados. Além disso, o programa permitiu o desenvolvimento da equipe atuante e a criação de uma sistemática para realização das atividades na empresa.

Palavras-chave: manutenção centrada em confiabilidade, FMEA, tarefas de manutenção, logística

1. Introdução

A crescente competitividade entre as empresas faz com que as mesmas busquem alternativas para melhorar a eficiência, qualidade e agilidade de seus processos. Neste contexto, destaca-se a dimensão estratégica adquirida pela logística nas empresas, uma vez que, adequadamente gerenciada, permite maior integração entre clientes e fornecedores e proporciona redução de incertezas e riscos (CARLINI, 2002).

A indústria automotiva é precursora na identificação da logística como fator de grande importância nos seus negócios. A GM Gravataí, por exemplo, desenvolveu um complexo automotivo prevendo a instalação de seus principais fornecedores em um mesmo local. Isto permitiu à unidade fabril minimizar o volume de estoque e manter uma linha de produção compacta e enxuta (BANDEIRA, 2009). Além disto, tornou viável a coleta dos componentes nos fornecedores e abastecimento de peças na linha montagem *just-in-time* (MARINI *et al.*, 2005). O sistema desenvolvido reforça o papel desempenhado pela logística, uma vez que,

erros na gestão da cadeia de suprimentos podem implicar na interrupção da linha de produção incorrendo em enormes prejuízos a corporação (BANDEIRA, 2009).

Neste contexto é possível ressaltar a manutenção dos equipamentos ocupando papel decisivo na gestão logística. Falhas nos veículos responsáveis pelo transporte das peças até a linha de montagem podem implicar em não abastecimento das mesmas, gerando grandes perdas por paradas de produção (BANDEIRA, 2009).

Seeling (2000) afirma que a má administração da manutenção implica na elevação de gastos, associados à atuação concentrada em planos de contingência aos problemas encontrados. Em contrapartida, quando bem gerida, a manutenção proporciona a maximização da disponibilidade dos equipamentos, obtida através de melhorias na confiabilidade, performance e segurança das operações.

Considerando o contexto descrito, este artigo tem o objetivo de desenvolver e aplicar um método que melhore o desempenho da manutenção de veículos industriais de uma empresa de logística além de reduzir os custos associados à manutenção. O método será desenvolvido seguindo os preceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), uma vez que é um programa que utiliza técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos continuem a realizar as funções desejadas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2008; LAFRAIA, 2006). As estratégias de manutenção desenvolvidas pela MCC são capazes de combinar princípios de disponibilidade dos equipamentos, qualidade do produto, confiabilidade, segurança e meio ambiente, e através destes, procura desenvolver um programa ótimo de manutenção (HANSEN, 2006; BLOOM, 2006 apud MENDES; RIBEIRO, 2010).

O estudo justifica-se em função dos elevados custos incorridos de paradas na linha de montagem da empresa cliente, quando não abastecidas as peças no tempo requerido. Estes custos podem ser equivalentes a quinhentos dólares por minuto de parada (BANDEIRA, 2009). Cabe salientar que, segundo dados da Associação Brasileira de Manutenção (2009), 4,14 % do faturamento bruto das empresas brasileiras foram gastos com manutenção, o que significa uma alta parcela do PIB nacional.

O presente artigo está estruturado em cinco seções. Na seção 2, é apresentado o referencial teórico, abordando manutenção centrada em confiabilidade, as etapas necessárias para sua implantação bem como as vantagens, resultados e dificuldades encontradas na operacionalização da mesma. A seção 3 contempla os procedimentos metodológicos utilizados na realização do trabalho. Na seção 4, são apresentados os resultados alcançados e discutidos aspectos relevantes encontrados durante o estudo. Para finalizar, são apresentadas, na seção 5, as conclusões obtidas com a realização do estudo.

2. Referencial Teórico

2.1. Apresentação da MCC

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é um programa capaz de combinar diferentes técnicas de engenharia com a finalidade de preservar as funções de um equipamento (SMITH, 2006; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Através da análise das principais funções do sistema e identificação de seus modos de falha, é possível selecionar e aplicar tarefas efetivas na prevenção de falhas funcionais (SMITH, 2006). O objetivo de redução de custos, presente na MCC, é alcançado à medida que são evitadas ou removidas tarefas de manutenção desnecessárias (RAUSAND, 1998).

Segundo Rausand (1998), planos tradicionais de manutenção se baseiam, frequentemente, na combinação de recomendações dos fabricantes, legislação e estratégias corporativas e, raramente, em modelos e dados. A MCC desenvolve estratégias que se diferenciam dos planos tradicionais através da combinação de princípios de disponibilidade dos equipamentos, qualidade do produto, segurança e meio ambiente (HANSEN, 2006). Além disso, contribui para estabelecer um ambiente de engenharia simultânea, foco no estudo de conseqüências de falhas e atividades pró-ativas, as quais envolvem tarefas preditivas e preventivas e, por fim, é capaz de combater falhas escondidas responsáveis pela redução da confiabilidade do sistema (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Estes princípios servem como base à MCC para o desenvolvimento de um programa ótimo de manutenção (BLOOM, 2006).

Um programa de MCC deve contemplar respostas às sete questões básicas: (i) quais as funções e padrões de desempenho esperados para os equipamentos em seu contexto operacional; (ii) como os equipamentos podem falhar no cumprimento de suas funções; (iii) qual a causa de cada falha funcional; (iv) o que acontece quando cada falha ocorre; (v) qual a importância de cada falha; (vi) o que pode ser feito para evitar cada falha; (vii) o que deve ser feito se não for possível efetuar uma tarefa preventiva (MOUBRAY, 1997). Siqueira (2005) complementa que, usualmente, é questionada a freqüência ideal das atividades, uma vez que as tarefas de manutenção já foram escolhidas.

A definição das funções e padrões de desempenho fornece a base de trabalho para o programa de MCC. O padrão de desempenho é normalmente identificado por gerentes de produção e operadores, desta forma, é fundamental a participação dos mesmos das reuniões do programa (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). As funções podem ser divididas em principais e secundárias. A primeira corresponde à razão pelo qual o item foi adquirido, e a manutenção deve garantir o desempenho satisfatório das mesmas. As secundárias se referem à aparência,

conforto, segurança e integridade estrutural, economia e eficiência. Devem ser analisadas com cuidado quando se tratando de situações específicas (MOUBRAY, 1997).

