

Aplicação da metodologia MCC em um subsistema do processo de fabricação de celulose: um estudo de caso

Flávio Piechnicki (Instituto Federal do Paraná) flavio.piechnicki@ifpr.edu.br
Samuel Roberto Marcondes (Instituto Federal do Paraná) samuel.marcondes@ifpr.edu.br
Ademir Stefano Piechnicki (Instituto Federal do Paraná) ademir.piechnicki@ifpr.edu.br
Leandro Roberto Baran (Instituto Federal do Paraná) leandro.baran@ifpr.edu.br

Resumo:

Os sistemas industriais atuais são obrigados a operar dentro de limites, metas e parâmetros estabelecidos, com o objetivo de reduzir custos e garantir a disponibilidade e a confiabilidade. Neste contexto, a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) combina técnicas e ferramentas em uma metodologia estruturada para seleção das ações de manutenção, reduzindo custos e atividades desnecessárias e aumentando a confiabilidade do sistema, através da redução de ocorrências de falhas. Este trabalho propõe um modelo de implantação da MCC composto pelas etapas: (i) preparação do estudo; (ii) seleção do sistema; (iii) análise das funções e falhas; (iv) seleção dos sistemas críticos; (v) análise crítica dos modos de falhas e efeitos; (vi) seleção das atividades de manutenção; e (vii) melhoria contínua. Assim, o modelo MCC proposto é aplicado em um subsistema de refinação na fabricação de CTMP (Pasta Químico Termo Mecânica), com o objetivo de auxiliar na escolha das melhores políticas de manutenção e no aumento da confiabilidade da planta.

Palavras chave: Manutenção, Confiabilidade, Mapeamento de falhas.

Application of the MCC methodology in a subsystem of the pulp manufacturing process: a case study

Abstract

Industrial systems today are obliged to operate within limits, set goals and parameters, in order to reduce costs and ensure availability and reliability. In this context, the Reliability Centered Maintenance (MCC) combines techniques and tools in a structured methodology for the selection of maintenance actions, activities and reducing unnecessary costs and increasing system reliability by reducing the occurrence of failures. This paper proposes a model for deployment of MCC composed of the following steps: (i) preparation of the study, (ii) selection system, (iii) analysis of the functions and failures, (iv) selection of critical systems, (v) review of failure modes and effects, (vi) selection of maintenance activities, and (vii) continuous improvement. Thus, the proposed MCC model is applied in a refination system in the manufacturing of CTMP (Chemical Thermo Mechanical Pulping), in order to assist in choosing the best policies for maintaining and increasing the reliability of the plant.

Key-words: Maintenance, Reliability, Mapping of failures.

1. Introdução

Políticas tradicionais de manutenção disseminam a crença de que todas as falhas são ruins e devem ser evitadas. Contudo, uma análise mais detalhada confronta essa afirmação sob dois aspectos:

- Muitas vezes, do ponto de vista técnico, não é viável evitar uma falha;
- Mesmo que todas as falhas pudessem ser evitadas, qual seria o custo dessa ação?

Nesse contexto, a globalização, o aumento dos níveis de automação dos processos industriais e a ambição pela aplicação de produção enxuta têm levado a um aumento na demanda de uma manutenção cada vez mais eficaz (SALONEN e DELERYD, 2011). Várias são as metodologias, políticas e métodos que auxiliam na gestão das atividades e custos relacionados à manutenção dos sistemas. Entre as mais utilizadas estão: a Manutenção Produtiva Total, TPM (do inglês, *Total Productive Maintenance*) e a metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade, MCC ou RCM (do inglês, *Reliability Centered Maintenance*). No entanto, a escolha da correta política de manutenção a ser utilizada em uma indústria ou processo precisa ser corretamente selecionada, pois impacta diretamente nos custos. De acordo com Samet et al. (2010), a performance de uma estratégia é geralmente avaliada em termos de média do custo total em um determinado horizonte ou em termos de disponibilidade do sistema de produção.

Já Deshpande e Modak (2002) afirmam que a metodologia MCC oferece uma estrutura capaz de reduzir as atividades de manutenção e os custos relacionados à elas ao mínimo possível, sem afetar o desempenho da planta, qualidade do produto, a segurança ou a integridade ambiental.

2. MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

A Manutenção Centrada em Confiabilidade é uma abordagem criada no final da década de 60, inicialmente orientada para a indústria aeronáutica, com o objetivo de direcionar os esforços da manutenção para componentes e sistemas onde a confiabilidade é fundamental. Seu principal objetivo é garantir o desempenho, a segurança e a preservação do ambiente a um melhor custo-benefício (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009; WANG e HWANG, 2004).

A indústria aeronáutica foi a precursora em pesquisas de confiabilidade e efeitos das falhas em manutenção, com o objetivo de atender as exigências da FAA (*Federal Aviation Agency*) que estava preocupada com o índice elevado de falhas nos motores das aeronaves da época. No final dos anos 60, a ATA (*Air Transport Association of America*) criou a MSG (*Maintenance Steering Group*), uma força-tarefa para revisão da aplicação dos métodos e técnicas de manutenção existentes na manutenção das aeronaves (BACKLUND, 2003; SIQUEIRA, 2009).

No início dos anos 70 Nowlan e Heap, subordinados à ATA, publicaram os padrões MSG-1 e MSG-2, apresentando uma nova forma na abordagem da manutenção para aeronaves, focada no impacto da falta de confiabilidade na operação e segurança. Esta metodologia ficou conhecida com *Reliability-Centered Maintenance* (RCM) (GARZA, 2002).

