

OBTENÇÃO DO INTERVALO ÓTIMO ENTRE PARADAS ATRAVÉS DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE NO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE (LTQ) DA ARCELORMITTAL TUBARÃO*

Bruno Brunoro Greco¹
Ernesto Furtado de Mello Neto²
Fabiano Candido Santana³
Octávio Eulotério³

Resumo

No cenário econômico atual, as empresas buscam tornar-se cada vez mais competitiva, reduzindo custos operacionais e os tempos de paradas não planejadas. O maior desafio para as pessoas que estão envolvidas com a manutenção nas indústrias hoje em dia não é apenas saber das técnicas utilizadas na manutenção, mas decidir quais delas realmente são importantes para um melhor ciclo de vida do ativo. As paradas para manutenção de grandes unidades industriais são eventos periódicos e tem como finalidade o recondicionamento dos equipamentos, sistemas e instalações, a um nível adequado de confiabilidade, para que seja garantida a produção, sem problemas, durante a próxima campanha operacional. O objetivo deste trabalho é criar um modelo “vivo” que permita otimizar os intervalos entre paradas, a partir de simulações para um determinado tempo de operação para diferentes cenários de melhoria, mudanças de estratégias e ampliações, através de metodologias quantitativas da engenharia de confiabilidade levando em consideração a relação custo, risco e desempenho.

Palavras-chave: Intervalo ótimo; Confiabilidade; Mantenabilidade; Análise RAM

OBTAINING THE OPTIMIZED INTERVAL BETWEEN STOPS THROUGH RELIABILITY ENGINEERING IN THE HOT STRIP LAMINATOR (LTQ) OF THE ARCELORMITTAL TUBARÃO

Abstract

In the current economic scenario, companies are looking to become more competitive, reducing operating costs and unplanned downtime. The biggest challenge for people who are involved in maintenance in today's industries is not just knowing the techniques used in maintenance but deciding which ones are really important for a better asset life cycle. The maintenance stops of large industrial units are periodic events and aim at the reconditioning of equipment, systems and facilities, at an adequate level of reliability, so that production is guaranteed without problems during the next operational campaign. The objective of this work is to create a "live" model that allows to optimize the intervals between stops, from simulations for a certain time of operation to different scenarios of improvement, changes of strategies and extensions, through quantitative methodologies of reliability engineering leading taking into account the cost, risk and performance.

Keywords: Optimized Interval Between Stops; Reliability; Sustainability; RAM analysis.

¹ Engenheiro Mecânico, Especialista de Manutenção e Gestão de Ativos da ArcelorMittal Tubarão – Vitória, ES, Brasil.

² Engenheiro Mecânico, Especialista de Manutenção e Gestão de Ativos da ArcelorMittal Tubarão – Vitória, ES, Brasil.

³ Engenheiro de Produção, Pós Graduado em Controladoria e Finanças e em Engenharia da Confiabilidade, Especialista de Manutenção e Gestão de Ativos da ArcelorMittal Tubarão – Vitória, ES, Brasil.

⁴ Engenheiro Mecânico, Especialista de Manutenção e Gestão de Ativos da ArcelorMittal Tubarão – Vitória, ES, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

Devido à importância da linha de Laminação de Tiras a Quente (LTQ) e por se tratar de uma linha benchmark, entre as Usinas da ArcelorMittal, foi identificada a oportunidade de realizar um estudo para estimar o tempo ótimo entre paradas programadas dos equipamentos mais críticos que compõem o sistema de Laminação de Tiras a Quente, baseado em metodologias quantitativas da engenharia da Confiabilidade, levando em consideração a relação custo, risco e desempenho.

O objetivo do trabalho é demonstrar os tempos ótimos de manutenções preventivas e seus efeitos, nos equipamentos mais críticos da linha de Laminação de Tiras a Quente – LTQ de Tubarão, por meio de análise RAM (Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade) e cálculos de tempos ótimos.

Os resultados principais incluirão:

- Identificação dos equipamentos críticos da linha;
- Definição dos tempos ótimos de parada preventiva;
- Efeitos dos tempos ótimos de manutenção por meio de simulação.