As falhas são eventos que levam a redução parcial ou total da função do produto e seu desempenho (HELMAN, 1995). Os modos de falha podem ser identificados através da análise da ocorrência dos mesmos no passado ou através da percepção de uma futura ocorrência pela equipe envolvida (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

As ações preventivas devem ser direcionadas às causas de falhas funcionais. As causas devem ser detalhadas a fim de que a raiz do problema identificado seja atingida. Os efeitos de falha, segundo Moubray (1997), descrevem o que acontece quando um modo de falha ocorre. Como exemplos de efeitos típicos em equipamentos se destacam: (i) vazamentos de ar; (ii) consumo excessivo de combustível; (iii) desgaste prematuro (HELMAN, 1995).

A importância atribuída a uma falha e o dimensionamento do esforço a ser aplicado para evitar sua ocorrência devem ser proporcionais à conseqüência desta falha. As conseqüências podem ser classificadas em cinco grupos: (i) escondidas; (ii) segurança; (iii) ambientais; (iv) operacionais; (v) outras, que não se classificam em nenhuma das anteriores. A conseqüência da falha direciona as ações preventivas, determinando a prioridade e intensidade das ações (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A fim de evitar que as falhas ocorram é possível realizar tarefas pró-ativas e tarefas reativas. A primeira se refere àquelas conduzidas anteriormente à ocorrência da falha, podem ser preventivas ou preditivas. As tarefas reativas ocorrem quando não é possível identificar uma atividade preventiva ou quando, financeiramente, não é vantajoso (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Por fim, quando não for possível estabelecer atividade preventiva, pode-se recorrer a atividades de procura de falhas, onde são verificadas periodicamente funções escondidas. E ao redesenho de subsistemas, o que geralmente foge da rotina das equipes que trabalham na MCC e deve ser tratado com cautela (MOUBRAY, 1997).

2.2. Implantação da MCC

A MCC apresenta conceitos e sistemáticas para sua operacionalização. Siqueira (2005) estabelece um conjunto de sete atividades essenciais, sendo elas: seleção do sistema e coleta de informações, análise de modos e efeitos de falha, seleção das funções significantes, seleção de atividades aplicáveis, avaliação das atividades aplicáveis, seleção das atividades aplicáveis e efetivas e definição da periodicidade das atividades. As etapas permitem responder, através da utilização de ferramentas de modelagem e análises, a cada questão da MCC.

Rao *et al.* (1996) adotam uma seqüência estruturada em etapas reduzidas. O primeiro passo é a seleção do sistema crítico, através da utilização de valores de tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo e custo de manutenção. Seguido de coleta de dados, seleção de itens cujas falhas possuam efeito significante nos custos de avaliação ou manutenção, seleção do tipo de manutenção a ser aplicada para cada conseqüência identificada e, por fim, definição dos intervalos de manutenção.

Lafraia (2001) e Sellitto (2005) apud Mendes (2010) estabelecem atividades mais quantitativas para operacionalização da MCC. São elas: definir e monitorar indicadores (disponibilidade dos equipamentos A(t), confiabilidade R(t), custo da manutenção), analisar quantitativamente as falhas (risco ou taxa de falha h(t), distribuição de probabilidade das falhas) e programar a manutenção através da definição de tarefas e intervalos.

Rausand (1998) define que o processo para implantação da MCC está compreendido em doze etapas. São resumidas como segue: (i) preparação do estudo; (ii) seleção e definição do sistema; (iii) análise das funções e falhas funcionais; (iv) seleção dos itens críticos; (v) coleta e análise de dados; (vi) análise dos modos, efeitos e criticidades das falhas; (vii) seleção das tarefas de manutenção; (viii) determinação da periodicidade de manutenção; (ix) análise comparativa; (x) tratamento dos itens não críticos; (xi) implementação; (xii) coleta de dados e atualização com o programa implementado.

A partir da contribuição dos autores citados e outros como Moubray (1997) e Fogliatto e Ribeiro (2009), oito etapas podem ser resumidas como segue:

Etapa 1 – Preparação do estudo. Estabelecimento dos objetivos e escopo da análise, bem como, a definição do grupo atuante no processo.

Etapa 2 – Seleção e determinação do sistema. Detalhamento do que será avaliado e em que nível.

Etapa 3 – Análise das funções e falhas funcionais. Identificação das funções do sistema, das interfaces de entrada e saída e dos potenciais modos de falha.

Etapa 4 – Seleção de itens críticos. Determinar quais itens físicos tem relação crítica com as falhas identificadas na etapa 3.

Etapa 5 – Coleta e análise de dados. Informações de entrada necessárias para descrever os processos de falha.

Etapa 6 – Análise de modos e efeitos de falha. O objetivo deste passo é identificar os modos de falha dominantes dos itens críticos selecionados.

Etapa 7 – Seleção de tarefas preventivas. Determinar as atividades para prevenção das falhas funcionais.

Etapa 8 – Definição da periodicidade das atividades de manutenção. Estabelecer o intervalo ideal entre manutenções a fim de executar as tarefas previstas na etapa anterior.

A literatura esclarece que um programa de MCC é um processo contínuo. Para que todo potencial seja absorvido pela empresa, esse programa necessita de ajustes periódicos em suas análises, uma vez que equipamentos e procedimentos operacionais podem variar. Além disso, o conhecimento cresce, tanto em termos das pessoas, do comportamento dos equipamentos da planta e de como novas tecnologias podem melhorar ainda mais os resultados (SMITH, 2006).

2.3. Aplicação da MCC: vantagens, resultados e dificuldades

Moubray (1997) destaca como principais vantagens na aplicação da MCC o aumento da segurança e integridade do ambiente, a melhora no desempenho operacional, a maior efetividade no custo de manutenção e vida útil de itens mais caros, a maior disponibilidade de dados que fornecem suporte a decisão. Ainda, possibilita o aumento da motivação dos indivíduos envolvidos e melhora a relação do time de trabalho.

Nunes e Valadares (2002) afirmam entre outras vantagens, que a metodologia, através da análise dos procedimentos e técnicas de manutenção, considera também a percepção dos profissionais sobre as possíveis ou prováveis falhas e suas conseqüências para o funcionamento dos equipamentos. Desta forma, tende a diminuir as possíveis resistências e aumenta a motivação, o comprometimento e o incentivo ao trabalho em equipe.