O MSG-3, de 1980, incluía os padrões anteriores, e uma visão conjunta de todo o processo da indústria de aeronaves, sendo adotado como metodologia obrigatória de manutenção para novas aeronaves pelo DoD - Departamento de Defesa Americano. Este padrão continua sendo utilizado, após sua última revisão em 2002 (SIQUEIRA, 2009).

As necessidades industriais da década de 80 levaram a aplicação do RCM em outros setores da indústria, especialmente nos de mineração e manufatura (BACKLUND, 2003). Essa

disseminação do RCM motivou o surgimento de versões ligeiramente diferentes da MSG-3, como RCMII proposto por Moubray (1997), o *Abbreviated Classical RCM* e o *Experience-Centered Maintenance* (ECM) de Smith e Hinchcliffe (2004).

De acordo com Moubray (1997) quando implantado de forma correta, a MCC reduzirá de 40% a 70% a rotina de tarefas de manutenção, com uma série de vantagens e benefícios na segurança, logística, operação e administração das organizações.

3. Metodologia proposta para a aplicação da MCC

A literatura apresenta diferentes versões para aplicação da MCC. Estas versões podem variar no número de etapas, ordem de implantação e ferramentas utilizadas, movidas pela necessidade do processo ou pela experiência do autor/analista. Contudo, em sua essência, possuem uma abordagem e objetivos similares.

3.1 Fundamentos da MCC

A metodologia MCC procura responder sete questões apresentadas de forma sequencial sobre o sistema ou processo em análise (BACKLUND, 2003; MOUBRAY, 1997):

1. Quais funções devem ser preservadas?
2. Quais as falhas funcionais?
3. Quais os modos de falha?
4. Quais os efeitos da falha?
5. Quais as consequências da falha?
6. Quais as tarefas aplicáveis e efetivas?
7. Quais as alternativas restantes?

Siqueira (2009) propõe uma questão adicional com objetivo de otimizar o cálculo de frequência das atividades:

8. Qual a frequência ideal para as tarefas?

O processo de implantação da MCC na manutenção de um equipamento ou sistema pode ser resumido em etapas (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009; SMITH e HINCHCLIFFE, 2004). A Figura 1 ilustra os processos de análise e possíveis relacionamentos que podem estar presentes em cada etapa da implantação.

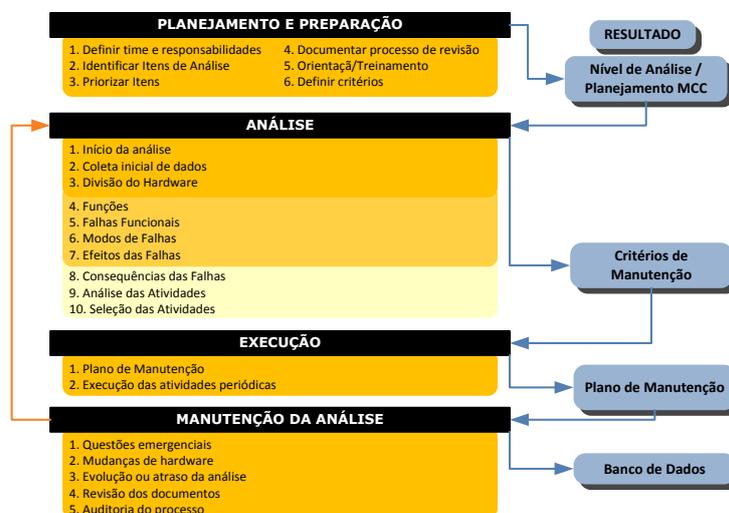


Figura 1: Diagrama de Implantação da MCC
Fonte: Leverette (2006)

3.2 Etapas de implantação

A implantação do MCC em uma planta deve ser realizado de acordo com o contexto operacional e organizacional na qual ela se encontra, observando seus produtos, processos e procedimentos, identificando seu modelo de gestão, práticas de produção e manutenção, visando uma compreensão total do(s) fluxo(s) de produção do sistema em análise.

Considerando as questões acima é proposto um programa de implantação do MCC com base no seguinte fluxo, apresentado na Figura 2:

