

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

RODRIGO TORRES DA COSTA

**PLANO DE MANUTENÇÃO DAS GUIAS DE COQUE BASEADO EM
CICLOS DE DESENFORNAMENTO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

RODRIGO TORRES DA COSTA

**PLANO DE MANUTENÇÃO DAS GUIAS DE COQUE BASEADO EM
CICLOS DE DESENFORNAMENTO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano

Co-orientador: Prof. Denis Mazzei

CURITIBA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

PLANO DE MANUTENÇÃO DAS GUIAS DE COQUE BASEADO EM CICLOS DE DESENFORNAMENTO

por

RODRIGO TORRES DA COSTA

Esta monografia foi apresentada em 16 de Outubro de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O(A) aluno(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico esta Monografia ao meu filho João Pedro e minha esposa "Gabi", por terem compreensão da minha ausência por dedicação a este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Entre as monografias realizadas em minha carreira profissional, até agora, esta foi desenvolvida em um momento onde pude conciliar e alinhar de maneira intensa com as tarefas de rotina da função exercida atualmente. Mas mesmo com tanta convergência entre a didática e a prática, não poderia deixar de reconhecer e agradecer aos que viabilizaram, facilitaram e me apoiaram para que eu chegasse até aqui:

Aos meus Pais, que me ensinaram que o caminho da educação e da religião nos protege para o resto da vida;

A minha esposa “Gabi”, meu filho João Pedro e meu enteado Gabriel que são a fonte da minha energia;

A minha empresa ArcelorMittal Tubarão que foi a patrocinadora deste curso e ao meu superior imediato José Leal Neto que me indicou para esta turma;

Aos meus colegas de sala e de trabalho, com quem pude debater e agregar conhecimentos;

Aos professores do curso de Pós Graduação em Engenharia de Confiabilidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por serem as principais fontes de transmissão deste nobre conhecimento;

Aos meus Professores Orientadores Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano e meu Co-orientador: Prof. Dr. Denis Mazzei pela paciência e sabedoria de me guiar neste projeto;

A FUCAPE e seus funcionários pela cordialidade dos funcionários e pela qualidade de estrutura que nos disponibilizaram durante todas as aulas;

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“A consequência de uma falha determina a prioridade das atividades da manutenção ou as melhorias de projeto requeridas para prevenir suas ocorrências” (Denis Mortelari – 2014)

RESUMO

COSTA, Rodrigo Torres. **Plano de Manutenção das Guias de Coque baseado em ciclos de desenformamento**. 2017. 84. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

As Guias de Coque (GC) são máquinas específicas de Plantas de Baterias de Coque cuja função é guiar o coque desenformado da Bateria para dentro de uma caçamba. A máquina translada sobre trilhos em um pavimento em nível superior às caçambas para o qual o coque é guiado, e tem as seguintes subfunções específicas: abrir porta de forno, avançar e recuar grade de desenformamento, limpar “*door frame*” (face metálica frontal do forno) e fechar forno. Em média são 170 ciclos de desenformamento/dia, sendo que não existe demanda para 3 máquinas em regime 24h/dia. O plano de manutenção destas máquinas tem tarefas baseadas por tempo (serviços de plano) e por condição (serviços oriundos do plano de inspeção). O objetivo é propor ações para modificar o plano de manutenção baseado no MTBF por ciclo de desenformamento, aumentando sua Confiabilidade. O trabalho é desenvolvido nas instalações da planta de Baterias de Coque da Unidade de Coqueria da ArcelorMittal Tubarão, localizada no município de Serra, ES. São analisadas todas as 3 Guias de Coque existentes na planta. A coleta de dados para a pesquisa quantitativa é feita através do levantamento do histórico de falhas das Guias de Coque, onde serão consideradas as ocorrências de falha registradas nos relatórios diários operacionais de produção e no sistema informatizado de manutenção (SISMANA). Atualmente o indicador de Confiabilidade das Guias de Coque considera que as máquinas operam 24h/dia, o que não é fato. Será criado um indicador específico de Confiabilidade baseado nos ciclos de desenformamentos. Em seguida, utilizando LDA (Life Data Analysis), encontra-se um modelo de distribuição de vida para cada subsistemas da máquina. Com os modelos de cada subsistemas, utiliza-se o RBD (Reliability Block Diagram) para encontrar modelo probabilístico de Confiabilidade do Sistema, no caso, as Guias de Coque. Através de Pareto identifica-se as principais causas das ocorrências que envolvem os sistemas críticos. Como resultado, tem-se uma proposta de revisão do plano de manutenção das Guias de Coque baseada em ciclos de desenformamento, que é uma visão diferenciada do plano de manutenção atual. É uma quebra de paradigma como filosofia de manutenção, pois o usual é o plano de manutenção destas máquinas por tempo.

Palavras-chave: Guias de Coque. Baterias de Coque. Plano de Manutenção. MTBF.

ABSTRACT

COSTA, Rodrigo **Torres. Maintenance Plan of the Coke Guide Car based on cycles (ovens pushed).** 2017. 84. Monography (Specialization in Reliability Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Coke Guide Cars are specific machines of Coke Battery Plants whose function is to guide the coke out of the Battery into a hopper. The machine is transported on rails on a floor level above the buckets for which the coke is guided, and has the following specific subfunctions: open oven door, advance and retreat cage, clean *door frame* (front metal face of the oven) and close oven. On average there are 170 cycles per day, and there is no demand for 3 machines in 24h / day. The maintenance plan of these machines has tasks based on time (plan services) and condition (services derived from the inspection plan). The objective is to propose actions to modify the maintenance plan based on the MTBF per cycle of ovens pushed, increasing its Reliability. The work is carried out at the facilities of the Coke Batteries plant of ArcelorMittal Tubarão Coke Plant located in the municipality of Serra, ES. All 3 Coke Guides in the plant are analyzed. The collection of data for the quantitative research is done by collecting the history of defects in the Coke Guides, where the occurrence of failure recorded in the daily production operational reports and the computerized maintenance system (SISMANA) will be considered. Currently, the Coke Guides Reliability indicator considers that the machines operate 24 hours a day, which is not a fact. A specific Reliability Indicator based on cycles (ovens pushed) will be created. Then, using LDA (Life Data Analysis), there is a life distribution model for each subfunction of the machine. With the models of each subfunction, the RBD (Reliability Block Diagram) is used to find probabilistic model of System Reliability, in this case, the Coke Guides. Pareto identifies the main causes of occurrences involving critical systems. As a result, there is a proposal to revise the maintenance plan for the Coke Guides based on cycles (ovens pushed), which is a different view of the current maintenance plan. It is a paradigm break as maintenance philosophy, because the usual is the maintenance plan of these machines by time.

Palavras-chave: Coke Guide Car. Coke Battery. Maintenance Plan. MTBF

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1.1 - Esquemática do Macroprocesso de Coqueificação	20
Figura 2.3.1 - Esquemática dos truques da Guia de Coque.....	22
Figura 2.3.2 - Esquemático da extratora de portas de uma Guia de Coque.....	24
Figura 2.3.3 - Esquemática com vista frontal e lateral da grade de uma Guia de Coque.....	25
Figura 2.3.4 - Esquemática do limpador de <i>door frame</i> de uma Guia de Coque.....	26
Figura 3.1.1 - Modelo de Vida de um Sistema	34
Figura 3.3.1 - Representação de um Sistema em Série.....	39
Figura 3.3.2 - Representação de um Sistema em Paralelo	40
Figura 3.3.3 – Representação de um Sistema em Paralelo	40
Figura 4.1.1 - Campo do Relatório Diário da Produção das Baterias de Coque	50
Figura 4.1.2 - Tela parcial do Relatório de Anomalia de Manutenção.....	52
Figura 4.1.3 - Modelo da Planilha de Dados das Guias de Coque.....	53
Figura 4.3.1 - Falhas da Grade do GC 1	66
Figura 4.3.2 - Falhas da Extratora do GC 1.....	67
Figura 4.3.3 - Falhas do Sist Despoeiramento do GC 1	68
Figura 4.3.4 - Falhas do Limpador de <i>Door frame</i> da GC 1	69
Figura 4.3.5 - Falhas na Extratora do GC 2.....	70
Figura 4.3.6 - Falhas no Sist Controle da GC 2.....	71
Figura 4.3.7 - Falhas na Cabine Hidráulica da GC 2.....	72
Figura 4.3.8 - Falhas na Grade do GC 2	73
Figura 4.3.9 - Falhas no Sist de Refrigeração da GC 2.....	74
Figura 4.3.10 - Falhas no Sist de Despoeiramento do GC2.....	75
Figura 4.3.11 - Falhas na Extratora do GC 3.....	76
Figura 4.3.12 - Falhas na Grade do GC3	77
Figura 4.3.13 - Falhas no Sist de Despoeiramento do GC 3.....	78
Figura 4.3.14 - Falhas no Sist de Controle da GC 3.....	79
Figura 4.3.15 - Falhas na Cabine Hidráulica do GC 3.....	80
Fórmula 3.2.1 - Weibull 3 parâmetros	37
Fórmula 3.4.1 - Calculo da Disponibilidade	45
Fórmula 3.4.2 - Calculo Indice de Falhas	46
Fórmula 4.2.1 - Cálculo do MTBF por ciclos de Desenformamentos	54
Fotografia 2.2.1 - Guia de Coque Número 2 da Coqueria da ArcelorMittal Tubarão .	21
Gráfico 2.5.1 - Perdas de Desenformamento devido falhas em GC's	31
Quadro 2.2.1 - Legendas da Fotografia 2.2.1.....	21