Baseado em um estudo de caso, Zaions (2003) constata que a MCC é um importante processo de documentação, análise de falhas e definição das tarefas de manutenção. Trata-se de um processo continuo e, à medida que a experiência é acumulada, torna-se possível reavaliar os dados e a freqüência de manutenção estabelecia. Silva (2009) e Puiveld *et al.* (1999) também destacam a MCC como um importante processo de documentação, proporcionando aumento da armazenagem de dados e elaboração de relatórios com datas e descrição de falhas mais precisos.

A introdução da MCC na indústria automotiva trouxe benefícios como aumento das informações técnicas, obtidas através da observação do comportamento dos equipamentos, e aumento da eficiência e da eficácia na manutenção preventiva (Puiveld *et al.*, 1999). A MCC estimula o desenvolvimento da equipe e proporciona aos operadores de produção maior conhecimento sobre aspectos de manutenção dos equipamentos (Puiveld *et al.*, 1999; ZAIONS, 2003).

Rao *et al.* (1996) afirmam que, em uma usina produtora de energia, o uso da metodologia MCC permitiu a obtenção de máxima disponibilidade através da redução do tempo ocioso com um custo de manutenção ideal. De maneira geral, a MCC fornece uma estrutura básica para o estabelecimento de um programa de manutenção eficaz e eficiente (AKERSTEN; BACKLUND, 2003).

Por outro lado, Akersten e Backlund (2003) evidenciam alguns problemas e deficiências que se tornam obstáculos para o progresso da MCC: (i) falta de um sistema informatizado de gestão de manutenção, torna mais difícil o processo de recolher e tratar as informações que dão suporte às analises iniciais; (ii) falta de um sistema informatizado específico para a MCC; (iii) falta de registros da planta, que dificulta a coleta de informações; (iv) inexistência de documentação e informação, que dificulta as avaliações de probabilidade; (v) possíveis problemas de rotina e responsabilidades, pois é preciso estabelecer uma estrutura clara de trabalho; (vi) falta de estratégia global na gestão de manutenção, que impede o aprimoramento do programa; (vii) estabelecimento incompleto de metas e procedimentos de identificação e mensuração dos benefícios.

Rao *et al.* (1996) ressaltam a dificuldade encontrada na obtenção de dados de falhas. Assim como Zaions (2003), que conclui que a ausência de informações sobre as mesmas prejudica as análises previstas na MCC.

Existe uma dificuldade na compreensão de conceitos associados à MCC, o que gera problemas de comunicação. A terminologia, objetivos e ferramentas utilizadas durante as análises previstas pela MCC devem ser entendidos por todos os níveis hierárquicos (AKERSTEN; BACKLUND, 2003, ZAIONS, 2003).

Puiveld *et al.* (1999), após realizarem um estudo em uma empresa fabricante de automóveis afirmam que as principais dificuldades na implantação de um programa de MCC foram o baixo comprometimento de alguns gestores, provavelmente em função da cultura vigente na organização, a falta de planejamento a longo prazo e limitações técnicas em momentos de questionamentos. Zaions (2003) identifica que é necessário um prazo relativamente longo para proceder uma avaliação adequada da eficiência e eficácia de programas de MCC.

Rausand (1998) destaca que, na prática, muitas vezes, é difícil seguir os intervalos de manutenção prescritos. Falhas em equipamentos importantes, inevitavelmente, serão priorizadas, atrasando atividades planejadas a longo prazo.

As citações feitas nos parágrafos anteriores permitem concluir que, com o passar do tempo, os benefícios obtidos com a implementação da MCC tendem a aumentar, uma vez que

as reavaliações e novos dados obtidos auxiliam para que o programa estabeleça planos mais precisos e eficazes. Além disso, a continuidade do processo acaba por eliminar ou reduzir as dificuldades relatadas.

3. Procedimentos Metodológicos

O estudo foi realizado em uma empresa que atua como operador logístico de uma montadora de automóveis no estado do Rio Grande do Sul. Trata-se de uma multinacional de origem australiana, que opera em uma extensa rede global que contempla mais de 100 países. Oferece um pacote de serviços que abrange desde a programação até a execução de soluções de *supply chain* para empresas de todos os portes. A principal divisão da empresa é a de contratos logísticos, onde um conjunto de atividades é desempenhado conforme a necessidade de cada cliente. Atua em diferentes setores da economia, como por exemplo, automotivo e pneus, tecnologia, industrial, varejo e bens de consumo.

A sede brasileira da empresa situa-se em Diadema, no estado de São Paulo, e os centros de operação estão distribuídos pelo país conforme seus clientes. No Rio Grande do Sul, seu principal cliente é uma montadora de veículos situada na região metropolitana de Porto Alegre. Os serviços oferecidos neste contrato são: (i) armazenagem de matéria-prima proveniente de fornecedores situados fora do condomínio automotivo; (ii) coleta e distribuição dos materiais presentes no armazém da empresa e nos fornecedores situados no complexo, chamados sistemistas, no cliente e; (iii) manuseio de materiais na empresa cliente. As atividades são realizadas no mesmo período de produção da empresa cliente, que se divide em dois turnos de trabalho, onde cada um possui cerca de 8h e 30 min. produtivos, durante 5 dias da semana.

As operações de armazenagem contam com aproximadamente 20 colaboradores, sendo eles auxiliares de apoio logístico, encarregados de atividades manuais, e operadores de empilhadeira, responsáveis pelo recebimento, armazenagem e coleta de materiais para expedição, além de possuir analistas e conferentes que fornecem o suporte administrativo necessário. O serviço de coleta e distribuição dos materiais é feito por dois tipos de equipamentos: caminhão e rebocador industrial. O primeiro é utilizado para o transporte dos materiais provenientes do armazém; os caminhões são utilizados em função do grande volume de peças que é movimentado, totalizando 3 veículos. Já o segundo é utilizado para movimentação de contenedores de peças entre o cliente e as sistemistas, totalizando 18 veículos. A última atividade exercida conta com 60 funcionários, sendo 18 deles operadores de empilhadeira, que realizam a descarga dos materiais transportados em caminhão, 27

operadores de rebocadores elétricos, que realizam a entrega dos materiais recebidos e, o restante auxiliar de apoio logístico.

Neste contexto, a manutenção tem como objetivo dar suporte as operações realizadas pela empresa, melhorando o desempenho dos equipamentos utilizados e reduzindo os riscos de paradas de linha ocasionadas pela indisponibilidade dos mesmos.