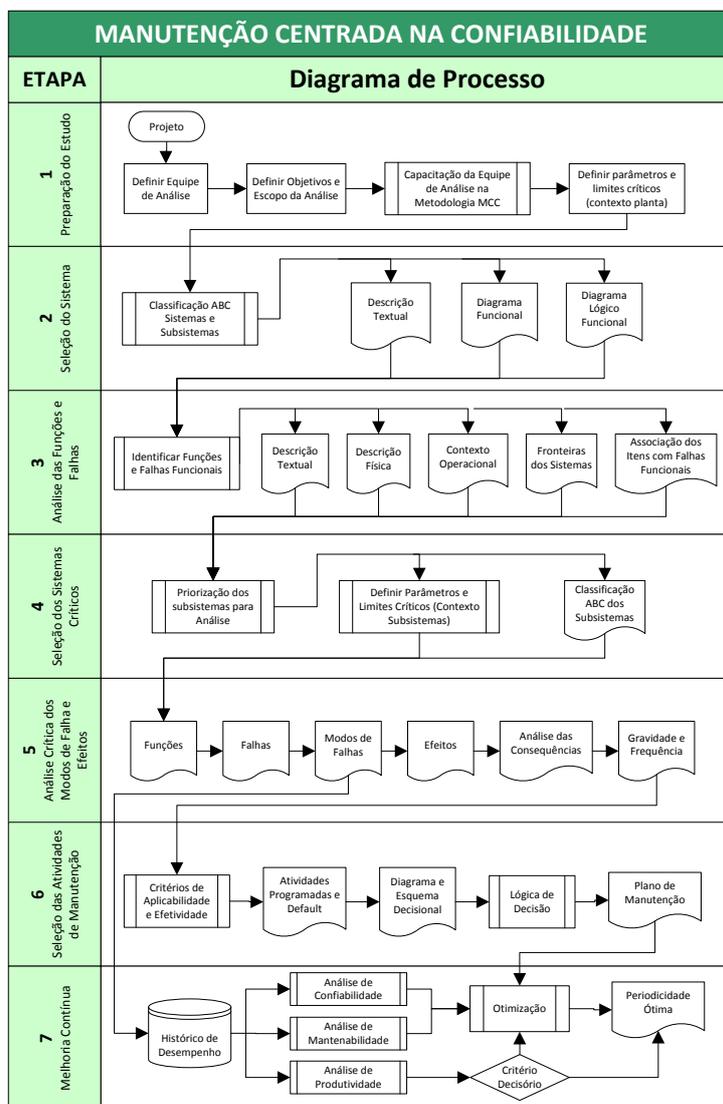


Figura 2: Modelo de implantação da MCC
Fonte: Adaptado de Siqueira (2009)

O modelo de implantação proposto foi aplicado no subsistema do ciclone primário e no alimentador secundário de uma indústria de papel e celulose. Esse subsistema faz parte do processo de refinação na fabricação de CTMP (*Chemical Thermo Mechanical Pulping*) ou Pasta Química Termo Mecânica, a qual é utilizada como matéria-prima para a produção de papéis, sendo considerada uma das linhas mais críticas da fábrica.

4. Estudo de caso

A avaliação da aplicabilidade e eficácia do modelo da MCC proposto foi realizada através de um estudo de caso, cuja equipe responsável pela análise foi composta de membros da

manutenção e operação em conjunto com profissionais da área de segurança. Após a definição da equipe e dos objetivos, foi levantado um estudo de funcionamento do sistema, com auxílio de toda a documentação técnica do mesmo.

O estudo foi realizado no alimentador primário de um sistema de refinação de madeira, utilizado na fabricação de pasta termo mecânica de uma indústria de grande porte fabricante de papel e celulose. Este tipo de processo se caracteriza como de fabricação contínua.

O objetivo da aplicação da MCC foi a seleção e redução no número de incidências e falhas funcionais relacionadas ao subsistema do ciclone primário e no alimentador secundário. Outro objetivo consiste na criação de um plano de manutenção do sistema, avaliando-o de forma geral, realizando um levantamento das atividades necessárias através da MCC. Para esse estudo foi formada uma equipe para análise, formada por operadores e manutentores, além de profissionais da área de saúde e segurança no trabalho. Após a formação da equipe, foi realizado um estudo de funcionamento do sistema, com auxílio de manuais, fluxogramas, documentos técnicos em geral.

4.1 Seleção do sistema

O processo a ser estudado trata-se de um subsistema do processo de fabricação de CTMP (*Chemical Thermo Mechanical Pulping*) ou Pasta Químico Termo Mecânica, a qual é utilizada como matéria-prima para a produção de papéis toalhas, *tissue* higiênicos, guardanapos e cartões para os mais diversos tipos de embalagens.

O processo de fabricação de massas de papel químico termo mecânicas (CTMP) consiste, basicamente, em imergir lascas de madeira em reagentes químicos; na sequência, desfibrá-las mecanicamente (refinação primária) sob atmosfera de vapor d'água e sob pressão para a obtenção de uma massa bruta. Em seguida é realizado o refinamento da referida massa (refinação secundária).

A figura 3 mostra o leiaute da linha de refinação, parte do processo de fabricação de CTMP.

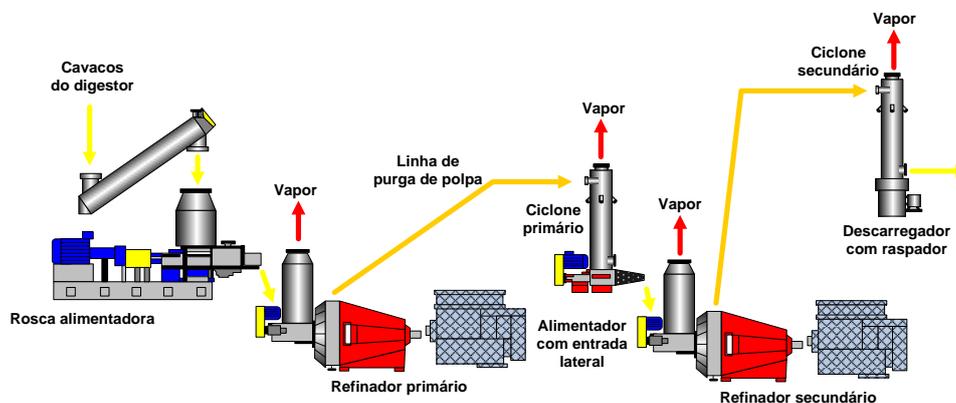


Figura 3: Linha de refinação de alta consistência
 Fonte: Autoria própria (2012)

A função primária do ciclone primário e do alimentador secundário é separar a pasta do vapor (o que pode ser verificado através da medição da consistência da pasta) e alimentar a rosca transportadora (rosca fita) do refinador secundário.