O grupo Arcelor Mittal se destaca mundialmente pelo seu desempenho, na produção de placas e bobinas a quente. Sua filial em Tubarão, Vitória ES, teve como marco no ano de 2002, a inauguração de seu laminador de tiras a quente (LTQ). No ano de 2009, a empresa expandiu a produção do LTQ de 2,8 para 4,0 milhões de toneladas de bobinas a quente por ano.

A primeira fase do trabalho consiste em identificar os equipamentos mais críticos do sistema de Laminação de Tiras a Quente (LTQ), por meio de modelagem e Análise de Confiabilidade, Manutenibilidade, Disponibilidade e Capacidade de Produção (Análise RAM) dos seguintes subsistemas:

- Pátio de Placas;
- Fornos de Reaquecimento;
- Descarepação;
- Laminador Debastador;
- Coil Box;
- Trem Acabador;
- Sistema de Resfriamento;
- Bobinadeiras;
- Sistema de Evacuação de Bobinas.

Com base nos resultados da Análise RAM (1ª fase do projeto), serão identificados e selecionados os equipamentos mais críticos. Estes equipamentos devem ser modelados até o nível componente (LRU), a fim de calcular seus respectivos tempos ótimos de parada para manutenção preventiva.

2 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste trabalho foi baseado nas seguintes metodologias:

Primeira Fase – Seleção dos 16 Equipamentos mais Críticos:

- Modelagem de Diagrama de Blocos de Confiabilidade do LTQ;
- Análise de Confiabilidade, Manutenibilidade, Disponibilidade e Capacidade Produtiva (Análise RAM + Produção) do LTQ, por meio de simulação dos Diagramas de Blocos modelados;
- Identificação dos Equipamentos Críticos, por meio de análise dos principais Indicadores da Análise.

Segunda Fase – Calcular os Tempos Ótimos:

- Modelagem de Diagrama de Blocos de Confiabilidade no nível componente (LRU), dos 16 Equipamentos selecionados na Primeira Fase do Projeto;
- Calcular os Tempos Ótimos de intervalo das manutenções preventivas dos LRUs;
- Análise de Confiabilidade, Manutenibilidade, Disponibilidade e Capacidade Produtiva (Análise RAM + Produção) dos 16 Equipamentos modelados (nível LRU), por meio de simulação;
- Identificar os impactos dos Tempos Ótimos por meio de simulação e análise dos principais Indicadores da Análise RAM.

Para realizar as modelagens, análises e cálculos citados acima, foram realizadas as seguintes etapas:

- Coleta de dados:
 - Fluxogramas de processo;
 - Lista de equipamentos;
 - Hierarquia dos Equipamentos do LTQ no sistema SAP;
 - Base de Dados do Sistema AP – Para cálculos de confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos no nível “caixa preta”;
 - Dados de manutenção preventiva;
 - Entrevistas de Confiabilidade com Especialistas – Para os cálculos de confiabilidade e manutenibilidade dos LRUs de 16 equipamentos.
- Modelagem do Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD);
- Cálculo das Curvas de Confiabilidade e Manutenibilidade, por meio de histórico de manutenção ou entrevista com especialistas dos equipamentos;
- Inserção das Capacidades Produtivas, curvas de Confiabilidade e curvas de Manutenibilidade no Diagrama de Blocos de Confiabilidade;
- Simulação dos Diagramas de Blocos com recursos de Confiabilidade, Manutenibilidade e Capacidade Produtiva;

- Execução dos módulos de cálculos de tempo ótimo para cada diagrama modelado;
- Simulação dos Diagramas de Blocos com recursos de Confiabilidade, Manutenibilidade, Capacidade Produtiva, Ações Preventivas e custos gerais de manutenções corretivas e preventivas.

DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE

O Diagrama de Blocos de Confiabilidade é uma representação gráfica da lógica de confiabilidade de um sistema ou equipamento, a qual será utilizada para representar o “comportamento” de Confiabilidade, Manutenibilidade e conseqüentemente da disponibilidade e produção dos sistemas constituintes da linha do LTQ, levando em consideração os eventos de falhas, reparos corretivos, manutenções programadas, paradas operacionais e impacto na capacidade produtiva de cada equipamento.

Os diagramas de blocos de confiabilidade (RBD) foram desenvolvidos com base no fluxo do processo e suporte de especialistas da área de manutenção e operação, do Sistema de Laminação de Tiras a Quente (LTQ) da unidade de Tubarão.