O método de trabalho utilizado neste estudo é a pesquisa-ação. Esta abordagem se caracteriza pelo envolvimento cooperativo do pesquisador com os participantes da situação analisada. Considerando a natureza de pesquisa aplicada, a pesquisa-ação propicia a elaboração de diagnósticos, identificação dos problemas e a busca pela solução dos mesmos. Do ponto de vista de seus objetivos, o estudo se classifica como exploratório, visto que proporciona maior familiaridade com o problema, envolve um levantamento bibliográfico e contato com pessoas experientes no assunto. Quanto à forma de abordagem do problema, esta pesquisa classifica-se como quantitativa, pois utiliza a quantificação tanto na coleta como no tratamento das informações (GODOY, 1995; MACKE, 1999).

Este trabalho seguiu as etapas sugeridas pelos principais autores citados no referencial teórico, que contemplam: (i) definição e capacitação da equipe atuante, (ii) seleção e determinação do sistema, (iii) coleta e análise dos dados de falha, (iv) aplicação da FMEA e seleção dos itens críticos, (v) seleção de tarefas de manutenção, (vi) definição da periodicidade das atividades de manutenção e (vii) reanálise dos riscos associados aos itens críticos.

Primeiramente foi definida a equipe atuante no processo de implementação do programa. A equipe foi formada por membros do setor de manutenção, operação e por um analista com conhecimento na metodologia. Além disso, foram apresentados a todos os envolvidos conceitos básicos da MCC.

Em seguida foi selecionado em qual sistema e em que nível de detalhe o mesmo será avaliado. Como suporte a esta avaliação foi utilizado um diagrama de blocos, o que permitiu a devida alocação dos subsistemas em seus sistemas funcionais.

Na terceira etapa foram coletados e analisados os dados de falha do equipamento selecionado. Esta etapa foi fundamental para a identificação dos sistemas que apresentam maior incidência de falhas bem como os principais modos de falhas associados a esses. A partir desta análise foram selecionados para a análise da FMEA apenas os itens com maior representatividade de falhas, além de avaliar os intervalos entre ocorrência das falhas.

A próxima etapa consistiu na análise dos modos de falha dos sistemas selecionados. Para tal, a ferramenta FMEA foi utilizada como base. A partir desta análise foi possível

identificar os efeitos e causas das falhas, bem como calcular o risco associado. Os itens críticos foram identificados com base nos impactos causados, como por exemplo, de segurança, ambiental ou operacional.

Com base nas análises feitas na quarta etapa, foram definidas as tarefas de manutenção indicada para cada modo de falha, ou seja, quais devem receber manutenção preventiva e quais devem ser tratados de forma corretiva. A sexta etapa contemplou a definição da periodicidade das tarefas selecionadas na etapa anterior. Para tal, foram considerados os intervalos médios entre falhas (MTBF), obtidos durante a análise dos dados.

A sétima e última etapa, consistiu na re análise dos riscos obtidos na análise da FMEA. A partir da correta seleção das atividades de manutenção, é possível que a probabilidade de ocorrência das falhas diminua, assim como a facilidade de detecção aumente. Desta forma, a manutenção se torna mais eficiente, aumentando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo os custos associados a ela.

4. Resultados e discussões

A primeira etapa da implantação da MCC contemplou a escolha e capacitação do time atuante no processo. A escolha dos participantes ocorreu em função das atividades desempenhadas pelos mesmos na empresa e do potencial de contribuição ao projeto em função de seus conhecimentos. Desta forma, a equipe foi composta: (i) pelo coordenador de manutenção, o qual coordena as atividades a serem realizadas, além de possuir vasto conhecimento nos equipamentos existentes na planta da empresa em questão; (ii) por um auxiliar administrativo, que é responsável pelo *input* dos dados resultantes das ordens de serviço no software de gestão; (iii) um mecânico, especialista nos sistemas mecânicos dos equipamentos; (iv) um eletricista, responsável pelos consertos e verificações nos componentes elétricos do sistema e; (v) por um analista de logística, com conhecimentos sobre a MCC.

Uma vez que a equipe envolvida no projeto estava escolhida, era necessário que todos os membros tivessem conhecimentos básicos a respeito da MCC. Para tal, foram realizadas algumas reuniões anteriores ao início efetivo da análise dos equipamentos e dados. O analista de logística foi o responsável pela apresentação de alguns conceitos importantes, como a FMEA e os tipos de manutenção. Além do analista, cada membro da equipe foi responsável pela pesquisa e entendimento destes conceitos.

A próxima etapa consistiu na seleção do objeto de estudo da MCC. A planta conta com três diferentes tipos de equipamentos, sendo eles: rebocadores industriais, movidos a

energia elétrica, rebocadores industriais movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP) e empilhadeiras movidas a GLP. O equipamento escolhido para iniciar a implementação da MCC na empresa foi a empilhadeira. A escolha ocorreu em função de ser o equipamento em maior quantidade na empresa, apresentar sistema operacional mais complexo e possuir maior disponibilidade de dados de falha anteriores ao início do projeto.

Ainda durante a segunda etapa, decidiu-se que as análises seriam realizadas até os níveis de subsistema. A MCC é um programa que está sendo introduzido na empresa pela primeira vez, logo, considerou-se que análises que envolvessem maior detalhamento dos sistemas poderiam dificultar a implementação e criar resistência aos colaboradores envolvidos no estudo. A Figura 1 contempla o diagrama de blocos da empilhadeira. O diagrama foi elaborado pelos colaboradores envolvidos diretamente na manutenção e pelo coordenador da manutenção, e foram utilizados como base os manuais de fornecedores e o conhecimento adquirido. A delimitação das fronteiras de cada sistema e subsistema foi importante na continuidade do projeto, uma vez que, seria necessário identificar as falhas funcionais associadas a eles.