A mistura contendo pasta e vapor entra no ciclone tangencialmente, perto do topo. Devido às forças centrífugas, as fibras se acumulam ao longo da parede do ciclone e afundam por gravidade. Logo abaixo do ciclone está o alimentador secundário, que leva a pasta para a rosca transportadora (rosca cônica) que é um dispositivo de compressão que, por fim, vai direcionar a pasta para o refinador secundário, conforme a figura 4.

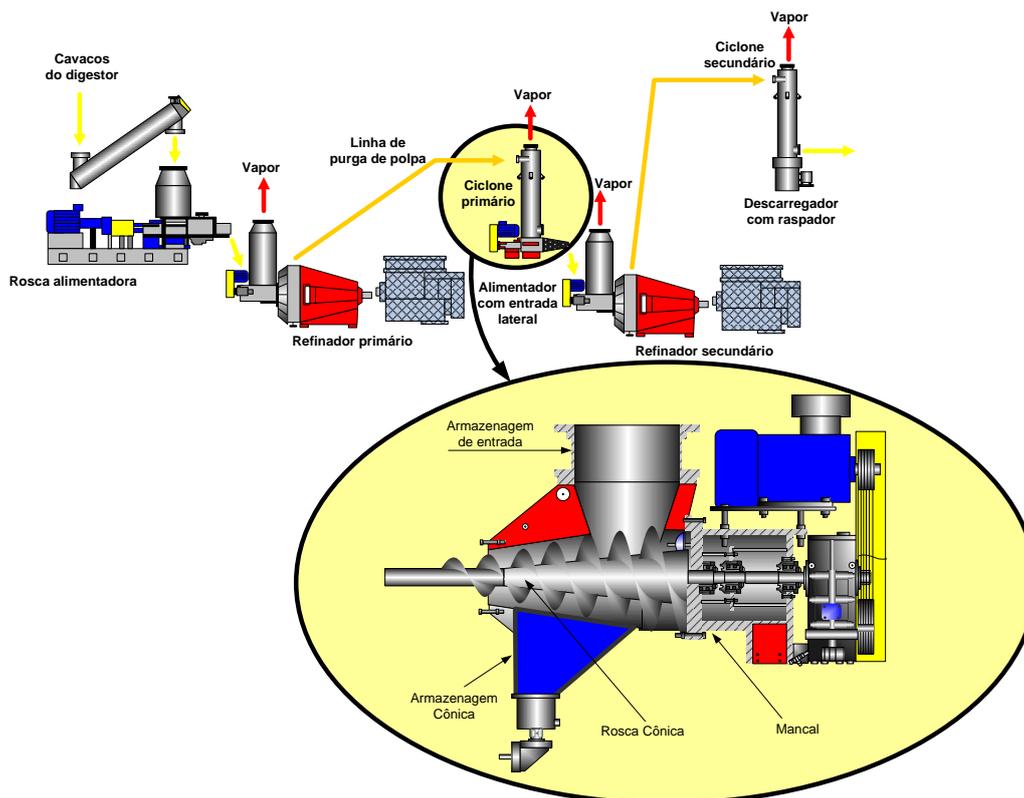


Figura 4: Subsistema do ciclone primário e do alimentador secundário
Fonte: Autoria própria (2012)

Este alimentador secundário possui um comando de velocidade variável para ajustar a velocidade da rosca sem fim, segundo uma taxa de produção, a fim de permitir uma alimentação homogênea para o refinador, quesito muito importante neste processo.

O compartimento da rosca é cônico, com a extremidade maior do lado de entrada e a extremidade menor, restritiva, do lado de descarga. À medida que a pasta seja transportada através do alimentador secundário, ela é comprimida e limitada na seção cônica. A pasta comprimida forma um tampão que evita que o vapor d'água escape do refinador.

4.2 Análise das funções e falhas

O primeiro passo realizado na identificação das funções foi à elaboração de uma planilha de descrição do sistema (figura 5), que contém informações das funções e parâmetros dos componentes do subsistema, redundâncias, dispositivos de proteção e detalhes de instrumentação.

Planilha de Descrição do Sistema	Processo: Fabricação de Papel e Celulose	Nº.:	Coord:	Data:
	Linha: CTMP	01/04		09/01/2012
	Equipamento: Refinação de alta consistência	Rev.:	Equipe:	Folha:
	Conjunto: Ciclone primário e alimentador secundário	0	ANÁLISE CTMP	01/01
Função: Separar a pasta do vapor, o que pode ser verificado através da medição da consistência da pasta, e alimentar a rosca transportadora (rosca fita) do refinador secundário.				
Redundâncias: Não há.				
Dispositivos de Proteção: Sobrecarga do motor, sobrecorrente, parâmetros de proteção do acionamento e proteção dos dispositivos eletrônicos.				
Instrumentação e Controle: Bloqueio no dreno alimentador do ciclone pressurizado / Parâmetros do acionamento / Interface de rede / Malha de controle de pressão / Malha de controle de velocidade do alimentador do ciclone.				