Quadro 4.3.1 - Entrada de dados e Resultados do RGA para GC 1	58
Quadro 4.3.2 - Entrada de dados e Resultados do RGA para GC 2	59
Quadro 4.3.3 - Entrada de dados e Resultados do RGA para GC 3	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.1- Macroprocessos da Coqueria.....	19
Tabela 2.4.1 - Tipos de Plano de Inspeção da GC1.....	28
Tabela 2.4.2 - Tipos de Plano de Inspeção da GC2.....	28
Tabela 2.4.3 - Tipos de Plano de Inspeção da GC3.....	28
Tabela 2.4.4 - Tipos de Plano de Serviços das GC's	29
Tabela 2.4.5 Tipos de Plano de Serviços das GC1	29
Tabela 2.4.6 - Tipos de Plano de Serviços das GC2.....	30
Tabela 2.4.7 - Tipos de Plano de Serviços das GC3.....	30
Tabela 4.2.1 - MCBF da GC 1	54
Tabela 4.2.2 - MCBF da GC 2	54
Tabela 4.2.3 - MCBF da GC 3.....	55
Tabela 4.2.4 - Ranking de MCBF das GC's	55
Tabela 4.3.1 - Dados agrupados da GC 1 para entrada no RGA.....	56
Tabela 4.3.2 - Dados agrupados da GC 2 para entrada no RGA.....	57
Tabela 4.3.3 - Dados agrupados da GC 3 para entrada no RGA.....	57
Tabela 4.3.4 - Distribuição de falhas por Subsistema	63
Tabela 4.3.5 - Indicação dos Subsistemas críticos da GC 1.	64
Tabela 4.3.6 - Indicação dos Subsistemas críticos da GC 2	65
Tabela 4.3.7 - Indicação dos Subsistemas críticos da GC 3	65
Tabela 4.3.8 - Falhas dos Subsistemas críticos da GC 1.....	66
Tabela 4.3.9 - Falhas para os Subsistemas críticos da GC 2.....	69
Tabela 4.3.10 - Falhas dos Subsistemas críticos da GC 3.....	75
Tabela 4.4.1 - Produção Média mensal padrão das GC's	81
Tabela 4.4.2 - Taxa de utilização x Desempenho	81
Tabela 4.5.1 - Plano atual x Plano proposto para Grade GC 1	83
Tabela 4.5.2 - Plano atual x Plano proposto para extratora do GC 1	83
Tabela 4.5.3 - Plano atual x Plano proposto para extratora do GC 2	84
Tabela 4.5.4 - Plano atual x Plano proposto para Cab. Hidráulica do GC 2.....	85
Tabela 4.5.5 - Plano atual x Plano proposto para Grade do GC 2	85
Tabela 4.5.6 - Plano atual x Plano proposto para Extratora do GC 3.....	86
Tabela 4.5.7 - Plano atual x Plano proposto para Grade do GC 3	87
Tabela 4.5.8 - Plano atual x Plano proposto para Cabine Hidráulica do GC 3	87
Tabela 5.1.1 - Hh de Plano de Serviços Atual x Proposto GC1	89
Tabela 5.1.2 - Hh de Plano de Serviços Atual x Proposto GC2	90
Tabela 5.1.3 - Hh de Plano de Serviços Atual x Proposto GC3	90
Tabela 5.1.4 - Hh final Plano de Serviços Atual x Proposto	91
Tabela 5.1.5 - Confiabilidade por Ciclo de Desenfornamento	92

LISTA DE ABREVIATURAS

AMT	Arcelor Mittal Tubarão
BFG	<i>Blast Furnace Gas</i> – Gás de Alto-forno
CC	Carros de Carregamento
COG	<i>Coke Owen Gas</i> – Gás de Coqueria
DI	Índice de Disponibilidade
DMTBF	<i>Demonstrated Meantime Between Failure</i>
GC	Guias de Coque
Hh	Homem-hora
IF	Índice de Paradas por Falhas
IID	Independente e Identicamente Distribuído
LDA	<i>“Life Data Analysis”</i> – Análise de Dados de Vida
LOC	Locomotivas
LRU	<i>“Lowest Replaceable Unit”</i> – Menor unidade substituível
MC	Manutenção Corretiva
MCBF	<i>“Mean Cycles Between Failure”</i> – Ciclos Médio Entre Falhas
MD	Máquinas Desenfornadoras
MP	Manutenção Preventiva
MTTR	<i>“Meantime To Repair”</i> - Tempo Médio de Reparação do Equipamento
<i>pdf</i>	<i>Probability Density Function</i> – Função Densidade de Probabilidade
PF	Parada por Falha
RBD	<i>Reliability Block Diagram</i> – Diagrama de Bloco de Confiabilidade
REAM	Relatório de Anomalia de Manutenção
RGA	<i>“Reliability Growth Analysis”</i> – Análise de Crescimento da Confiabilidade
TC	Tempo Calendário
TTM	Tempo Total de Manutenção
TTPF	Tempo Total de Parada por Falha
TTR	<i>“Time To Repair”</i> – Tempo Para Reparar

LISTA DE SIGLAS

<i>MTBF</i>	<i>Meantime Between Failure</i> – Tempo Medio Entre Falhas
N.m ³	Unidade de volume = Normal metro cúbico,.
PT-MAN-GMAN-	Código de sequencia de Padrões Técnicos de Manutenção da
AMT	ArcelorMittal Tubarão

LISTA DE ACRÔNIMOS

SISMANA	Sistema Informatizado de Manutenção da ArcelorMittal Tubarão
PROCON	Sistema informatizado de Operação da Planta de Coqueria
SISPAD	Sistema de Padronização da ArcelorMittal Tubarão

LISTA DE SÍMBOLOS

- β – Parâmetro de Forma da Distribuição Weibull
- e – Parâmetro de Localização da Distribuição Weibull
- η – Parâmetro de Escala da Distribuição Weibull

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	ER
	
	RO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	JUSTIFICATIVA	15
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	PROCESSOS DE PRODUÇÃO E AS GUIAS DE COQUE.....	19
2.1	PROCESSO DE PRODUÇÃO.....	19
2.1	AS GUIAS DE COQUE	20
2.2	PRINCIPAIS SUBFUNÇÕES DA GUIA DE COQUE.....	22
2.2.1	Translação.....	22
2.2.2	Abertura e fechamento de fornos	23
2.2.3	Avanço e recuo da grade	24
2.2.4	Limpeza de “Door frame”.....	26
2.3	PLANO DE MANUTENÇÃO ATUAL DA GUIA DE COQUE	27
2.3.1	Plano de Inspeção.....	27
2.3.2	Plano de Serviços.....	29
2.4	DESEMPENHO ATUAL DAS GUIA DE COQUE	31
2.5	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	31
3	REFERENCIAL TEÓRICO DE ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE	
	APLICADA AO TRABALHO	33
3.1	CONFIABILIDADE DE SISTEMAS.....	34
3.2	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	35
3.2.1	Introdução.....	35
3.2.2	Distribuição de Vidas.....	35
3.2.2.1	Tipo de Parâmetros	36
3.2.2.2	Distribuição de Weibull	37
3.3	DIAGRAMA DE BLOCOS.....	37
3.3.1	Sistema com Configuração em Série	38
3.3.2	Sistema com Configuração em Paralelo	39
3.3.3	Sistema com Configuração Combinada Série-Paralelo.....	40
3.4	SISTEMAS REPARÁVEIS.....	41
3.4.1	Conceitos de Manutenção	41
3.4.1.1	Manutenção Corretiva	42
3.4.1.2	Manutenção Preventiva	43
3.4.1.3	Manutenção Preditiva	43

3.4.1.4	Inspeções	44
3.4.1.5	Disponibilidade	44
3.4.1.6	Confiabilidade	45
3.5	CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE (RELIABILITY GROWTH ANALYSIS – RGA).....	46
3.5.1	Tipo de Coleta de Dados para Crescimento da Confiabilidade	Err
	o! Indicador não definido.	
3.5.2	Modelo CROW-AMSAA	47
3.6	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	48
4	CONFIABILIDADE DAS GUIAS DE COQUE	ER
	RO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
4.1	COLETA DE DADOS	ER
	RO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
4.1.1	Relatório Diário da Produção da Bateria de Coque	50
4.1.2	Sistema Informatizado de Manutenção - SISMANA	51
4.1.3	Resumo dos Dados Coletados	52
4.2	INDICADOR DE CONFIABILIDADE	53
4.3	CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE.....	56
4.3.1	Dados Agrupados de Falhas por Máquina.....	56
4.3.2	Dados Agrupados de Falhas por Subistemas das Máquinas.....	62
4.4	COMPARATIVO DE DESEMPENHO ENTRE AS GC'S.....	80
4.5	NOVO PLANO DE MANUTENÇÃO.....	82
4.5.1	Plano de Manutenção Mecânica da GC 1	82
4.5.2	Plano de Manutenção Mecânica da GC 2	84
4.5.3	Plano de Manutenção Mecânica da GC 3	86
4.6	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	88
5	CONCLUSÃO	ER
	RO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
5.1	RESULTADOS DO HOMEM-HORA DO PLANO ATUAL X PLANO PROPOSTO	89
5.1.1	Oportunidades de Estudar outras Especialidades no Plano de Manutenção	92
5.1.2	Confiabilidade e Plano de Manutenção por Ciclo de Desenfornamento....	92
5.2	FERRAMENTAS DE CONFIABILIDADE APLICADAS	93
5.2.1	Oportunidades de Aplicação de outras Ferramentas da Confiabilidade	94
5.2.2	Confiabilidade de Atendimento ao Plano de Produção.....	94
5.3	APLICAÇÃO EM OUTRAS MÁQUINAS MOVEIS DA COQUERIA	95
5.4	CONSECUÇÃO DOS OBJETIVOS	95

1. INTRODUÇÃO

Durante todo tempo de operação das Guias de Coque (GC) da planta de Coqueria da ArcelorMittalTubarão (início de operação foi em novembro de 1983) estas máquinas têm como premissa de manutenção o plano de preventiva por tempo. A frequência usual é de 30 dias para a maioria dos serviços do plano de manutenção, no entanto, nunca foi feito um estudo aprofundado e com base científica para se estabelecer o intervalo ideal de manutenção destas máquinas, bem como para definir quais as atividades devem ser feitas e em qual frequência. Dentro de um mesmo intervalo de tempo as 3 máquinas têm diferentes cargas de trabalho (ciclos de desenformamento), pois as mesmas não são exigidas 24horas/dia.