Os RBDs dos equipamentos do LTQ modelados no nível caixa preta, estão representados a seguir de acordo com as premissas estabelecidas neste projeto.

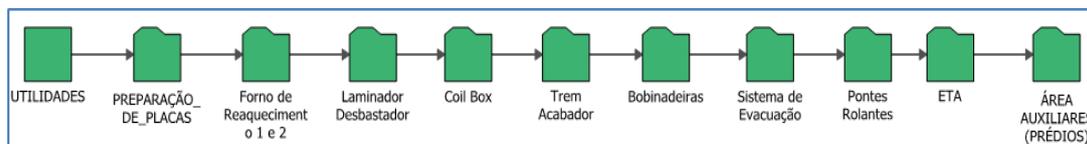


Figura 01 – RBD macro do LTQ

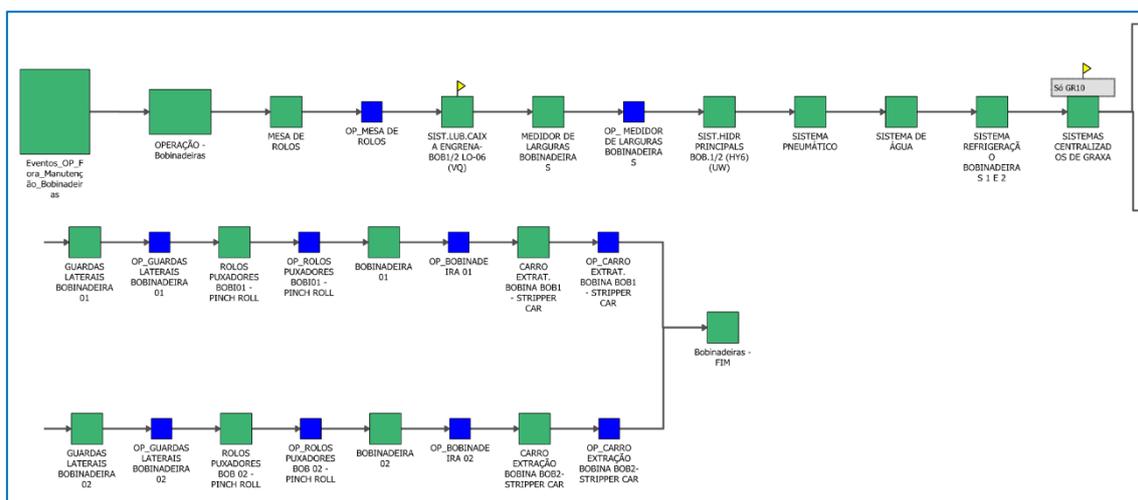


Figura 02 – RBD macro das Bobinadeiras

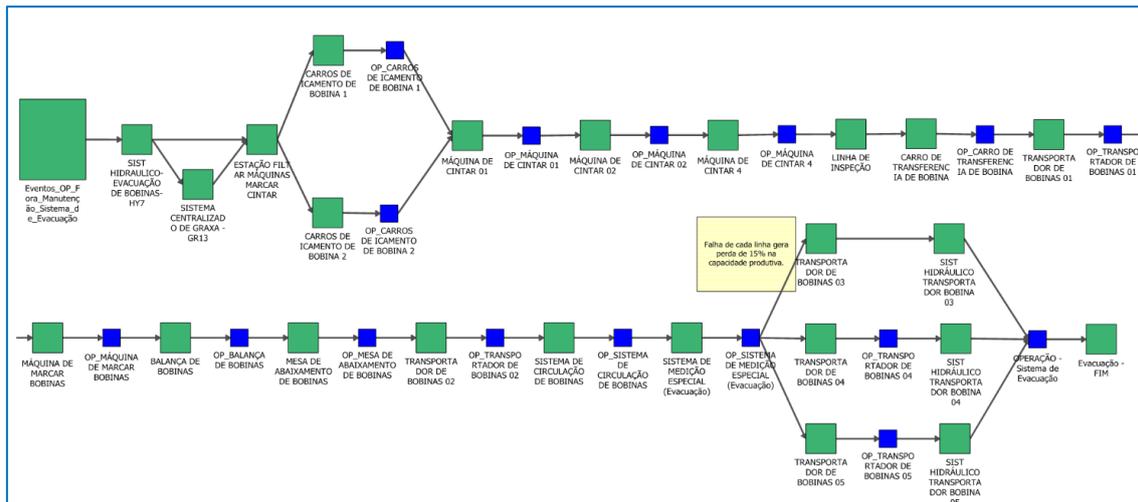


Figura 03 – RBD macro do Sistema de Evacuação

RESULTADO DA ANÁLISE RAM – FASE 1

Esta seção do Relatório apresenta uma visão geral dos resultados de simulação, para um período de 8.760 horas de operação do RBD do Laminador de Tiras a Quente (LTQ – Tubarão), o qual foi modelado no nível de Equipamento (Caixa Preta) e configurado com capacidades produtivas e curvas de confiabilidade e manutenibilidade, conforme premissas, cálculos e considerações citadas nas Seções anteriores deste relatório.

O objetivo da 1ª Fase do Projeto foi elaborar um Diagrama de Blocos de Confiabilidade do LTQ, no nível Equipamento (Caixa Preta), a fim de classificar os Setores modelados e posteriormente identificar os equipamentos mais críticos, em função dos eventos de manutenção, por meio de simulação e dos principais indicadores da análise RAM.

A tabela abaixo apresenta os Setores ordenados pelo indicador de Importância de Criticidade da Falha (RS FCI).

LTQ - Sistemas					
Nome do Bloco	RS FCI	RS DTCI	Disponibilidade	# Esperado Falhas	Tempo Indisponível do Bloco (h)
Forno de Reaquecimento 1 e 2	48,08%	44,46%	86,57%	6437,98	1176,70
Trem Acabador	20,76%	22,25%	92,93%	2984,11	619,27
Laminador Desbastador	8,14%	6,88%	97,76%	1232,65	195,86
Sistema de Evacuação	8,06%	7,59%	97,54%	1218,48	215,17
PREPARAÇÃO_DE_PLACAS	7,21%	7,18%	97,67%	1090,64	204,03
Bobinadeiras	3,32%	7,28%	97,88%	423,98	185,65
Coil Box	2,73%	2,19%	99,31%	419,39	60,28