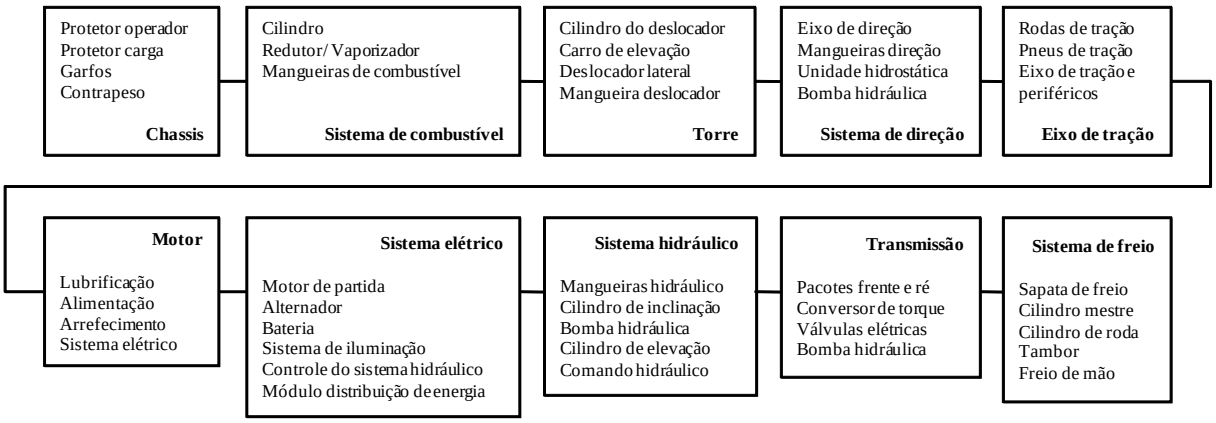

Figura 1 - Diagrama de blocos da empilhadeira

A terceira etapa do projeto de implementação da MCC foi a análise de dados de falhas. Esta etapa foi fundamental para a identificação dos principais tipos de problemas ocorridos no equipamento e seus sistemas e subsistemas. Foi possível observar os sistemas e subsistemas que apresentam maior incidência de falha.

Esta etapa demandou um grande período de tempo. O software de gestão da manutenção existente na empresa permite que sejam gerados relatórios de falhas dos equipamentos, porém, estes relatórios não contêm todas as informações referentes à ordem de serviço executada. Por exemplo, quando se emite um relatório de ordem de serviço selecionando um período de tempo é apresentada a data de solicitação da manutenção, o equipamento e o serviço solicitado e não consta informação de que tarefas foram realizadas.

Como alternativa ao problema encontrado, foram gerados relatórios por máquina. Estes novos relatórios solucionaram algumas dificuldades encontradas, porém, para sua elaboração, foi necessário consultar o sistema informatizado da empresa. Uma vez elaborados, os relatórios facilitaram a análise, pois o sistema informatizado é lento e pode ser acessado por apenas uma pessoa por vez.

Além das dificuldades citadas acima, outro problema foi encontrado na análise de dados. Ao preencher as ordens de serviço de manutenção os operadores acabam por colocar na descrição da falha o efeito causado no equipamento pelo modo de falha ocorrido. Isso dificulta a identificação do sistema onde ocorreu a falha e as possíveis causas da mesma. Foi necessária uma análise detalhada das ordens de serviço a fim de identificar as causas de ocorrência de cada uma delas e identificação do sistema e subsistema onde a falha ocorreu.

A Figura 2 apresenta o gráfico resultante da análise de dados de falha de um período de dois anos. O gráfico contempla a distribuição da ocorrência de falhas por sistema da empilhadeira. É possível identificar que mais de 60% das falhas documentadas no período ocorrem nos sistemas do motor e elétrico.

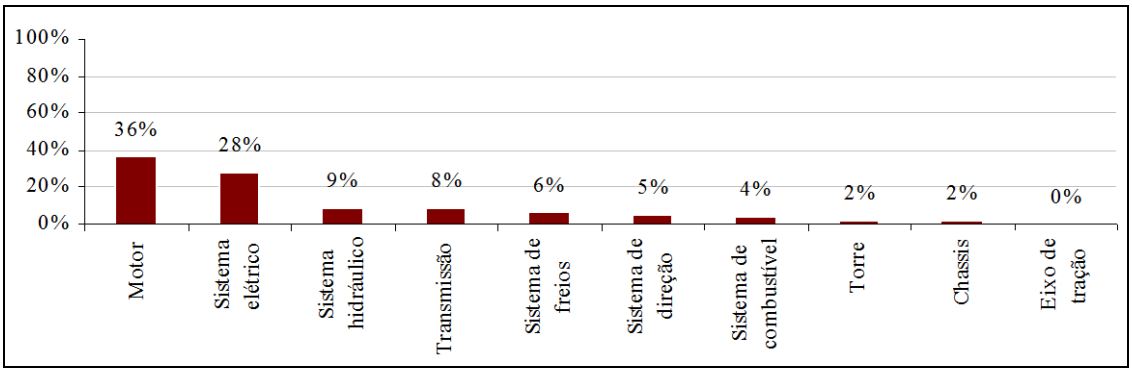

Figura 2 - Ocorrência de falhas nos sistemas

Para cada sistema, foi identificado o percentual de ocorrência de falhas em cada um de seus subsistemas. As figuras 3 e 4 contemplam, respectivamente, a ocorrência de falhas nos subsistemas do motor e sistema elétrico.

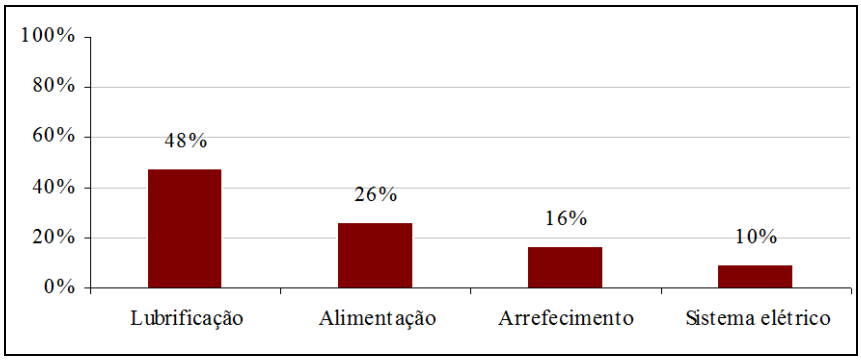

Figura 3 - Ocorrência de falhas no Motor

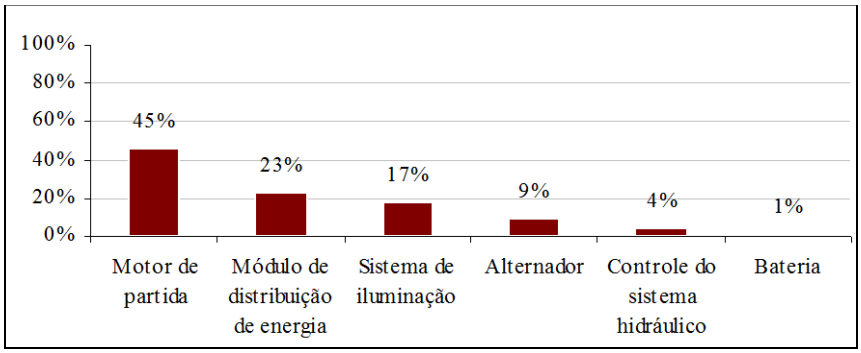

Figura 4 - Ocorrência de falhas no Sistema elétrico

Com base na análise do banco de dados, foi possível estabelecer quais sistemas e subsistemas seriam avaliados na quarta etapa da MCC, que contemplou a aplicação da FMEA. Foram selecionados os cinco subsistemas que apresentaram maior incidência de falhas, isto ocorreu devido ao fato de que o tempo disponível para as análises era restrito, exigindo que os esforços do programa fossem concentrados nos subsistemas que historicamente apresentam maiores problemas.