As máquinas têm projeto datado do final de década de 70, pertencente ao fabricante Italiano “*Italipiante*”. O conceito de projeto é de baixa confiabilidade, ou seja, um grande percentual de itens funcionais importantes, em caso de falha, fazem com que a máquina perca sua função no ciclo de desenformamento. Aliada a baixa confiabilidade, tem-se que o ciclo de desenformamento é de 10 min, ou seja, no caso de falha, tem-se pouco tempo para decidir se troca de máquina ou se faz o reparo em frente ao forno em ciclo de desenformamento. No caso de falhas onde não é possível transladar a máquina, o índice de perda de produção é alto.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Entendendo que os itens funcionais críticos são aqueles de baixo Índice de Tempo Médio entre falhas (MTBF - “*Meantime Between Failure*”) e/ou que levam a perda da função de translação da máquina, identificando-os junto com as respectivas causas raízes de suas falhas, é possível estabelecer um plano de intervenções preventivo específico para estes itens, reduzindo o numero de falhas e o risco de perda de produção.

1.2 OBJETIVOS

Descreve o objetivo geral e os específicos desta obra.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor ações para modificar o plano de manutenção atual das Guias de Coque da Planta de Coqueria da ArcelorMittal Tubarão, que atualmente é baseada por tempo, e revisá-lo baseando-se no MTBF por ciclo de desenformamento, visando aumentar sua Confiabilidade e reduzir a perda de produção por falhas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar o MTBF por ciclo de desenformamento atual das máquinas.
- Identificar os itens funcionais de maior impacto no MTBF e aqueles que quando falham impedem o traslado da máquina, aumentando risco de perda de produção.
- Construir do modelo probabilístico utilizando o software Weibull ++ e suas respectivas funções estatísticas.
- Utilizar as ferramentas de análise de falhas para encontrar as causas raízes das ocorrências.
- Elaborar um plano de intervenção com frequência baseada no estudo das falhas de maior impacto no MTBF por ciclo de desenformamento.

1.3 JUSTIFICATIVA

A ArcelorMittal Tubarão (AMT) é uma siderúrgica do tipo integrada, ou seja, o processo inicia-se desde o recebimento da matéria prima (carvão e minério) e redução do ferro gusa nos Altos Fornos até a produção final do aço semi acabado (placas e bobinas) nas Laminações (processo de conformação mecânica). Um dos diferenciais competitivos da AMT é utilizar os gases gerados nos processos de coqueificação na Planta de Coque (COG – *Coke Owen Gas*) e de redução nos Alto-Fornos (BFG - *Blast Furnace Gas*) como combustíveis nas Centrais Termoelétricas, ficando pouco dependente da geração de energia local (fornecimento das concessionárias do governo local) e totalmente independente

de gás natural (alto custo de aquisição). Em cada ciclo de enforamento são enforados cerca de 28t de carvão e depois desenforados cerca de 22t de coque, onde a diferença é basicamente a matéria volátil. Portanto, cada orno gera cerca de 22 toneladas de Coque que é direcionado aos Alto-Fornos e 10.000 N.m³ (Normal metro cúbico) de COG (*Coke Owen Gas*).

As Guias de Coque são máquinas imprescindíveis no ciclo de Produção de Coque. Em 2015 e 2016 houve 54 perdas de desenforamento devido falhas nas Guias de Coque. Este montante significa a perda direta de aproximadamente 1.188 toneladas de coque que seriam enviados aso Alto-Fornos e de 540.000 N.m³ de geração de gás COG (*Coke Owen Gas*) que seriam direcionados às Centrais Termoelétricas.

Com o plano de ação pretende-se aumentar a confiabilidade destas maquinas, evitando perdas de produção de coque e gás COG.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para realização do trabalho, vamos seguir as seguintes etapas:

- a) Coleta de dados: serão utilizados os dados de ocorrências de falhas dos relatórios diários da operação e do SISMANA (Sistema Informatizado de Manutenção da ArcelorMittal Tubarão) do primeiro semestre de 2016 (janeiro a julho de 2016).
- b) Análise preliminar qualitativa dos dados: as ocorrências de falha são inseridas pelos operadores da Planta no respectivo relatório diário no sistema PROCON e pela equipe de manutenção corretiva, que trabalha em regime 24 horas/dia. Por isto, será feito uma verificação em toda amostra para eventuais ajustes. Em algumas ocasiões, percebe-se que a descrição no PROCON indica falha em um item funcional, mas que na verdade falhou por consequência de outro item funcional. Nestes casos, deve ser feita a análise dos relatórios detalhados de manutenção para considerar no estudo o item funcional correto.

- c) Distribuição das ocorrências por subsistemas da máquina: todas as amostras serão classificadas por subsistemas da máquina. Será elaborado um histograma de falhas por subsistemas.
- d) Distribuição das ocorrências por item funcional da máquina: todas as amostras serão classificadas por item funcional da máquina. Será elaborado um histograma de falhas por item funcional.
- e) Definição dos itens funcionais críticos da Máquina. Serão considerados itens críticos aqueles nos quais representarem de forma cumulada mais de 80% das ocorrências da máquina (maior impacto no MTBF).
- f) Para análise dos dados de vida utilizar o Weibull ++ para verificar o modelo probabilístico de falha dos itens funcionais críticos.
- g) Utilizar as ferramentas de análise de falhas (RCA) para identificar as causas raízes das falhas dos itens críticos.
- h) Envolver um grupo de trabalho multidisciplinar em sessões de brainstorming para elaborar um plano de manutenção específico, visando bloquear os modos de falha dos itens funcionais críticos.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto de 5 capítulos.

No presente capítulo vimos a Introdução ao tema com seus Objetivos (Geral e Específico), Justificativa, Procedimentos Metodológicos e a Estruturação do Trabalho.

O Capítulo 2 é dedicado a apresentação detalhada do tema/objeto deste trabalho. Detalhes de projeto e funcionamento das Guias de Coque, principais funções e subfunções da máquina, interface da máquina com o processo, explanação detalhada do ciclo de desenformamento em suas principais etapas e as principais tarefas e periodicidade do plano atual de manutenção. Apresentação dos dados de perdas de desenformamento oriundos de falhas das Guias de Coque.

No capítulo 3 é apresentado o referencial teórico da Engenharia da Confiabilidade aplicável ao trabalho. Apresentação sobre o tema de Confiabilidade de Sistemas, Análises de Dados de Vida, Diagrama de Blocos, Sistemas Reparáveis e Crescimento da Confiabilidade.

No Capítulo 4 tem-se o detalhamento da coleta de dados para a amostra do trabalho, a criação de um indicador de Confiabilidade baseada em ciclos de desenformamento, a aplicação do RGA (“Reliability Growth Analysis”) para determinação dos parâmetros de Crescimento da Confiabilidade aplicado às máquinas e aos seus respectivos subsistemas críticos, um comparativo de desempenho entre as máquinas e uma proposta de novo plano de manutenção baseado nos ciclos de desenformamento.

No capítulo 5 descreve-se um comparativo do plano atual com o plano proposto no capítulo 4 e explica como fica a Confiabilidade com o plano de manutenção proposto, diante do cenário atual de produção de coque. Mostra também oportunidades de se implantar este tipo de trabalho em outras máquinas da Coqueria e a possibilidade de aplicar as ferramentas da Confiabilidade visando garantir o cumprimento do plano de produção. Por fim, faz o fechamento entre os Objetivos Geral e Específicos propostos com os resultados alcançados.

2. PROCESSOS DE PRODUÇÃO E AS GUIAS DE COQUE

Neste capítulo apresentam-se os principais macroprocessos da produção de Coque, uma visão geral das Guias de Coque, de suas subfunções, do plano de manutenção e do respectivo desempenho das máquinas.

2.1.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO

O processo de produção de coque da ArcelorMittal Tubarão é feito basicamente em 6 macroprocessos. A Tabela 2.1.1 mostra estes macroprocessos, com o respectivo objetivo e principais equipamentos.

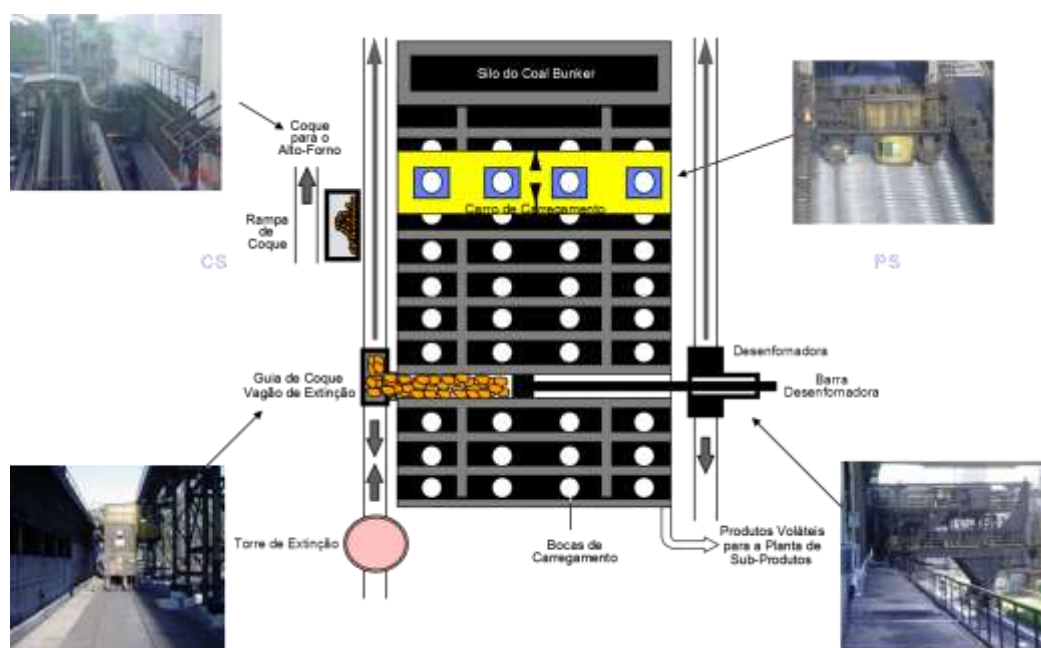
Tabela 1.5.1- Macroprocessos da Coqueria