Pontes Rolantes	1,18%	0,92%	99,69%	181,56	26,82
ÁREA AUXILIARES (PRÉDIOS)	0,35%	0,90%	99,72%	53,10	24,23
ETA	0,18%	0,35%	99,89%	27,50	9,61
UTILIDADES	0,00%	0,00%	100,00%	0,00	0,00

Tabela 01 – Resultados ordenados pelo indicador RS FCI

A tabela a seguir apresenta a relação dos 16 Equipamentos mais críticos do LTQ, validados pela Equipe de Manutenção. Estes equipamentos foram selecionados a partir da relação dos principais Indicadores de Análise RAM, associados ao indicador de impacto na produção

Setor	Nome do Bloco	RS FCI	RS DTCl	Impacto na Produção	Disponibilidade Média	Qtd Esperado Falhas	Tempo Indisponível do Bloco (h)
Forno de Reaquecimento 1 e 2	MESA DE ROLOS DE SAIDA DO FORNO 02 (EA2)	2,48%	5,32%	0,77%	99,23%	183,10	67,10
	MESA DE ROLOS DE SAIDA DO FORNO 01 (EA1)	0,70%	0,99%	0,15%	99,85%	52,68	12,92
	MESA DE ROLOS DA BALANÇA DE PLACAS	0,34%	0,65%	0,10%	99,90%	25,02	8,35
	FORNO 02	0,31%	1,84%	0,26%	99,74%	22,90	22,37
	FORNO 01	0,30%	0,57%	0,08%	99,92%	22,38	7,29
Trem Acabador	SISTEMA TROCA CILINDRO TRABALHO F1 A F6	1,08%	3,29%	0,24%	99,76%	34,49	20,97
	SIST.HID. PRINCIPAL F1 A F6-(HY5) (US)	0,85%	3,58%	0,26%	99,74%	27,28	22,75
	TESOURA DE PONTAS	0,72%	5,10%	0,37%	99,63%	23,22	32,14
Laminador Desbastador	LAMINADOR HORIZONTAL	4,18%	12,33%	0,28%	99,72%	52,65	24,27
	UNIDADE DE DESCAREPAÇÃO PRIMARIA	0,76%	9,63%	0,22%	99,78%	9,57	18,86
Sistema de Evacuação	SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DE BOBINAS	7,40%	15,64%	0,38%	99,62%	91,64	33,66
	MÁQUINA DE CINTAR 4	5,55%	11,35%	0,28%	99,72%	69,03	24,48
	MÁQUINA DE MARCAR BOBINAS	4,17%	7,84%	0,19%	99,81%	51,94	16,94
Bobinadeiras	MESA DE ROLOS	11,34%	22,11%	0,56%	99,44%	57,66	48,71
	BOBINADEIRA 01	0,29%	0,40%	0,84%	98,33%	120,74	146,35
	BOBINADEIRA 02	0,29%	0,34%	0,46%	99,08%	65,52	80,72