A aplicação da FMEA iniciou com a identificação da função dos subsistemas selecionados. O objetivo da manutenção é preservar estas funções nos equipamentos. Durante a identificação dos modos, efeitos e causas de falha foi levado em consideração o histórico de ocorrência. É possível que alguns modos de falha não tenham sido contemplados nesta análise, porém, acredita-se que o programa de MCC estará em constantes atualizações e que grande parte de seus benefícios venham com o aperfeiçoamento daquilo já implementado.

Após a identificação dos efeitos das falhas, se classificou quais os subsistemas apresentam maior criticidade, analisada através dos impactos tanto no âmbito operacional, como de segurança e meio ambiente. Os sistemas avaliados são responsáveis pela realização das principais funções do equipamento. A maioria dos efeitos das falhas avaliadas impede que estas funções sejam desempenhadas corretamente. Logo, grande parte dos subsistemas foi considerada como crítica.

Continuando a aplicação da FMEA, foi quantificada a probabilidade de ocorrência, a severidade e a probabilidade de não-detecção de cada falha. O critério utilizado para a atribuição dos valores à probabilidade de ocorrência foram os dados históricos de falha, os quais proporcionam uma análise mais confiável, baseada não somente em dados qualitativos.
O resultado obtido com as análises realizadas permitiu quantificar o risco associado a cada falha funcional. Este número orientou a seleção dos subsistemas que devem receber atenção especial no programa de manutenção. A Figura 5 apresenta um resumo da análise FMEA.

Sistema	Subsistema	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Classificação da conseqüência da falha	Causa da falha	Detecção atual	O	S	D	Risco
Motor	Lubrificação	Lubrificar os componentes	Quebra das juntas	Vazamento de óleo no motor e aquecimento	Operacional (crítica)	Ressecamento da borracha das juntas	Inspeção	5	5	3	75
	Alimentação	Gerar energia	Quebra de correia	Queima do motor	Operacional (crítica)	Desgaste	Inspeção	4	5	4	80
			Queima junta do cabeçote	Vazamento de óleo	Operacional (crítica)	Emperramento da válvula	Visual	4	3	3	36
	Arrefecimento	Resfriar o motor e aquecer o combustível	Rompimento das mangueiras	Vazamento de água	Segurança (crítica)	Desgaste	Visual	4	4	2	32
			Quebra da ventoinha	Superaquecimento do motor	Operacional (crítica)	Elevada vibração da máquina	Visual	3	5	2	30
Sistema elétrico	Motor de partida	Ligar equipamento	Queima do motor de partida	Equipamento não liga	Operacional (crítica)	Rompimento dos fios	Inspeção	5	5	3	75
	Módulo de distribuição de energia	Controlar a distribuição de energia	Queima de sensores	Perda de controle dos comandos	Operacional (crítica)	Curto circuito dos fios	Inspeção	4	4	3	48
	Alternador	Converter energia mecânica em elétrica	Rompimento da correia	Energia não é convertida e máquina não funciona	Operacional (crítica)	Desgaste	Inspeção	2	5	4	40
	Controle do sistema hidráulico	Distribuir energia para o sistema hidráulico	Contato nos sensores	Comando hidráulico não funciona	Operacional (crítica)	Problemas nos fios	Inspeção	2	4	4	32
Sistema hidráulico	Mangueiras do hidráulico	Interligação dos subsistemas	Rompimento da mangueira	Não atendimento aos comandos	Segurança (crítica)	Desgaste	Visual	5	5	2	50
	Bomba hidráulica	Impulsionar o sistema	Válvulas danificadas	Não gera fluxo suficiente para movimentação das lanças	Operacional (crítica)	Emperramento das válvulas	Visual	4	5	3	60
	Cilindro de elevação	Gerar pressão para fluxo de óleo	Quebra do cilindro	A torre perde a movimentação	Operacional (crítica)	Desgaste dos componentes mecânicos	Inspeção	3	5	3	45
Transmissão	Pacotes frente e ré	Aplicar a marcha selecionada	Quebra da cruzeta	Barulho excessivo	Operacional (crítica)	Elevada vibração do equipamento	Inspeção	5	3	4	60
	Conversor de torque	Transmitir a potência do motor às engrenagens	Falha no estator	Não há multiplicação do torque do motor e máquina fica lenta	Operacional (crítica)	Falta de óleo	Inspeção	3	3	4	36
Sistema de freios	Cilindro mestre	Converter a energia recebida	Quebra do cilindro	Equipamento fica sem freio	Segurança (crítica)	Desgaste dos componentes mecânicos	Inspeção	5	5	3	75
	Cilindro de roda	Transmitir energia para as sapatas de cada roda	Vazamento de fluido de freio	Equipamento fica sem freio	Segurança (crítica)	Ressecamento das juntas	Visual	3	5	2	30

Figura 5 - Resumo da planilha de FMEA

A quinta etapa consistiu na seleção do tipo de manutenção pertinente a cada subsistema. A avaliação das causas de falhas de cada item crítico selecionado levou a conclusão de que grande parte dos sistemas falha devido ao desgaste de seus componentes. Desta forma, houve a predominância de tarefas de manutenção do tipo preditivas, onde a partir do monitoramento do subsistema, através de inspeções e medições é possível definir o momento correto para realizar a substituição de componentes. A Figura 6 apresenta a distribuição das tarefas de manutenção. O resultado esperado com a seleção destas atividades de manutenção é a redução dos custos associados a reparos e trocas realizados conforme plano de manutenção preventiva atual. A avaliação de histórico de falhas agregou maior confiabilidade nas tarefas selecionadas.