It	Processo	Objetivo	Principais Equipamentos
1	Recebimento de Carvão	Receber o carvão que vem do porto e estocar no Pátio de Carvão	Transportadores de correia, Empilhadeiras de Carvão, Recuperadoras de Carvão e Calhas de Transferência.
2	Preparação de Carvão	Preparar a mistura dos carvões e estocar nas Torres de Carvão	Balanças dosadoras, Transportadores de Correia, Calhas de Transferencia e Britadores
3	Coqueificação	Transformar o carvão em coque através de coqueificação em fornos	Carros de Carregamento, Baterias de Fornos, Máquinas Desenfornadoras, Guias de Coque e Locomotivas
4	Tratamento de Gás	Limpar o gás oriundo do processo de coqueificação	Exaustores, Colunas de destilação, Troca dores de calor, Decantadores, Desgaseificador a vácuo, Tanques e Tubulações.
5	Apagamento de Coque	Resfriar o Coque proveniente das Baterias	Pontes Rolantes, Câmaras de Apagamento e Caldeiras de Recuperação
6	Tratamento de Coque	Receber o coque apagado, ajustar granulometria e enviá-lo aos Alto-Fornos	Transportadores de Correia, Peneiras e Calhas de Transferencia

Fonte: autor (2017)

O macroprocesso de Coqueificação, onde trabalham as Guias de Coque, está representado na Figura 2.1.1:

Figura 1.5.1 - Esquemática do Macroprocesso de Coqueificação



Fonte: Apresentação da Coqueria (2012)

As Guias de Coque trabalham em sincronismo com as Máquinas Desenformadoras, que são responsáveis por empurrar a massa de coque por dentro da grade do Guia de Coque.

2.1.2 AS GUIAS DE COQUE

As Guias de Coque pertencem a subárea das Baterias de Coque. São máquinas que tem a principal função de guiar o coque desenformado para dentro de uma caçamba, denominada caçamba de coque. A máquina é similar a um vagão ferroviário, composta por um chassi apoiada sobre truques. Em uma extremidade temos as cabines do operador e elétrica, na outra extremidade a cabine hidráulica e no centro a extratora de portas, a grade e o limpador de *door frame*. A fotografia

2.2.1 apresenta a Guia de Coque 2 na garagem de manutenção durante uma intervenção que teve objetivo de trocar a cabine do operador e elétrica.

Fotografia 1.5.1 - Guia de Coque Número 2 da Coqueria da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: O autor (2015) – Troca da cabine do operador do GC2

Quadro 1.5.1 - Legendas da Fotografia 2.2.1

It	Descrição
1	Truques de translação
2	Cabine do operador e cabine elétrica
3	Grade
4	Extratora de Portas
5	Cabine de blocos hidráulicos
6	Cabine de bomba e reservatório hidráulico

Fonte: Autor (2017)

O Quadro 2.2.1 apresenta a legenda da numeração exposta na Fotografia 2.2.1.

2.1.3 PRINCIPAIS SUBFUNÇÕES DA GUIA DE COQUE

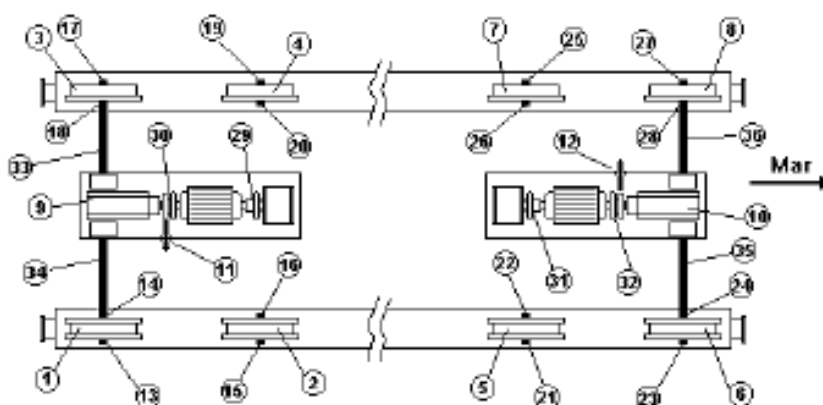
As principais subfunções das Guias de Coque são:

- Translação;
- Abertura e fechamento de fornos;
- Avanço e recuo da grade;
- Limpeza de “door frames”.

2.1.3.1 Translação

A máquina translada para se posicionar em frente ao forno que será desenformado. A translação da máquina é feita através de um conjunto de truques ferroviários. A máquina tem 4 truques, com 2 rodas cada um. Cada truque tem 1 roda motora e 1 roda movida. Os truques são divididos em duas posições distintas, lado Mar e lado Alto Forno, tendo como referencia a posição de trabalho da máquina. Cada lado tem 2 truques e um conjunto motriz, composto de motor+reductor+*cardan*.

Figura 1.5.2 - Esquemática dos truques da Guia de Coque



Fonte – Padrão PO-MAN-COQU-MM-0032 do SISMANA

A figura 2.3.1 mostra o esquemático de truques da máquina e o padrão mencionado acima define os critérios para preventiva no sistema de translação das Guias de Coque.

2.1.3.2 Abertura e fechamento de fornos

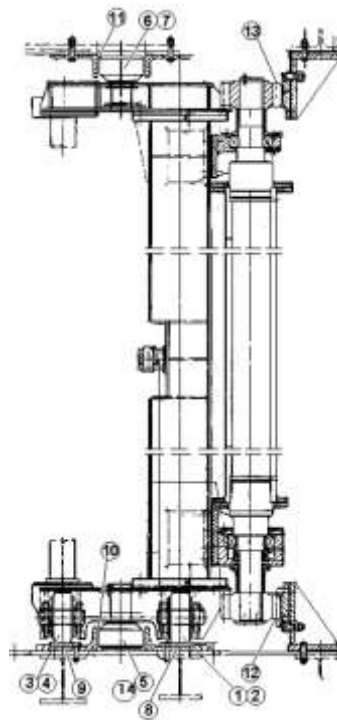
Após o posicionamento da máquina na frente do forno a ser desenformado, a máquina aguarda o comando via rádio autorizando a abertura do forno. A abertura e fechamento do forno são feitas através da extratora de portas, sistema que fica montado na parte central do chassi, entre os truques. Os principais itens funcionais da extratora são:

- Coluna equalizadora;
- Base superior e inferior da extratora;
- Gancho da extratora;
- Cilindro de giro/avanço/recuo;
- Cilindro de comprimir molas superior e inferior;
- Cilindro de içamento da extratora;
- Cilindro destramelador de portas;
- Gancho da extratora.

A sequencia operacional para extração de portas é a seguinte:

- 1º. Avançar a extratora: movimento feito com 1 cilindro girando à direita a extratora com objetivo de posiciona-la na linha de abertura do forno.
- 2º. Primeiro levantamento da extratora: movimento feito com um cilindro para encaixar o gancho da extratora no bolso da porta;
- 3º. Comprimir molas superior e inferior: compressão feita com 2 cilindros para comprimir o tramelador da porta e retirar a tensão deste do respectivo encaixe (tramela);
- 4º. Destramelar porta: movimento feito com 1 cilindro para girar o tramelador e destrava-lo da tramela;
- 5º. Segundo levantamento: içamento feito com 1 cilindro para “descolar” a porta do *door frame*. No processo de coqueificação ocorre a formação de alcatrão entra a porta e o *door frame*.
- 6º. Recuar a extratora: movimento feito com 1 cilindro recuando e girando à esquerda a extratora com objetivo de retirar a porta de frente do forno e permitir o avanço da grade.

Figura 1.5.3 - Esquemático da extratora de portas de uma Guia de Coque



Fonte – Padrão PO-MAN-COQU-MM-0002 do SISMANA.

O padrão mencionado acima define os critérios para preventiva na Extratora de Portas das Guias de Coque.

2.1.3.3 Avanço e recuo da grade

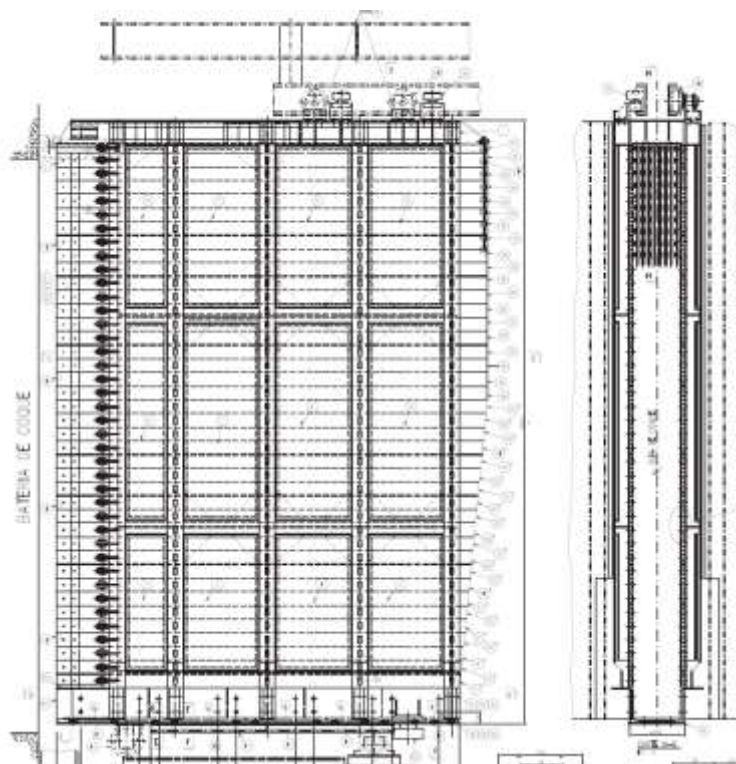
Após a abertura do forno a ser desenformado, a máquina avança a grade para colocá-la junto ao forno, em posição de desenformamento. O avanço e recuo da grade tem como principais itens funcionais o seguinte:

- Motor elétrico de acionamento;
- Redutor de acionamento;
- Eixo *cardan* de acionamento;
- Pinhão de acionamento;
- Cremalheira de acionamento;
- Pista de translação superior e inferior;
- Cilindro de trava da grade;
- Grade.