Tabela 02 - Seleção dos 16 Equipamentos mais críticos do LTQ

ENTREVISTA DE CONFIABILIDADE

Para estimar as curvas de confiabilidade e manutenibilidade dos LRUs modelados, foi utilizado o método de entrevista de confiabilidade com os especialistas de manutenção (assistente técnico de confiabilidade, especialistas e inspetores) dos equipamentos analisados, devido à qualidade do histórico com apontamento no nível componente não proporcionar informações representativas do comportamento de vida e reparo dos LRUs modelados.

Este método pode ser uma alternativa muito eficiente quando não há um histórico de manutenção com apontamento no nível de hierarquia necessário.

No caso de uma entrevista de confiabilidade, quanto mais informações conseguirmos com os especialistas, melhor fica a apropriação do comportamento de falha do item, se é por desgaste, falha aleatória ou falha prematura.

No caso das entrevistas que podemos obter apenas uma estimativa de número de falhas em um dado intervalo de tempo, só será possível estimar uma taxa de falha, que nos remete ao uso de uma Distribuição Exponencial. Isso pode ser muito comum em equipamento de origem elétrica ou eletrônica, os quais costumam demorar muito para falhar e quando falham suas ocorrências são muito aleatórias.

Existem casos em que os entrevistados conseguem ter uma percepção melhor das ocorrências das falhas e podem descrever como elas se distribuem ao longo do tempo, durante um certo período de operação de um dado equipamento ou componente analisado. Quando isso ocorre, podemos definir um comportamento de falha mais específico para o item analisado.

No caso das entrevistas realizadas para este projeto, orientamos os entrevistados sobre os seguintes critérios, para priorizar os LRUs do componente:

- Identificar os componentes que podem causar paradas do equipamento analisado;
- Identificar os itens que nunca apresentaram falhas ou que não há qualquer perspectiva de vida estimada sobre o item, de forma que não há sentido em considera-los no trabalho dado que não teríamos qualquer tipo de informação;
- Considerar uma visão geral do componente, ou seja, não foram tratados os modos de falhas de forma distinta, considerando um cenário mais conservador;
- Reportar um perfil de vida independente dos efeitos das manutenções preventivas ou programadas realizadas no item. – Dado utilizado para calcular a curva de confiabilidade do componente;
- Reportar o perfil do comportamento de reparo ou reestabelecimento do equipamento na ocorrência da falha do componente analisado. – Dado utilizado para calcular a curva de mantabilidade do componente.

DEFINIÇÃO DOS TEMPOS ÓTIMOS – FASE 2

Os cálculos dos Tempos Ótimos dos intervalos de manutenções preventivas, apresentados neste capítulo, foram realizados levando em conta a base dos cálculos, as curvas de confiabilidade dos componentes (LRUs) modelados e suas respectivas relação de custo para execução de manutenção preventiva versus o custo para execução de manutenção corretiva.

A relação de custos foi obtida a partir dos seguintes cálculos para cada LRU:

• Custo Preventivo:

• “Tarifa Preventiva_(R\$/hr)” + “Lucro Cessante Preventivo_(R\$/hr)” x “Tempo de Substituição_(hr)”.