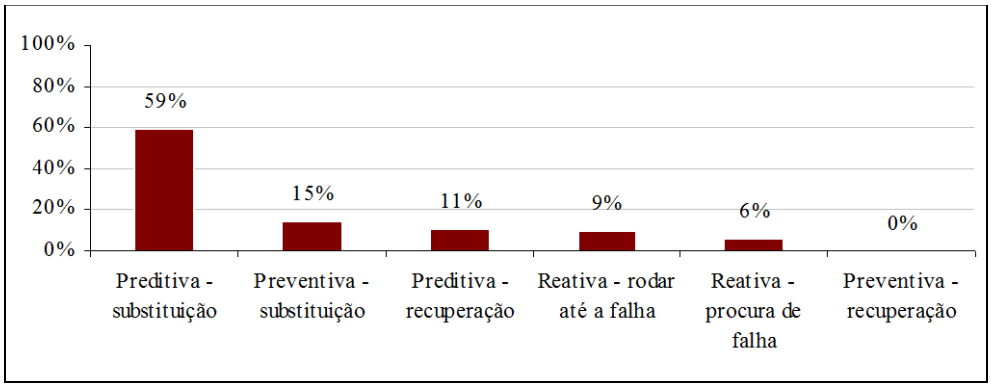

Figura 6 - Distribuição das tarefas de manutenção

A sexta etapa tratou da indicação da atividade a ser realizada quando da ocorrência da manutenção. As tarefas indicadas para os itens avaliados são, por exemplo, inspeção visual, lubrificação, troca de óleo, medição de voltagem de componentes eletrônicos e execução de *check list* já existentes na empresa. Além disso, foram estipulados os intervalos entre manutenções, todos com base nos valores de tempo médio entre falhas (MTBF) do histórico de cada modo de falha dos subsistemas. O histórico de falhas permite que os tempos sejam estipulados com base na confiabilidade dos itens e não apenas com base em intervalos de tempo pré-estabelecidos (por exemplo, intervalos mensais). A precisão na determinação destes tempos é a principal condição para que o programa de manutenção preventiva alcance os resultados esperados.

Por fim, na sétima etapa, foi feita uma reanálise dos riscos associados às falhas. A correta seleção da tarefa de manutenção reduziu os valores de ocorrência de falha, ao passo que a realização de verificações corretas durante a manutenção pró-ativa facilitou a detecção de problemas. A figura 7 apresenta o resultado das etapas posteriores a análise da FMEA para os itens apresentados na figura 5.

Após a implementação das etapas do programa de MCC, os componentes da equipe de trabalho foram entrevistados e suas opiniões referentes ao programa foram registradas. A equipe relatou que o programa trouxe benefícios ao desempenho das atividades do setor. De acordo com a opinião dos componentes da equipe, o programa permitiu a criação de uma sistemática para realização das atividades, o que facilita o trabalho e desenvolve o raciocínio lógico dos envolvidos. Além disso, os colaboradores do setor de manutenção passaram a conhecer os números referentes às atividades de manutenção que realizam, bem como, os itens que apresentam maior incidência de falhas. O programa melhora o sistema de gestão do conhecimento, uma vez que todos os envolvidos participam do processo de análise.

Ainda de acordo com a opinião dos componentes da equipe, as principais dificuldades encontradas na implementação foram a falta de alguns dados e falta de organização dos mesmos, falha na distribuição e controle das atividades dos funcionários e falta de definição de responsabilidades de trabalho. A cultura vigente foi um fator limitante na implementação da MCC, devido a não credibilidade dos benefícios do programa.

Os componentes da equipe sugeriram que sejam realizadas algumas alterações na planilha de ordem de serviço de manutenção, principal fonte de dados, incluindo pequenos esclarecimentos de cada campo. Além disso, também foi sugerido que os formatos dos relatórios emitidos pelo sistema informatizado sejam alterados a fim de facilitar o acompanhamento do programa. Por fim, eles recomendam a criação de indicadores para controle dos dados de falha, para avaliação dos intervalos das atividades preventivas, tempos de parada para manutenção, controle de custos e produtividade dos funcionários.

Os próximos passos a serem realizados na empresa envolvem o desdobramento dos subsistemas selecionados, a fim de elevar o nível de detalhamento das tarefas e aumentar a confiabilidade das atividades de manutenção preventiva. Além disso, as ferramentas e análises desenvolvidas neste início de programa devem ser reavaliadas e aprimoradas onde for necessário.

Sistema	Subsistema	Tarefa de manutenção	Detalhe da tarefa	Responsável pela tarefa	MTBF (h)	O	S	D	Risco
Motor	Lubrificação	Preditiva - substituição baseada na condição	Inspeção visual - rachaduras no material	Equipe manutenção mecânica	736	2	5	1	10
	Alimentação	Preventiva - substituição programada	Troca da correia	Equipe manutenção mecânica	2000	1	5	2	10
		Preventiva - substituição programada	Troca da junta do cabeçote	Equipe manutenção mecânica	1032	1	3	1	3
	Arrefecimento	Preditiva - substituição baseada na condição	Inspeção visual - rachaduras, roscas	Equipe manutenção mecânica	1640	2	4	1	8
		Reativa - procura de falha	Inspeção visual	Equipe manutenção mecânica	2864	3	5	2	30
Sistema elétrico	Motor de partida	Preventiva - substituição programada	Troca do motor de partida	Equipe manutenção elétrica	896	1	5	1	5
	Módulo de distribuição de energia	Reativa – procura de falha	Medição da voltagem	Equipe manutenção elétrica	1720	4	4	2	32
	Alternador	Preventiva - substituição programada	Troca da correia	Equipe manutenção mecânica	2264	1	5	2	10
	Controle do sistema hidráulico	Preditiva - substituição baseada na condição	Medição de voltagem	Equipe manutenção elétrica	1688	1	4	2	8
Sistema hidráulico	Mangueiras do hidráulico	Preditiva - substituição baseada na condição	Inspeção visual - rachaduras, roscas	Equipe manutenção mecânica	2416	2	5	1	10
	Bomba hidráulica	Preditiva - substituição baseada na condição	Lubrificação	Equipe manutenção mecânica	2400	2	5	1	10
	Cilindro de elevação	Preditiva - substituição baseada na condição	Inspeção visual - quebras, rachaduras	Equipe manutenção mecânica	640	1	5	1	5
Transmissão	Pacotes frente e ré	Preditiva - substituição baseada na condição	Inspeção visual	Equipe manutenção mecânica	1256	1	3	2	6
	Conversor de torque	Preventiva - substituição programada	Troca do óleo	Equipe manutenção mecânica	3480	1	3	2	6
Sistema de freios	Cilindro mestre	Preditiva - recuperação baseada na condição	Lubrificação	Equipe manutenção mecânica	2400	2	5	1	10
	Cilindro de roda	Preditiva - substituição baseada na condição	Inspeção visual - rachaduras no material	Equipe manutenção mecânica	1440	1	5	1	5

Figura 7 - Resumo das tarefas e intervalos de manutenção e reanálise de risco

5. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo principal formular e aplicar um método capaz de analisar e melhorar o desempenho da manutenção de veículos industriais de uma empresa de logística. Com base nos preceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), foi possível elaborar um plano de manutenção adequado e, desta forma, espera-se que a disponibilidade e confiabilidade do equipamento sejam maximizadas e que os custos associados à manutenção sejam reduzidos.