Figura 5: Planilha de Descrição do Sistema
Fonte: Autoria própria (2012)

A partir do diagrama funcional e do fluxograma de operação, foram definidos os limites e fronteiras dos sistemas em análise dentro da linha de refinação, pois uma falha no ciclone ou

no alimentador tem impacto direto na função principal do sistema. Também foram identificadas as entradas e saídas de outros sistemas do processo da CTMP, como a referência de velocidade da planta (entrada), e sinais de alarme e *set-point* de velocidade (saídas). O fluxograma operacional é mostrado na figura 6.

Todo o processo de identificação das fronteiras e interfaces foi documentado nos diagramas funcionais e formulários MCC.

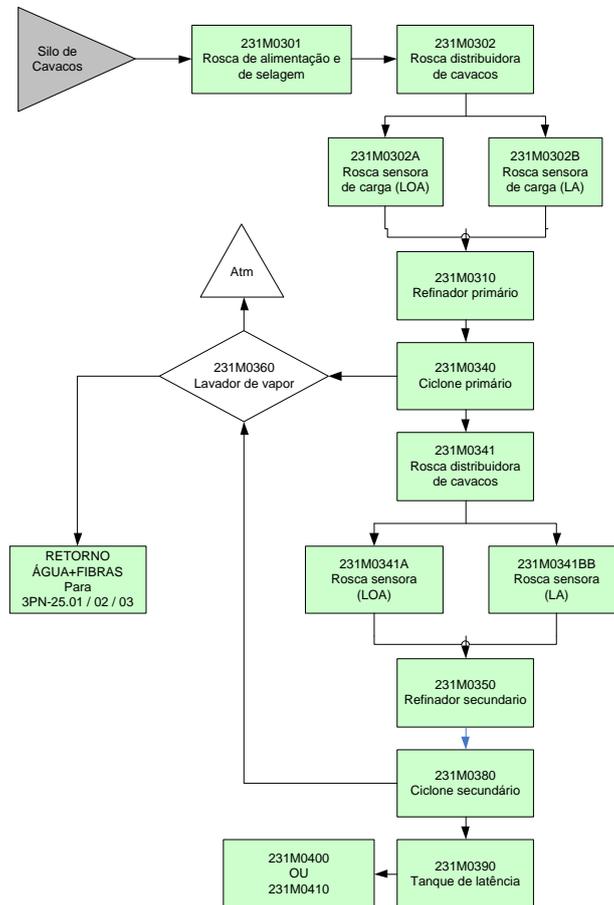


Figura 6: Fluxograma de operação do sistema de refinação
 Fonte: Autoria própria (2012)

A análise das funções e falhas funcionais foi realizada em virtude do contexto operacional, onde o subsistema analisado apresenta duas funções principais: (i) separar a pasta do vapor e (ii) alimentar a rosca transportadora. Ainda foram identificadas as seguintes funções secundárias: (i) controlar velocidade da rosca; (ii) proteger a vedação do alimentador e; (iii) parar motor no caso de alarme.

Com base nas funções primárias dos sistemas, foram identificadas cinco falhas funcionais: (i) não separar a pasta do vapor e não alimentar a rosca fita do refinador secundário; (ii) não alimentar o refinador secundário de forma homogênea; (iii) não formar um tampão de pasta que evite a fuga de vapor do refinador; (iv) não controlar a velocidade da rosca; (v) não proteger a vedação do alimentador.

4.3 Seleção dos sistemas críticos

O ciclone primário e o alimentador secundário fazem parte do sistema de refino na linha principal da planta de celulose, sendo classificados como subsistemas dessa linha. Como ambos possuem um número reduzido de equipamentos, decidiu-se por realizar a análise de

todos os equipamentos presentes nos sistemas, estando a análise de implantação limitada a este nível. Os equipamentos selecionados para análise são apresentados na tabela 1.

Equipamento	Descrição
Linha de Entrada da Pasta	Tubulação que traz a pasta do refinador primário 231M0310 para alimentar o ciclone primário 231M0340.
Corpo do Ciclone	Local onde a pasta é inserida para separação da pasta do vapor (por rotação e gravidade).
Exaustão do Vapor	Tubulação para a exaustão do vapor.
Motor do Alimentador Secundário	Motor de acionamento do alimentador secundário tipo tampão, com 110kW e 1800rpm. Este motor traciona o alimentador por correias e polias, e possui “vigia de velocidade”.
Rosca Cônica do Alimentador Secundário	Rosca cônica sem fim que recebe a pasta vinda do ciclone e alimenta a rosca transportadora de fita (231M0345) acoplada ao refinador secundário.
Lubrificação	Lubrificação por banho de óleo (cárter) e engraxamento.
Instrumentação	Comando de velocidade variável - Inversor de Frequência.

Fonte: Autoria Própria, 2012

Tabela 1: Equipamentos selecionados para análise MCC

4.4 Análise crítica dos modos de falhas e efeitos

Após a identificação das falhas funcionais, realizou-se uma análise FMEA, através do de um formulário padrão. Na planilha, os efeitos/consequências dos modos de falha foram associados às suas causas através de uma identificação sequencial em função do modo de falha de cada componente. Esta identificação forma o código de identificação do modo de falha.

Com a análise FMEA foram encontrados 16 modos de falha associados às falhas funcionais dos sistemas analisados. Em razão de a análise estar restrita à um sistema com número reduzido de equipamentos (sendo estes críticos para o processo de refino) optou-se por conduzir todos os modos de falha encontrados para a seleção das atividades de manutenção.