A sequência operacional para posicionar a grade é a seguinte:

- 1º. Avançar a grade: movimento feito pelo conjunto motriz (motor, redutor, *cardan*, pinhão e cremalheira) com objetivo de coloca-la encostada no forno;
- 2º. Travar a grade: movimento feito por 2 cilindros, sendo 1 de cada lado da grade, que avança um pino que se aloja na estrutura da grade, visando trava-la na posição de desenformamento;
- 3º. Recuar a grade: movimento feito pelo conjunto motriz (motor, redutor, *cardan*, pinhão e cremalheira) com objetivo de coloca-la na posição de repouso.

Figura 1.5.4 - Esquemática com vista frontal e lateral da grade de uma Guia de Coque.



Fonte – Desenho B1305MX06345 da AMT

O padrão mencionado acima define os critérios para preventiva na grade das Guias de Coque.

2.1.3.4 Limpeza de “*Door frame*”

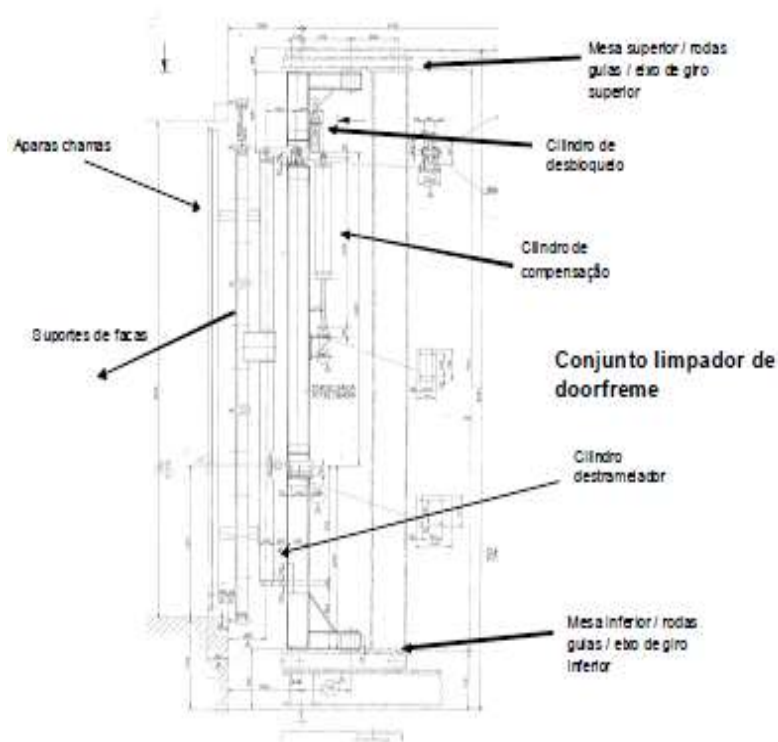
Após o desenformamento, a máquina avança o limpador de *door frame* que tem o objetivo de retirar as impurezas encrustadas no *door frame*, permitindo uma melhor vedação no contato porta/forno e evitando emissões fugitivas durante o processo de coqueificação. A limpeza de *door frame* tem como principais itens funcionais o seguinte:

- Coluna equalizadora;
- Base superior e inferior do limpador;
- Suporte com facas e escovas de limpeza;
- Cilindro de giro/avanço/recuo;
- Cilindro de subida e descida do suporte de limpeza;

A sequência operacional para limpar o *door frame* é a seguinte:

1. Avançar o limpador: movimento feito com 1 cilindro com objetivo de posicionar o limpador na linha de limpeza do *door frame*;
2. Limpar *door frame*: movimento feito com um cilindro para subir e descer o suporte com facas e escovas permitindo o arrancamento das incrustações;
3. Recuar o limpador: movimento feito com 1 cilindro com objetivo de retirar a porta de frente do forno permitindo o avanço da grade.

Figura 1.5.5 - Esquemática do limpador de *door frame* de uma Guia de Coque.



Fonte – Padrão PO-MAN-COQU-MM-0007 do SISMANA

O padrão mencionado acima define os critérios para preventiva no Limpador de *Door Frame* das Guias de Coque.

2.1.4 PLANO DE MANUTENÇÃO ATUAL DA GUIA DE COQUE

O plano de manutenção atual das Guias de Coque é baseado em Plano de Inspeção e Plano de Serviços.

2.1.4.1 Plano de Inspeção

O plano de inspeção é dividido em dois tipos de tarefas, sensitivas e preditivas, e em dois tipos de programação, rotina e parada.

As tarefas sensitivas são baseadas em inspeção onde se se usa os sentidos do Ser Humano para detecção de anormalidades. As tarefas preditivas usam equipamentos de medição para acompanhamento de tendências, tendo como referencia parâmetros mensuráveis.

As tarefas de inspeção podem ter programação do tipo parada ou rotina. A frequência do tipo parada significa que só pode ser realizada com a máquina indisponível, e a frequência tipo rotina, que pode ser realizada com a máquina disponível. As Tabelas abaixo mostram como os planos de inspeção estão divididos nas Guias de Coque.

Tabela 1.5.2 - Tipos de Plano de Inspeção da GC1

Pontos de Inspeção – GC1			
	Parada	Rotina	Total
Sensitivo	67	258	325
Preditivo	18	4	22
Total	85	262	374

Fonte: SISMANA em Setembro/2017.

Tabela 1.5.3 - Tipos de Plano de Inspeção da GC2

Pontos de Inspeção – GC2			
	Parada	Rotina	Total
Sensitivo	67	314	381
Preditivo	18	4	22
Total	85	318	403

Fonte: SISMANA em Setembro/2017

Tabela 1.5.4 - Tipos de Plano de Inspeção da GC3

Pontos de Inspeção – GC3			
	Parada	Rotina	Total
Sensitivo	67	279	346
Preditivo	18	4	22
Total	85	283	368

Fonte: SISMANA em Setembro/2017

Além dos pontos de Inspeção, que são a base das intervenções por condição, tem-se os Planos de Serviço, que são baseados em frequência por tempo.

2.1.4.2 Plano de Serviços

O plano de serviços tem frequência definida e é dividido em dois tipos de programação, rotina e parada, sendo este último o predominante.

A tabela 2.5 mostra como os planos de serviços estão distribuídos nas Guias de Coque.

Tabela 1.5.5 - Tipos de Plano de Serviços das GC's

	GC1	GC2	GC3	Total
Parada	22	23	23	68
Rotina	1	1	1	3
Total	23	24	24	71

Fonte: SISMANA em Setembro/2017

Por definição, cada Guia de Coque tem uma parada mensal para manutenção preventiva. As tabelas 2.4.5, 2.4.6 e 2.4.7 mostram a distribuição dos Serviços de Plano por frequência e o respectivo homem-hora anual total demandado em preventivas, considerando frequência mensal desta.

Tabela 1.5.6 Tipos de Plano de Serviços das GC1

Frequência	Hh Serviço	Hh/ano
Semanal	8	416
1 mes	29	348
2 meses	4	24
3 meses	16	64
4 meses	4	12

6 meses	9	18
12 meses	22	22
<hr/>		
Total	---	904

Fonte: SISMANA em Setembro/2017

Tabela 1.5.7 - Tipos de Plano de Serviços das GC2

Frequência	Hh Serviço	Hh/ano
Semanal	8	416
1 mes	22	264
2 meses	4	24
3 meses	26	104
4 meses	4	12
6 meses	9	18
12 meses	22	22
<hr/>		
Total	---	860

Fonte: SISMANA em Setembro/2017

Tabela 1.5.8 - Tipos de Plano de Serviços das GC3

Frequência	Hh Serviço	Hh/ano
Semanal	4	208
1 mes	30	360
2 meses	2	12
3 meses	20	80
4 meses	4	12
6 meses	9	18
12 meses	22	22

Total	---	712
-------	-----	-----

Fonte: SISMANA em Setembro/2017

Considerando a soma de Hh de serviços de plano das três Guias de Coque (2.476 Hh), e considerando que temos em média 250 dias úteis no ano e 8 horas/dia de jornada de trabalho, representa uma demanda média de 1,24 mecânicos/dia em tarefas por tempo.

2.1.5 DESEMPENHO ATUAL DAS GUIA DE COQUE

As Guias de Coque são máquinas imprescindíveis no ciclo de Produção de Coque. Em 2015 e 2016 houve 59 perdas de desenformamento devido falhas nas Guias de Coque.

Gráfico 1.5.1 - Perdas de Desenformamento devido falhas em GC's



Fonte – SISMANA e Boletim de Produção da AMT

Este montante significa a perda direta de aproximadamente 2.010 toneladas de coque que seriam enviados aos Alto-Fornos e de 590.000 N.m³ de geração de gás COG (*Coke Owen Gas*) que seriam direcionados às Centrais Termoelétricas.

2.1.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o fluxo macro de produção de coque da ArcelorMittal Tubarão, onde as Guias de Coque desenvolvem suas funções. Foi feito

uma apresentação geral da máquina com suas principais subfunções e sequencias operacionais. Foi abordado o respectivo plano de inspeção e plano de serviço aplicado atualmente nas três Guias de Coque. Por fim, foi abordada a desempenho nos anos de 2015 e 2016 das Guias de Coque da AMT.