Após a revisão da literatura, a metodologia proposta compreendeu sete etapas para implementação da MCC na empresa. A primeira etapa contemplou a seleção da equipe atuante no processo e na capacitação da mesma nos princípios básicos da MCC. Durante a segunda etapa, foi decidido que o primeiro equipamento a ser estudado seria a empilhadeira e que as análises seriam realizadas até o nível de subsistema, evitando que o novo programa trouxesse maiores resistências por parte da empresa e seus colaboradores. A etapa seguinte consistiu na análise do histórico de falhas das empilhadeiras da planta. A observação destes dados identificou quais os sistemas e subsistemas que apresentam maior incidência de falhas e as principais causas associadas a estas. Concluiu-se que 64% das falhas ocorrem em 20% dos sistemas do equipamento, sendo assim, os maiores esforços na análise e elaboração do plano de manutenção deve se concentrar sobre esses sistemas.

Considerando o percentual de ocorrência de falhas, foram selecionados os sistemas do motor, elétrico, hidráulico, transmissão e freios, assim como os subsistemas associados a estes, a serem avaliados na quarta etapa do método: aplicação da FMEA. A quinta etapa contemplou a seleção das atividades de manutenção para os itens classificados como críticos durante a aplicação da FMEA. Em seguida, na sexta etapa, foram definidos os intervalos entre manutenções e as atividades a serem executadas. Por fim, na sétima etapa, foram recalculados os riscos associados às falhas, evidenciando a eficiência das tarefas de manutenção programadas.

As principais barreiras encontradas durante a execução do programa foram a precariedade de alguns dados de falha, falta de organização dos mesmos e falhas na distribuição e controle das atividades dos funcionários na manutenção. Além disso, a falta de credibilidade nos benefícios do programa por parte da empresa prejudicou seu pleno desenvolvimento.

Os principais resultados obtidos com a implementação do programa foram: (i) a criação de uma sistemática para realização das atividades, onde foram definidas etapas para as

atividades de manutenção e todos os procedimentos realizados passaram a ser documentados; (ii) desenvolvimento da equipe atuante no processo; e a (iii) otimização das tarefas e intervalos de manutenção, uma vez que, alguns itens não estavam contemplados no plano de manutenção da empresa e não possuíam intervalos adequadamente definidos.

Sugerem-se, como melhorias nas atividades, alterações na planilha de ordem de serviço de manutenção e no formato dos relatórios gerados pelo sistema, bem como a criação de indicadores de controle e avaliação da manutenção. A próxima etapa a ser realizada na empresa é o detalhamento das análises para os itens pertencentes a cada subsistema, além da revisão das atividades desenvolvidas desde o início do programa.

Referências Bibliográficas

AKERSTEN, P.A., BACKLUND, F. **RCM introduction: process and requirements management aspects.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 9, n. 3, p. 250-254, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **Situação da Manutenção no Brasil** – Documento Nacional. Rio de Janeiro: Abraman, 2009.

BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello. **Fatores de decisão de terceirização logística: análise baseada na percepção dos executivos**. 252 f. Tese (Doutorado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

BLOOM, N.B. **Reliability Centered Maintenance**: **implementation made simple**. New York, McGraw-Hill, 2006. 291 p.

CARLINI, Gelásio. **A logística integrada como ferramenta para a competitividade em uma agroindústria**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FOGLIATTO, F.S.; RIBEIRO, J.L.D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Campus - Elsevier, 2009. 288 p.

GODOY, A.; **Introdução a Pesquisa Qualitativa e suas Possibilidades.** RAE- Revista de Administração de Empresas, vol. 35, n. 2, São Paulo, 1995

HANSEN, R.C. **Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para aumento dos lucros**. Porto Alegre. Bookman, 2006. 264 p

HELMAN, H.; ANDERY, P.R.R**. Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA – FTA).** Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995, 156 p.

LAFRAIA, J.R.B. **Manual de confiabilidade, mantenabilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. 374 p.

MACKE, J.; **Pesquisa Empírica em Engenharia de Produção.** XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 1999

MARINI, M.; GONÇALVEZ, M.; GIACOBO, F. **O relacionamento e as novas configurações entre as montadoras de automóveis e seus fornecedores**. In: VII SEMEAD. Anais, 2005

MENDES, A. A.; RIBEIRO, J.L.D. **Um estudo do suporte quantitativo necessário para a operacionalização da MCC,** 2010

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance.** 2. ed. New York: Industrial Press, 1997. 448 p.

PUYVELDE, F.V., NAGARUR, N., PINTELON, L. **Case study: RCM – yes, no or maybe?** Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 5, n. 3, p. 182-191, 1999.

RAO, P.N., SRIKRISHNA, S., YADAVA, G.S. **Reliability-centred maintenance applied to power plant auxiliaries.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 2, n. 1, p. 3-14, 1996.

RAUSAND, M. Reliability Centered Maintenance. **Reliability Engineering and System Safety**, n. 60, p. 121-132, 1998.

SEELING, Marcelo Xavier. **Desenvolvimento de um sistema de gestão da manutenção em uma empresa de alimentos do Rio Grande do Sul**. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SILVA, A.V., RIBEIRO, J.L.D. **Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade para desenvolvimento de um plano de manutenção em uma distribuidora de combustíveis.** Anais do XXIX ENEGEP. Salvador: ABEPRO, 2009.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SMITH, A.M., HINCHCLIFFE, G.R. **Four features used to define RCM.** Maintenance Connection in Plant Engineering, janeiro, 2006.

SMITH, A.M., HINCHCLIFFE, G.R. **A 'living' RCM program requires continuing measurement.** Maintenance Connection in Plant Engineering, julho, 2006.

VALLADARES, A., NUNES, E.L. **Potencialidades da MCC para a gesta integrada da manutenção e da mudança de organizações.** Anais do XXII ENEGEP. Curitiba: ABEPRO, 2002.

ZAIONS, D.R. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel.** 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.