• Custo Corretivo:

• “Tarifa Corretiva_(R\$/hr)” + “Lucro Cessante Corretivo_(R\$/hr)” x “Tempo de Substituição_(hr)” x “Fatores Corretivo para ações corretivas”

Onde:

- Tarifa Preventiva_(R\$/hr) = Custo de Mão de Obra estimado para ação preventiva;
- Tarifa Corretiva_(R\$/hr) = Custo de Mão de Obra estimado para ação corretiva;
- Lucro Cessante Preventivo_(R\$/hr) = Custo estimado para o tempo que se deixa de produzir, devido indisponibilidade por uma ação preventiva.
- Lucro Cessante Corretivo_(R\$/hr) = Custo estimado para o tempo que se deixa de produzir, devido indisponibilidade por uma ação corretiva;
- Tempo de Substituição_(hr) = Tempo estimado para substituição do item;

□ Fatores Corretivo para ações corretivas = São fatores corretivos aplicados, em função do custo do serviço/material e do tempo, de uma ação corretiva.

OBS: Os cálculos apresentados acima não levaram em conta o valor específico de cada componente, mas sim a relação de aquisição do componente na condição de compra planejada e não planejada.

A partir da relação de custos descrita acima e das distribuições de confiabilidade, foi possível calcular os Tempos Ótimos de intervalo das manutenções preventivas para cada LRU, por meio do módulo “Reposição Ótima”, acessado pelo ícone abaixo no software BlockSim da ReliaSoft.

A figura a seguir apresenta um modelo da planilha utilizada pelo módulo, na qual são necessários imputar os Custos de Reposição Planejada (Reposição Preventiva) e os Custos de Reposição não Planejada (Reposição Corretiva) ou apenas inserir a relação entre os dois custos mencionados.



Nome do Bloco	Custo de Reposição Planejado	Custo de Reposição Não Planejado	Tempo de Reposição Ótimo (h)
ACOPLAMENTO ROLO 01 (EA2)	1	1,50079	28836,483094
MANCAL LL ROLO 01 (EA2)	1	1,50079	36733,889334
MANCAL LM ROLO 01 (EA2)	1	1,50079	36733,889334
MOTOR 1 MESA DE ROLOS DE SAIDA FORNO 2 (EA2)	1	1,50079	13992,228981
ROLO 01 (EA2)	1	1,50079	19715,124233
ACOPLAMENTO ROLO 02 (EA2)	1	1,50079	28836,483094
MANCAL LL ROLO 02 (EA2)	1	1,50079	36733,889334
MANCAL LM ROLO 02 (EA2)	1	1,50079	36733,889334
MOTOR 2 MESA DE ROLOS DE SAIDA FORNO 2 (EA2)	1	1,50079	13992,228981
ROLO 02 (EA2)	1	1,50079	19715,124233
ACOPLAMENTO ROLO 3 (EA2)	1	1,50079	28836,483094
MANCAL LL ROLO 03 (EA2)	1	1,50079	36733,889334
MANCAL LM ROLO 03 (EA2)	1	1,50079	36733,889334
MOTOR 3 MESA DE ROLOS DE SAIDA FORNO 2 (EA2)	1	1,50079	13992,228981
ROLO 03 (EA2)	1	1,50079	19715,124233
EIXO CARDAN DO ROLO 04 (EA2)	1	1,50079	12308,793447
MANCAL LL ROLO 04 (EA2)	1	1,50079	15667,382494
MANCAL LM ROLO 04 (EA2)	1	1,50079	15667,382494
MOTOR 4 MESA DE ROLOS DE SAIDA FORNO 2 (EA2)	1	1,50079	13992,228981
ROLO 04 (EA2)	1	1,50079	12308,793447

Figura 04 - Ilustração do Módulo “Reposição Ótima”

SIMULAÇÃO COM OS INTERVALOS ÓTIMOS

Após os cálculos dos Tempos Ótimos para os intervalos de Manutenção Preventiva (MPs) dos componentes (LRUs), foram criados os objetos referentes as Tarefas Programadas para cada bloco dos LRUs, com suas respectivas programações de paradas, duração e custos preventivos e corretivos.

Para melhor compreensão desta etapa do projeto, cabe ressaltar que os 16 Equipamentos modelados, no nível componente (LRU), apresentavam comportamentos de falhas como de itens sem qualquer efeito de ação preventiva. Sendo assim, os blocos LRUs foram carregados com seus respectivos planos de MP e intervalos propostos.

Com isso, podemos comparar os resultados de simulação dos 16 Equipamento sem MPs com os resultados dos mesmos RBDs com as MPs, para observarmos os ganhos obtidos com as MPs aplicadas.