Fica evidente que a função das Guias de Coque é de suma importância no contexto do fluxo de produção de coque da ArcelorMittal Tubarão. A apresentação das funcionalidades e dos esquemáticos das principais subfunções evidencia o vasto campo de componentes de manutenção existentes em cada máquina.

Os dados apresentados nas tabelas que referenciam os planos de inspeção e de serviços das Máquinas apresentam quantidades diferentes entre os de pontos de inspeção e de homem-hora de serviços aplicados nas três Guias de coque, cujos projetos são idênticos. Fica evidenciado que ao longo dos anos as máquinas passaram por modificações nas quais a adequação dos desenhos e/ou os planos de manutenção não foram equalizados de forma coerente. Também se observa que a perda relevante no resultado do processo e que deve ser minimizada.

No próximo capítulo será apresentado o referencial teórico da Engenharia da Confiabilidade que vamos aplicar no histórico de manutenção visando reduzir as perdas desenformamento oriundo de falhas das Guias de Coque. Vamos discorrer sobre Confiabilidade de Sistemas, Análises de Dados de Vida (LDA – *Life Data Analysis*), Diagrama de Blocos, Sistemas Reparáveis e Crescimento da Confiabilidade com os respectivos conceitos periféricos de manutenção aplicáveis ao trabalho. Utilizaremos estes conceitos para propor um novo plano de manutenção (Inspeção e Serviços) para as Guias de Coque baseado no ciclo de desenformamento.

3. REFERENCIAL TEORICO DE ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE APLICADA AO TRABALHO

Neste capítulo apresentam-se o referencial teórico das disciplinas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

Para análise das Guias de Coque no campo da Engenharia da Confiabilidade, vamos considerar que a Guia de Coque seja um sistema e que seus subsistemas sejam os componentes deste sistema. A hierarquia será a seguinte:

Sistema: *Guia de Coque*

Subsistemas da Guia da Coque:

- Alimentação elétrica geral;
- Cabine Hidráulica;
- Cabine Operado;
- Extratora;
- Grade;
- Iluminação;
- Limpador de *Door frame*;
- Sistema de Refrigeração;
- Sistema de Comunicação;
- Sistema de Controle;
- Sistema de Despoeiramento;
- Sistema de Translação.

No campo da Confiabilidade de Sistemas, as Guias de Coque podem ser consideradas como Sistemas Reparáveis.

Para melhor entendimento dos conceitos e ferramentas aplicadas neste texto, segue breve explanação sobre a Confiabilidade de Sistemas, Análise de Dados de Vida (*Life Data Analysis - LDA*), Diagrama de Blocos, Sistemas Reparáveis, Crescimento da Confiabilidade e Conceitos de Manutenção periféricos que darão suporte ao entendimento do trabalho.

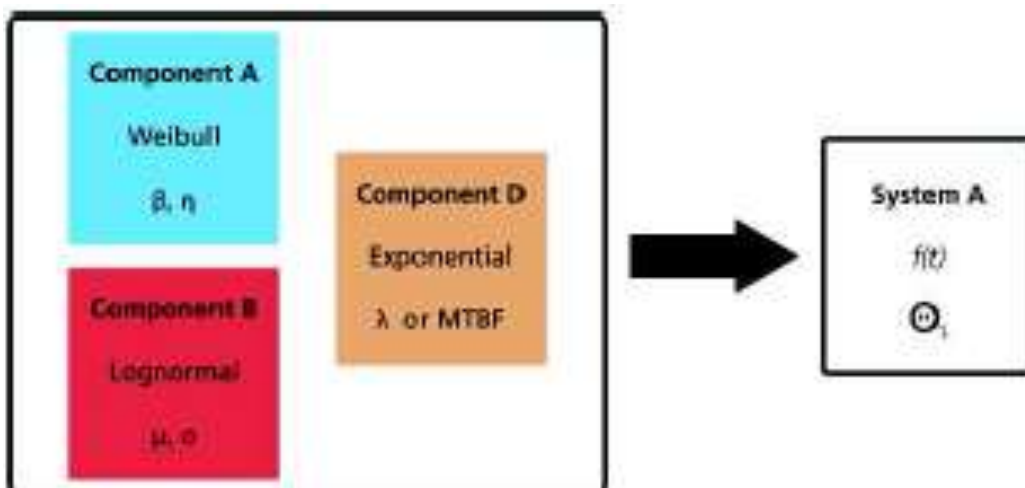
3.1 CONFIABILIDADE DE SISTEMAS

Conforme o *Data Book* (Manual) da Reliasoft (*“System Analysis Rerefence – Chapter Index”, 2017* / Referencia de Análises de Sistemas – Capítulo Introdutório, 2017), na análise de dados de vida e na análise de dados de testes de vida acelerada, bem como em outras atividades de teste, um dos principais objetivos é obter uma distribuição de vida que descreva os tempos de falha de um componente, subconjunto, montagem ou sistema. Esta análise é baseada no tempo de operação bem sucedida ou data de tempo para falha do item (componente), em condições de uso ou de testes de vida acelerada.

Para qualquer análise de dados de vida, o analista escolhe um ponto em que nenhuma informação mais detalhada sobre o objeto de análise é conhecida ou precisa ser considerada. Nesse ponto, o analista trata o objeto da análise como uma "caixa preta". A seleção desse nível (por exemplo, componente, subconjunto, montagem ou sistema) determina o detalhe da análise subsequente.

Na análise de confiabilidade do sistema, constrói-se um modelo para o sistema a partir desses modelos de componentes, que nos nosso caso são as subfunções. Em outras palavras, na análise de confiabilidade do sistema, estamos preocupados com a construção de um modelo (distribuição de vida) que representa os tempos de falha de todo o sistema com base nas distribuições de vida das subfunções, conforme ilustrado na figura 3.1.1.

Figura 3.1.1 - Modelo de Vida de um Sistema



Fonte – *Data Book (Manual)* da Reliasoft (System Analysis Reference – Chapter Index), 2017

Para realizar isso, as relações entre os componentes são consideradas e as decisões sobre a escolha dos componentes podem ser feitas para melhorar ou otimizar a confiabilidade, manutenção e / ou disponibilidade geral do sistema. Existem muitas razões específicas para analisar os dados dos componentes para estimar a confiabilidade geral do sistema. Um dos mais importantes é que em muitas situações é mais fácil e menos dispendioso testar componentes / subsistemas em vez de sistemas inteiros. Muitos outros benefícios da abordagem de análise de confiabilidade do sistema também existem e serão apresentados ao longo desta referência.

3.2 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

3.2.1 Introdução

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (Life Data Analysis Reference – Chapter Index, 2017 / *Análises de Dados de Vida – Capítulo Introdutório*, 2017), a Análise de dados de vida para aplicação em Engenharia de Confiabilidade refere-se ao estudo e modelagem de vidas em produtos observados. Os dados de vida podem ser a vida útil dos produtos no mercado, como o tempo em que o produto funcionou com sucesso ou o tempo que o produto funcionou antes que ele falhasse. Estas vidas podem ser medidas em horas, milhas, ciclos em falhas, ciclos de estresse ou qualquer outra medida com a qual a vida ou exposição de um produto pode ser medida. Todos esses dados da vida do produto podem ser abrangidos nos termos dados de vida ou, mais especificamente, dados de vida do produto. A análise e a previsão subsequentes são descritas como análise de dados de vida.

3.2.2 Distribuição de Vidas

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*Life Data Analysis Reference – Chapter Index*, 2017 / *Análise de Dados de Vida – Capítulo Introdutório*, 2017) usa-se o termo distribuição de vida para descrever a coleta de distribuições de

probabilidade estatística que usamos em engenharia de confiabilidade e análise de dados de vida. Uma distribuição estatística é totalmente descrita pelo sua pdf (ou função de densidade de probabilidade). Diferentes distribuições existem, como a normal, o exponencial, etc., e cada um deles tem uma forma predefinida. Essas distribuições foram formuladas por estatísticos, matemáticos e engenheiros para modelar matematicamente ou representar um certo comportamento. Por exemplo, a distribuição de Weibull foi formulada por Waloddi Weibull e, portanto, tem seu nome. Algumas distribuições tendem a representar melhor os dados da vida e são comumente chamadas de distribuições ao longo da vida.

3.2.2.1 Tipos de Parâmetros

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*Life Data Analysis Reference – Chapter Index, 2017 / Análise de Dados de Vida – Capítulo Introdutório, 2017*) as distribuições podem ter qualquer número de parâmetros. Observe que, à medida que aumenta o número de parâmetros, a quantidade de dados necessária para um ajuste adequado. Em geral, as distribuições ao longo da vida usadas para confiabilidade e análise de dados de vida geralmente são limitadas a um máximo de três parâmetros. Esses três parâmetros geralmente são conhecidos como parâmetro de escala, o parâmetro de forma e o parâmetro de localização.

O parâmetro de escala é o tipo de parâmetro mais comum. Todas as distribuições nesta referência têm um parâmetro de escala. No caso de distribuições de um parâmetro, o único parâmetro é o parâmetro de escala. O parâmetro de escala define onde está o volume da distribuição, ou a extensão da distribuição. No caso da distribuição normal, o parâmetro de escala é o desvio padrão.

O parâmetro de forma, como o nome indica, ajuda a definir a forma de uma distribuição. Algumas distribuições, como a exponencial ou normal, não têm um parâmetro de forma porque possuem uma forma predefinida que não muda. No caso da distribuição normal, a forma é sempre a forma de sino familiar. O efeito do parâmetro de forma em uma distribuição é refletido nas formas do pdf, a função de confiabilidade e a função de taxa de falha.

O parâmetro de localização é usado para mudar uma distribuição em uma direção ou outra. O parâmetro de localização, geralmente denotado como, define a

localização da origem de uma distribuição e pode ser positivo ou negativo. Em termos de distribuições ao longo da vida, o parâmetro de localização representa uma mudança de tempo.

3.2.2.2 Distribuição de Weibull

Existem várias distribuições de vida diferentes que podem ser usadas para modelar dados de confiabilidade. Nesta referência, nos concentraremos na distribuição mais comum usada para Análise de Confiabilidade em Sistemas Reparáveis, que é a Weibull.