4.5 Seleção das atividades de manutenção

Utilizando o diagrama decisional e os critérios de aplicabilidade e efetividade das tarefas, foram identificadas 18 atividades de manutenção, documentadas na planilha decisional, com as demais informações de cada modo de falha. A periodicidade das tarefas foi estabelecida com base na experiência dos analistas e mantenedores, histórico dos equipamentos, documentação técnica e informações dos fabricantes.

Todas as tarefas selecionadas foram aceitas quanto à sua aplicabilidade e viabilidade, sendo 10 atividades de detecção de falha (2 delas realizadas pela operação), 5 atividades de inspeção preditiva, 1 atividade de substituição preventiva e 2 atividades mudanças de projeto. A classificação dos modos de falhas e a seleção das atividades podem ser observadas no diagrama decisional (figura 7) e esquema decisional (figura 8).

DIAGRAMA DECISIONAL MCC		Processo: Fabricação de papel e celulose		Nº	Coord.	Data				
		Linha: CTMP		1		09/01/2012				
		Equipamento: Refinação de alta consistência		Rev.	Equipe:	Folha:				
		Conjunto: Ciclone primário e alimentador secundário		0	ANÁLISE CTMP	01/01				
REFERÊNCIA DE REGISTRAÇÃO	INTRODUÇÃO	DESENVOLVIMENTO	TESTES	REVISÃO	FRÉQUÊNCIA DA TAREFA	RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO				
F	FF	ME								
1	A	1A	S	N	N	N	0	Grar sinal no SDCD de alarme para desligar o refinador secundário e parar a planta na ocorrência de uma atuação do sistema de proteção do motor atuar.	Trimestral	Especialista Automação
	B	1B1	N	S	N	N	0	Tarefas de condição / Monitorar condições do motor através de inspeções preventivas	Trimestral	Preventiva
		1B2	N	S	N	N	0	Tarefas programada de descafe.	-	Especialista Mecânico
		1B3	N	S	N	N	0	Tarefas de condição / Realizar monitoramento de ruído ou vibração na caixa de redução.	Trimestral	Preventiva
		1C1	N	S	N	N	0	Tarefas de condição / Realizar monitoramento das condições das engrenagens e programar troca periódica	Trimestral	Preventiva
	C	1C2	N	S	N	N	0	Tarefas de condição / Realizar monitoramento de vibração no rolamento.	Trimestral	Especialista Mecânico
		1C3	N	S	N	N	0	Monitorar condições de alimentação da rosca		Operação
	D	1D	N	S	N	N	0	Monitorar condições de alimentação da rosca		Operação
	E	1E	N	S	N	N	0	Monitorar condições de alimentação da rosca		Operação
	F	1F	N	S	N	N	0	Monitorar condições de alimentação da rosca		Operação
	G	1G	N	S	N	N	0	Monitorar condições de alimentação da rosca		Operação
2	A	1A	S	N	N	S	0	Monitorar condições de alimentação da rosca		Operação
	B	1B	S	N	N	S	0	Monitorar condições de alimentação da rosca		Operação
3	A	1A	S	N	N	N	0	Monitorar condições de alimentação da rosca		Operação
4	A	1A	S	N	N	N	0	Monitorar condições de alimentação da rosca		Operação
5	A	1A	S	N	N	N	0	Monitorar condições de alimentação da rosca		Operação

Figura 7: Diagrama Decisional MCC
Fonte: Autoria Própria (2012)