3 CONCLUSÃO

Os capítulos anteriores deste relatório, descrevem o desenvolvimento deste trabalho, por meio de citações de premissas, conceitos, considerações e, por fim, resultados de cálculos e simulações.

Ao analisar os resultados apresentados neste relatório, pode-se concluir que os tempos ótimos de intervalos para manutenção preventiva traz benefícios financeiros na gestão dos ativos, quando é obtido por métodos quantitativos baseados na confiabilidade do componente e na relação de custos associados as manutenções preventivas e corretivas. No entanto, um ponto fundamental do trabalho realizado, foi conseguir calcular as curvas de confiabilidade dos LRUs, por meio de entrevista com especialistas da manutenção, mesmo sem termos um histórico de manutenção com apontamento adequado. Isso nos permitiu conhecer o comportamento de falha dos LRUs e definir as manutenções programadas. Sendo assim, o trabalho realizado agrega um novo valor ao plano atual do LTQ, devido as MPs serem de natureza quantitativa, baseadas no conhecimento do comportamento de falha e dos riscos assumidos em função dos custos de manutenção.

Outro fator muito relevante é o grande volume de serviços e inspeções realizados atualmente no LTQ. Entretanto, isso não quer dizer que os planos atuais devem ser completamente substituídos pelas manutenções preventivas calculadas neste trabalho. Deve-se primeiro, avaliar a natureza da inspeção ou serviço, a fim de conhecer se a ação é baseada em algum modo de falha do componente, como torqueamento, fixação, lubrificação e outros que não ocasionam a troca do componente. No caso da inspeção ou serviço ser baseado em algum modo de falha, a ação avaliada deve ser mantida, mas se for baseada numa possível substituição do item esse evento deverá ser cancelado e substituído pela MP calculada, que normalmente possuirá um intervalo diferente entre eventos, dado o conhecimento do comportamento da falha, o que poderia ocasionar uma redução destes tipos de eventos e conseqüentemente gerar economia nos custos de manutenção ao longo da vida do equipamento.

Sendo assim, levando em consideração o grande volume de componentes analisados e a dimensão do plano atual de inspeções e serviços, cabe realizar uma análise mais detalhada em relação ao plano atual e as MPs propostas neste trabalho. Este cruzamento de informações proporcionaria a otimização dos intervalos/ciclos já praticados, para as MPs que possuem alguma correlação com as inspeções ou serviços do plano atual, e o incremento de novas ações ao plano atual, nos casos em que a MP não tiver nenhuma correlação com alguma inspeção ou serviço existentes.

4 RECOMENDAÇÕES

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram encontradas algumas oportunidades de melhoria no que se refere a gestão dos ativos do LTQ.

Recomenda-se que a equipe de confiabilidade da Planta continue aplicando as técnicas e metodologias aprendidas com este trabalho, para definir os tempos ótimos de MPs para os demais equipamentos do LTQ.

Outra recomendação é utilizar os recursos e aprendizado adquirido neste trabalho, associado ao trabalho existente de RCM, para definir os tempos ótimos de inspeção e serviços dos modos de falhas dos componentes, até que todo o Plano atual de Inspeções e Serviços do LTQ seja atualizado com ações estimadas de forma quantitativa.

Nos casos de falhas que ocorrem por meio de desgaste e possuem alguma ação de monitoramento, medição e registro dos parâmetros de desgaste, aconselha-se a aplicação da metodologia de Análise de Degradação para definição de uma ação preditiva otimizada.

REFERÊNCIAS

- 1 Pinto, Alan Kardec. “A evolução do processo de Gestão”. 2012 [acesso em 07 abr.2015] 19:23:17. Disponível em http://www.tecem.com.br/wp-content/uploads/2013/03/a-evolucao-do-processo-de-gestao_Tecem.pdf.
- 2 Calixto, Eduardo; Schmitt, William. Análise Ram do projeto Cenpes II.Petrobrás. Rio de janeiro 2005. SIC 2005, ARS 2005, ESREL 2006.
- 3 Lafraia, J.R.B. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Qualitymark. 2011.
- 4 RealiSoft Corporation, Weibull ++ 9, Software, <http://www.reliasoft.com/Weibull/>
- 5 RealiSoft Corporation, BlockSim, Software, <http://www.reliasoft.com.br/BlockSim/>