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*Life Data Analysis Reference – Chapter Index, 2017 / Análise de Dados de Vida – Capítulo Introdutório, 2017*) a distribuição de Weibull é uma distribuição de confiabilidade de uso geral usada para modelar a força do material, os tempos de falha de componentes, equipamentos ou sistemas eletrônicos e mecânicos. Em seu caso mais geral, o pdf de Weibull de 3 parâmetros é definido pela fórmula 3.2.1.

Fórmula 3.2.1 - Weibull 3 parâmetros

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Fonte: DataBook da Reliasoft

Onde β é o parâmetro de forma, η é o parâmetro de escala e γ é o parâmetro de localização.

3.3 DIAGRAMA DE BLOCOS

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*RBDs and Analytical System Reliability – Chapter 3, 2017 / RBD e Análise de Confiabilidade de Sistemas – Capítulo 3, 2017*), uma previsão geral da confiabilidade do sistema pode ser feita observando a Confiabilidade dos componentes que compõem todo o sistema ou

produto. A configuração confiável de componentes deve ser determinada de antemão.

Para construir um diagrama de blocos de confiabilidade, a configuração de confiabilidade dos componentes deve ser determinada. Conseqüentemente, o método de análise utilizado para computar a confiabilidade de um sistema também dependerá da configuração de segurança dos componentes / subsistemas. Essa configuração pode ser tão simples como unidades dispostas em uma série pura ou configuração paralela. Também pode haver sistemas de configurações combinadas em série / paralelas ou sistemas complexos que não podem ser decompostos em grupos de configurações em série e paralelas. Os tipos de configuração considerados nesta referência incluem:

- Configuração da série.
- Configuração paralela simples.
- Configuração combinada (série e paralela).
- Configuração complexa.
- configuração paralela k-out-of-n.
- Configuração com um compartimento de compartilhamento de carga (apresentado no compartilhamento de carga).
- Configuração com um contêiner de reserva (apresentado em Componentes em espera).
- Configuração com subdiagramas herdados.
- Configuração com vários blocos.
- Configuração com blocos espelhados.

Para o estudo de caso das Guias e Coque, aplicaremos o Sistema com Configuração Combinada. Como a configuração combinada é uma mescla das configurações em série e em paralelo, para melhor entendimento vamos descrever sucintamente estes tipos de configurações.

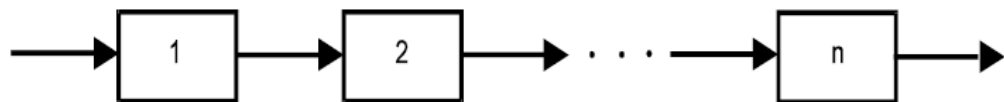
3.3.1 Sistema com Configuração em Série

Segundo FOGLIATO, 2009. Em uma configuração em Série, n componentes estão conectados de tal forma que a falha de qualquer componente resulta na falha

de todo o sistema. Os arranjos em Série são muito utilizados no projeto de produtos industriais já que, por não apresentarem redundância de componentes, costuma apresentar menor custo.

Da mesma forma, no *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*RBDs and Analytical System Reliability – Chapter 3, 2017 / RBD e Análise de Confiabilidade de Sistemas – Capítulo 3, 2017*), todas as unidades em um sistema em série devem ter sucesso para que o sistema tenha sucesso. Também reafirma que os arranjos em série geralmente costumam apresentar menor custo comparado a outros arranjos, por não apresentarem redundância de componentes. A figura 3.3.1 mostra uma representação em série.

Figura 3.3.1 - Representação de um Sistema em Série



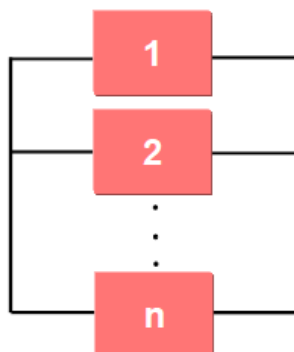
Fonte – slides do Prof Denis Mazey da disciplina RAM Analysis, 2017

Para se calcular a confiabilidade em um sistema, deve-se conhecer a confiabilidade das partes componentes do sistema.

3.3.2 Sistema com Configuração em Paralelo

Segundo FOGLIATO, 2009. em um sistema em paralelo, todos os componentes devem falhar para que o sistema falhe. Tal arranjo é conhecido como arranjo paralelo simples, representado na Figura 3.3.2.

Figura 3.3.2 - Representação de um Sistema em Paralelo



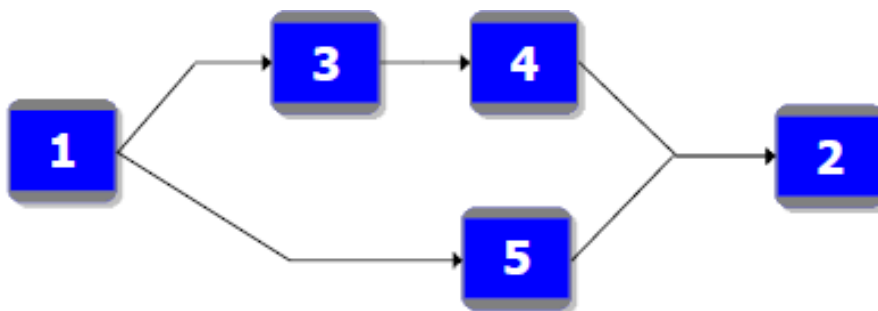
Fonte – slides do Prof Denis Mazey da disciplina RAM Analysis

A confiabilidade de um sistema em paralelo de componentes independentes é determinada a partir da sua não-confiabilidade. A análise do sistema em paralelo apresentada pressupõe que todos os componentes são ativados quando o sistema é ativado e que falhas não afetam a confiabilidade dos componentes sobreviventes.

3.3.3 Sistema com Configuração Combinada Série-Paralelo.

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*Chapter 3: RBDs and Analytical System Reliability, 2017* / RBD e Análise de Confiabilidade de Sistemas – Capítulo 3, 2017), embora muitos sistemas menores possam ser representados com precisão por uma configuração de série simples ou paralela, pode haver sistemas maiores que envolvam configurações em série e paralelas no sistema geral. A figura 3.3.3 representa um configuração de sistema série-paralelo.

Figura 3.3.3 – Representação de um Sistema em Paralelo



Fonte – slides do Prof Denis Mazey da disciplina RAM Analysis

Tais sistemas podem ser analisados calculando as confiabilidades para as séries individuais e seções paralelas e depois combinando-as da maneira apropriada.

3.4 SISTEMAS REPARÁVEIS

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*Chapter 6: Introduction to Repairable Systems, 2017 / Capítulo 6: Introdução a Sistemas Reparáveis, 2017*), não basta entendermos qual a probabilidade de que o sistema, o subsistema ou o componente funcionem com sucesso por um determinado tempo, precisamos entender o que acontece se um componente falhar durante esse período e depois for resolvido. Para melhor compreensão de Sistemas Reparáveis essas definições precisam ser redefinidas e adaptadas para lidar com este caso de renovação de sistemas / componentes. Verificou-se que as Guias de Coque podem ser consideradas Sistemas Reparáveis.

Os sistemas reparáveis recebem ações de manutenção que restauram / renovam os componentes do sistema quando falham. Essas ações alteram a composição geral do sistema. Essas ações devem agora ser levadas em consideração ao avaliar o comportamento do sistema porque a idade dos componentes do sistema não é mais uniforme nem o tempo de operação do sistema é contínuo.

Ao tentar entender o comportamento do sistema, agora são necessárias informações e modelos adicionais para cada componente do sistema. Ao lidar com componentes que são reparados, também é necessário saber quanto tempo leva para que o componente seja restaurado. Ou seja, no mínimo, é necessário um modelo que descreva como o componente é restaurado (uma distribuição de probabilidade de reparo).

3.4.1 Conceitos de Manutenção

Segundo LIMA, Francisco Assis de; 2006. a manutenção pode ser definida, segundo o dicionário Aurélio como:

“A medidas necessárias para a conservação ou permanência, de alguma coisa ou situação” e ainda “Os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”. Entretanto, o

mais comum é definir a manutenção como “o conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas e equipamentos, visando garantir a continuidade de sua função dentro de parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazo, de custos e de vida útil adequados”.

Importante ressaltar que o padrão PT-MAN-GMAN-00-0004 rev08 de fevereiro/2015 acessado via SISPAD da AMT define como “Item” qualquer componente, conjunto, dispositivo, equipamento, subsistema ou sistema que possa ser considerado individualmente em termos operacionais.

Para sistemas reparáveis, a manutenção desempenha um papel vital na vida de um sistema. Isso afeta a confiabilidade, disponibilidade, tempo de inatividade, custo de operação, etc. Geralmente, as ações de manutenção podem ser divididas em três tipos: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva e inspeções.

3.4.1.1 Manutenção Corretiva

Ainda segundo LIMA, Francisco Assis de; CASTILHO, João Carlos Nogueira de. em **Aspectos da Manutenção dos Equipamentos Científicos da Universidade de Brasília**, em dissertação apresentada à Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação (FACE) - Brasília - DF, ano 2006. a Manutenção Corretiva (MC) é o tipo de manutenção mais antiga e mais utilizada, sendo empregada em qualquer empresa que possua itens físicos, qualquer que seja o nível de planejamento de manutenção. Na Norma NBR 5462 (1994), manutenção corretiva é “a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”. Em suma: é toda manutenção com a intenção de corrigir falhas em equipamentos, componentes, módulos ou sistemas, visando restabelecer sua função. Este tipo de manutenção, normalmente implica em custos altos, pois a falha inesperada pode acarretar perdas de produção e queda de qualidade do produto. As paralisações são quase sempre mais demoradas e a insegurança exige estoques elevados de peças de reposição, com acréscimos nos custos de manutenção.