ESQUEMA DECISIONAL MCC		Processo: Fabricação de Papel e Celulose		Nº	Coord.	Data	
		Linha: CTMP		01		09/01/2012	
		Equipamento: Refinação de alta consistência		Rev.	Equipe:	Folha:	
		Conjunto: Ciclone primário e alimentador secundário		0	ANÁLISE CTMP	01/01	
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	CONSEQUÊNCIAS DA FALHA				
			Descrição	H	S	MA	O
1 Separar a pasta do vapor e alimentar a rosca fita do Refinador Secundário de forma homogênea.	A Não separar a pasta do vapor e não alimentar a rosca fita do Refinador Secundário.	1 Falha no acionamento	Uma falha no acionamento gera a parada do subsistema e, consequentemente, de todo o sistema de refinação.	S	N	N	S
		A. Motor do alimentador tipo tampão parado.		S	N	N	S
		B1. Correas de tracionamento do alimentador frouxas ou rompidas	O eixo do alimentador gira de forma irregular ou pára. O viga de velocidade do motor detecta o problema e pára o motor enviando um sinal para o SDCD que gera uma alarme na sala de controle e desliga o refinador secundário, parando toda a planta.	S	N	N	S
		B2. Caixa de redução com rolamentos quebrados		S	N	N	S
		B3. Caixa de redução com engrenagens quebradas		S	N	N	S
2 Formar um tampão de pasta que evite a fuga de vapor do refinador.	A Não formar um tampão de pasta que evite a fuga de vapor do refinador.	C1. Eixo da rosca travado; rolamento quebrado	O motor da rosca pára, gerando um alarme na sala de controle. O SDCD detecta a condição e desliga toda a planta.	S	N	N	S
		C2. Eixo da rosca travado; material estranho na rosca		S	N	N	S
		C3. Eixo da rosca travado; polpa concentrada		S	N	N	S
		D. Baixa vazão de água de selagem	O sensor de vazão de água de selagem detecta o defeito, pára o motor do alimentador, gerando um alarme na sala de controle. O SDCD identifica o problema e faz o desligamento da planta.	S	N	N	S
		E. Baixa vazão de pasta no sistema: < 11 ton / h	A baixa vazão de pasta vai provocar uma alimentação irregular no Refinador, que pode chegar a parar, caso esta vazão chegue a menos que 11 Toneladas por hora.	S	N	N	S
3 Controlar a velocidade da rosca	A Não controlar a velocidade da rosca	F. Comando de velocidade variável com defeito	A velocidade do alimentador secundário tipo tampão vai variar intermitentemente, provocando uma alimentação não homogênea para o Refinador Secundário.	S	N	N	S
		G. Base do motor com parafusos frouxos	As correas afrouxam e patinam. O viga de velocidade detecta a condição e pára o motor, que alarma na sala de controle. O SDCD intertrava a planta.	S	N	N	S
		1 Falha no tampão de pasta	A não formação do tampão de pasta mecânica gera a parada do subsistema e, consequentemente, de todo o sistema de refinação.	S	N	N	S
		A. Pouca quantidade de pasta no alimentador	Não formando o tampão na entrada do Refinador Secundário, o vapor escapa e vai baixar a pressão do vapor dentro do Refinador.	S	N	N	S
		B. Baixo torque da rosca do alimentador	A baixa pressão do alimentador não permite a formação do tampão como especificado, deixando escapar o vapor do Refinador para o Alimentador.	S	N	N	S
4 Proteger a vedação do alimentador	A Não proteger a vedação do alimentador	1 Falha na vedação do alimentador	A falta de proteção na vedação do alimentador gera a parada do subsistema e, consequentemente, de todo o sistema de refinação.	S	N	N	S
		A. Sensor de vazão da água de selagem com defeito	O Alimentador secundário vai operar sem água de selagem, podendo danificar vedação. Vaza vapor e água.	S	N	N	S
		1 Falha na velocidade da rosca	A falha de velocidade na rosca gera a parada do subsistema e, consequentemente, de todo o sistema de refinação.	S	N	N	S
		A. Referência de velocidade para o Inversor de frequência alterada sem interferência humana	O Alimentador secundário fica com velocidades variadas.	S	N	N	S
		1 Falha no sistema de controle de velocidade	A falha no controle de velocidade gera a parada do subsistema e, consequentemente, de todo o sistema de refinação.	N			
5 Parar o motor e gerar alarme na sala de controle e falha no controle de velocidade da rosca	A Não parar o motor e gerar alarme na sala de controle e falha no controle de velocidade da rosca	A. Sistema viga de velocidade em falha.	O alimentador secundário vai operar com velocidade variada causando prejuízos para produção e podendo haver danos ao equipamento.	N			

Figura 8: Esquema Decisional MCC
Fonte: Autoria Própria (2012)

4.6 Melhoria contínua

Durante o processo de análise e após a sua conclusão foi formada uma equipe de auditores internos, com objetivo de avaliar os resultados obtidos e diagnosticar possíveis atualizações e/ou correções de falhas da equipe de implantação.

Conforme visto anteriormente, o processo MCC, do ponto de vista qualitativo, não é perfeito, e exige ajustes periódicos após os primeiros resultados. Além disso, o sistema pode sofrer alterações, como inclusão de novos equipamentos, mudanças em procedimentos, reprojeto, que podem interferir nos resultados da implantação.

Como neste estudo de caso a MCC foi implantada com o objetivo da criação de um plano de manutenção adequado, cabe a esta equipe de auditoria verificar os resultados da implantação com o passar do tempo, de forma sistêmica e documentada, e realizar as devidas atualizações e revisões quando necessário.

4.7 Conclusões

Concluída a análise, foram executadas as tarefas e melhorias propostas, além da inserção no plano de manutenção das atividades sistêmicas sugeridas.

Outra ação proveniente do processo de análise foi um treinamento para os técnicos de manutenção e operadores do processo, com todas as informações coletadas dos sistemas durante a implantação da MCC.

Como o objetivo da análise MCC era criar um plano de manutenção, através da identificação das funções, falhas funcionais e modos de falhas dos sistemas, o estudo conclui que o modelo proposto atendeu as expectativas. Em um primeiro momento como um importante processo de documentação das funções, falhas funcionais e análise dessas falhas, e em seguida como uma metodologia para criação de um plano de manutenção focado em atividades associadas as causas das falhas, com o objetivo de evitar a ocorrência de seus modos de falhas.

Visando avaliar o resultado, serão monitoradas as falhas e ocorrências relacionadas ao ciclone primário e ao alimentador secundário.

Cabe salientar que a MCC é um processo contínuo e que seu processo de aplicação deve ser revisto conforme acúmulo da experiência operacional e de manutenção desses sistemas.

5. Considerações finais

Na revisão do processo de implantação da MCC observou-se que algumas obras são próprias para aplicação a itens e sistemas específicos como a MIL (1980), NAVAIR (2005) e NAVSEA (2007). Para a metodologia de implantação apresentada, foram utilizados como referência as obras de Moubay (1997), Siqueira (2009), Smith (1993) e Smith e Hincliffe (2004), que consolidaram a aplicação da MCC como processo de documentação na análise das funções, falhas e identificação das ações de manutenção.

Durante a análise algumas dificuldades foram observadas, como a necessidade de treinamento para a equipe de analistas na metodologia MCC e no emprego de suas ferramentas, pois durante o processo de análise a não compreensão total da metodologia por parte de alguns membros da equipe resultou em atrasos e deficiência na análise. Ainda, a análise focada apenas ao subsistema responsável pela falha funcional limitou o processo de análise. A periodicidade de manutenção poderia ser mais efetiva com aplicação de métodos estatísticos e uma análise de dados mais profunda.

A implementação de programas MCC representa um passo significativo na direção de "tirar o máximo de proveito" do equipamento instalado. No entanto, a abordagem ainda é heurística, e sua aplicação requer experiência.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade: terminologia.** Rio de Janeiro, 1994.
- BACKLUND, F.** *Managing the Introduction of Reliability Centered Maintenance, RCM – RCM as a method of working within hydropower organizations.* 2003. 317 f. Thesys (Doctoral) – Department of Business Administration and Social Sciences – Division of Quality and Environmental Management, Lulea University of Technology. Lulea, 2003.
- DESPANDE, V. S.; MODAK, J. P.** *Application of RCM to a medium scale industry.* Reliability Engineering e System Safety, v. 77, n. 1, p. 31-43, 2002.
- DHILLON, B. S.** *Maintainability, maintenance and reliability for Engineers.* 1. ed. New York: CRC Press, 2006.
- GARZA, L.** *A Case Study of the Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) in the Acquisition of the Advanced Amphibious Assault Vehicle (AAAV).* 2002. 85 f. Thesys (Master) – Naval Postgraduate School, United States Navy. California, 2002.
- GUTIÉRREZ, A. M.** *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios: enfoque sistémico kantiano.* 1. ed. Colômbia: AMG, 2005.
- HEADQUARTERS.** *Failure Modes, Effects and Criticality Analyses (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities.* Technical Manual (TM 5-698-4). Department of the Army. Washington, DC, 2006.
- HUADONG, Y.; ZHIGANG, B.** *Risk Evaluation of Boiler Tube Using FMEA.* In: International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. 7, 2009. Anais...: IEEEExplore Digital Library, 2009. p. 81-85.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION'S. IEC 60812: Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).** Switzerland, 2006.
- JIAN-MING, C.** *The risk priority number methodology for distribution priority of emergency logistics after earthquake disasters.* Management Science and Industrial Engineering (MSIE), 2011 International Conference On. Changsha, China, p. 560-562, 8-11 jan. 2011.
- KARDEC, A.; NASFIC, J.** *Manutenção: função estratégica.* 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- KIM, J. H. et al.** *Development of the FMECA Process and a Analysis Methodology for Railroad Systems.* International Journal of Automotive Technology. Montreal, v. 10, n. 6, p. 753-759, 2009.
- LEVERETTE, J. C.** *An Introduction to the US Naval Air System Command RCM Process and Integred Reliability Centered Maintenance Software.* In: RCM 2006 - The Reliability Centred Maintenance Managers' Forum. 2006. p. 22-29.
- MCDERMOTT, R. E. et al.** *The Basics of FMEA.* 2. ed. New York: CRC Press, 2009.
- MILITARY STANDARD. MIL-1629. Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.** US Department Defense. Washington, DC, 1980.
- MOBLEY, K. et al.** *Maintenance Engineering Handbook.* 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.
- MOBLEY, R. K.** *Root Cause Failure Analysis.* 1. ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1999.
- MOUBRAY, J.** *Reliability-centered maintenance: 2.* ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.
- NASA.** *Nasa Reliability Centered Maintenance Guide.* National Aeronautics and Space Administration. USA, 2008
- NAVAIR.** *Management Manual: guidelines for the naval aviation Reliability-Centered Maintenance Process.* NAVAIR 00-25-403. Naval Air Systems Command. USA, 2005.
- NAVSEA.** *Reliability Centered Maintenance (RCM) Handbook.* S9081-AB-GIB-010. Naval Sea Systems Command. USA, 2007.
- SALONEN, A.; DELERYD, M.** *Cost of poor maintenance: A concept for maintenance performance improvement.* Journal of Quality in Maintenance Engineering. v. 17, n. 1, p. 63-73, 2011.
- SAMET, S.; CHELBI, A.** *Optimal availability of failure-prone systems under imperfect maintenance actions.* Journal of Quality in Maintenance Engineering. v. 16, n. 4, p. 395-412, 2010.
- SIQUEIRA, Y. P. D. S.** *Manutenção Centrada em Confiabilidade: Manual de Implantação.* 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R.** *RCM: gateway to world class maintenance.* 2. ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, v. 1, 2004.
- SMITH, A. M.** *Reliability-Centered Maintenance.* 1. ed. Boston: McGraw-Hill, 1993.
- THE EUROPEAN STANDARD. EN 13306: Maintenance terminology.** Brussels, 2001.
- TSAROUHAS, P. H.** *A comparative study of performance evaluation based on field failure data for food production lines.* Journal of Quality in Maintenance Engineering. v. 17, n. 1, p. 26-39, 2011.
- WANG, C.; HWANG, S.** *A stochastic maintenance management model with recovery factor.* Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 10, n. 2, p. 154-164, 2004.
- WESSELS, W. R.; SAUTER, F. C.** *Reliability Analysis Required to Determine CBM Condition Indicators.* In: Reliability and Maintainability Symposium. Fort Worth, 26-29 jan., 2009. Anais...: p. 454-459.

ZAIONS, D. R. *Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel.* 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.