O padrão PT-MAN-GMAN-00-0004 rev08 de fevereiro/2015 acessado via SISPAD da AMT, define Manutenção Corretiva como a manutenção efetuada após a

ocorrência de uma parada por falha, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

3.4.1.2 Manutenção Preventiva

De acordo com LIMA, Francisco Assis de; CASTILHO, João Carlos Nogueira de. em **Aspectos da Manutenção dos Equipamentos Científicos da Universidade de Brasília**, em dissertação apresentada à Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação (FACE) - Brasília - DF, ano 2006. a essência da Manutenção Preventiva (MP) é a substituição de peças ou componentes antes que atinjam a idade em que passam a ter risco de quebra. A base científica da MP é o conhecimento estatístico da taxa de defeito das peças, equipamentos ou sistemas ao longo do tempo. A Manutenção Preventiva também é chamada de manutenção baseada em intervalos/tempo.

Ao contrário da Manutenção Corretiva (MC) a Manutenção Preventiva procura evitar e prevenir antes que a falha efetivamente ocorra. A definição da NBR 5462(1994) para a Manutenção Preventiva é “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritivos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”.

O padrão PT-MAN-GMAN-00-0004 rev08 de fevereiro/2015 acessado via SISPAD da AMT, define Manutenção Preventiva como a manutenção efetuada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item. O objetivo da Manutenção Preventiva, ainda segundo este padrão, é manter ou elevar a confiabilidade do item, acima dos valores mínimos necessários a sua operação.

3.4.1.3 Manutenção Preditiva

Segundo Mirshawaka (1991) a Manutenção Preditiva, também conhecida como Manutenção Sob Condição ou Manutenção com Base no Estado do Equipamento, pode ser definida como a intervenção realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. Tem como objetivo prevenir as falhas nos

equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

O padrão PT-MAN-GMAN-00-0004 rev08 de fevereiro/2015 acessado via SISPAD da AMT, define Manutenção Preditiva como a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e corretiva.

3.4.1.4 Inspeções

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*Chapter 6: Introduction to Repairable Systems, 2017 / Capítulo 6: Introdução a Sistemas Reparáveis, 2017*) as inspeções são usadas para descobrir falhas ocultas (também chamadas de falhas inativas). Em geral, nenhuma ação de manutenção é realizada no componente durante uma inspeção a menos que o componente seja encontrado falhado, caso em que uma ação de manutenção corretiva é iniciada.

No entanto, para fins deste trabalho, utilizaremos a definição de inspeção conforme o padrão PT-MAN-GMAN-00-0004 rev08 de fevereiro/2015 acessado via SISPAD da AMT, que define Inspeção como a atividade de análise sistemática das condições operacionais de um item, verificando o seu estado real em relação às condições operacionais exigidas, determinando os defeitos e os serviços que devem ser executados para corrigi-los, visando evitar falhas e preservar o desempenho operacional do item.

3.4.1.5 Disponibilidade

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*Chapter 6: Introduction to Repairable Systems, 2017 / Capítulo 6: Introdução a Sistemas Reparáveis, 2017*) a disponibilidade é um critério de desempenho para sistemas reparáveis que são responsáveis tanto pelas propriedades de confiabilidade quanto de manutenção de um componente ou sistema. É definida como a probabilidade de o sistema estar funcionando corretamente quando solicitado para uso. Ou seja, a disponibilidade é a

probabilidade de um sistema não falhar ou passando por uma ação de reparo quando precisa ser usado.

Para fins deste trabalho, utilizaremos a definição de Disponibilidade conforme o padrão PT-MAN-GMAN-00-0004 rev08 de fevereiro/2015 acessado via SISPAD da AMT, que define esta como a capacidade de funcionamento normal de um Item durante um período de tempo determinado. Este mesmo padrão define o Indicador de Desempenho da Disponibilidade, que é utilizado nas Guias de Coque. Este indicador representa o percentual do tempo calendário mensal que as Guias de Coque ficou disponível para a operação. O Índice de Disponibilidade (DI) é calculado pela fórmula 3.4.1:

Fórmula 3.4.1 - Calculo da Disponibilidade

$$DI = ((TC - TTM)/TC) \times 100;$$

Fonte: Padrão PT-MAN-GMAN-00-0004 do SISMANA.

O resultado em é percentual (%), onde TC é tempo calendário mensal e TTM é o Tempo total de Manutenção no mes em questão, considerando as paradas programadas e paradas por falhas.

3.4.1.6 Confiabilidade

Blanchard&Fabrycky, 1990 apud Rigoni, Slide 18, 2017) definem Confiabilidade como uma característica inerente ao projeto e pode ser definida como a probabilidade na qual um sistema ou produto irá operar de modo satisfatório em um dado intervalo de tempo, quando utilizado restrito às condições de operação específicas.

O padrão PT-MAN-GMAN-00-0004 rev08 de fevereiro/2015 acessado via SISPAD da AMT define “Confiabilidade” baseada na NBR 5462 (1994), que é a probabilidade de um Item desempenhar suas funções requeridas para a operação, so condições específicas, durante um intervalo de tempo determinado, sem falhas. Define “falha” como o término da capacidade de um Item desempenhar uma função requerida para a operação. Então, uma Parada por Falha (PF) é o estado de um item caracterizado pela falha. Este mesmo padrão define o Indicador de Desempenho da Confiabilidade, que é o Índice de Paradas por Falhas (IF). Este

indicador representa o percentual de tempo calendário mensal que as Guias de Coque ficaram pardas por falhas. O índice de Paradas por Falhas (IF) é calculado com a fórmula 3.4.2:

Fórmula 3.4.2 - Calculo Indice de Falhas

$$\text{IF} = (\text{TTPF} / \text{TC}) \times 100;$$

Fonte: Padrão PT-MAN-GMAN-00-0004 do SISMANA.

O resultado em é eprcentual (%), onde TC é tempo calendário mensal e TTPF é o Tempo Total de Parada por Falha no mes em questão, considerando somente as paradas por falhas.

3.5 CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE (RELIABILITY GROWTH ANALYSIS – RGA)

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*Chapter 1: RGA Overview, 2017/* Capítulo 1: Visão Geral de RGA, 2017) ao realizar análise de distribuição (e análise de dados de vida), os eventos que são observados são assumidos como sendo estatisticamente independente e identicamente distribuído (IID). Uma seqüência ou coleção de variáveis aleatórias é IID se:

- Cada um tem a mesma distribuição de probabilidade que qualquer um dos outros.
- Todos são mutuamente independentes, o que implica que saber se um ocorreu não o faz nem mais nem menos provável que o outro tenha ocorrido.

Na análise de dados de vida, a unidade / componente colocada em teste é assumida como tão boa como nova. No entanto, este não é o caso de lidar com sistemas reparáveis que tenham mais de uma vida. Eles podem ter várias vidas, como se eles falhassem, fossem reparados e depois colocados de volta ao serviço. A idade logo após o reparo é basicamente a mesma coisa que era apenas antes da falha. Isso é chamado de "*as bad - as old*" (tão ruim quanto usado). Para o crescimento da confiabilidade e análise de sistemas reparáveis, os eventos que são observados fazem parte de um processo estocástico. Um processo estocástico é definido como uma seqüência de interdependências e eventos aleatórios. Portanto, os eventos são dependentes e não são distribuídos de forma idêntica.

- No caso das Guias de Coque o tempo de falha após a intervenção de manutenção depende da boa ou má qualidade do serviço realizado ou do item funcional trocado.

- O tempo de falha da Guia de Coque após a manutenção pode seguir uma distribuição diferente da distribuição de tempos de falhas antes da manutenção.

Existe uma dependência entre as falhas que ocorrem em um sistema reparável. Os eventos que ocorrem primeiro afetarão as falhas futuras. Dada essa dependência, a aplicação de uma distribuição Weibull, por exemplo, não é válida desde que a análise de dados de vida assume que os eventos são IID. O crescimento de confiabilidade e a análise de sistemas reparáveis fornecem metodologias para analisando dados / eventos associados a sistemas que fazem parte de um processo estocástico.

3.5.1 Tipo de Coleta de Dados para Crescimento da Confiabilidade

A análise de crescimento de confiabilidade pode ser conduzida usando diferentes tipos de coleta de dados. Para o caso das Guias de Coque, o mais indicado são os dados agrupados. Este tipo de dados é usado para amostras onde os tempos de falha exatos são desconhecidos e apenas o número de falhas dentro de um intervalo de tempo é conhecido. Apesar dos dados serem coletados em um mesmo intervalo de tempo, no caso das Guias de Coque vamos considerar a produção acumulada no período para cada máquina. Os dados agrupados também são úteis para mesclar dados de várias localizações. No caso das Guias de Coque vamos mesclar falhas de todos os itens funcionais de um subsistema.

3.5.2 Modelo CROW-AMSAA

Conforme *Data Book (Manual)* da Reliasoft (*Chapter 3.2: Crow-AMSAA, 2017 / Capítulo 3.2: Crow-AMSAA, 2017*) o Dr. Larry H. Crow [17] observou que o modelo de Duane poderia ser representado estocasticamente como um processo de Weibull, permitindo que os procedimentos estatísticos sejam utilizados na aplicação deste modelo em crescimento de confiabilidade. A extensão tornou-se o que é conhecido como o modelo Crow-AMSAA (NHPP). Este método foi desenvolvido pela

primeira vez nos EUA para atividade de análise de sistemas de materiais do exército (AMSAA). É freqüentemente usado em sistemas quando o uso é medido em uma escala contínua, que não é o caso das Guias de Coque. No entanto, também pode ser aplicado para a análise de itens discretos quando há alta confiabilidade e um grande número de provas. O modelo Crow-AMSAA foi projetado para rastreamento da confiabilidade dentro de uma fase de teste e não em fases de teste. Identificou-se todas as falhas das Guias de Coque durante um determinado período, como se o modelo estivesse sendo aplicado em uma “fase de teste”. Se as ações corretivas forem introduzidas durante uma fase de teste particular, então esse tipo de teste e os dados associados são apropriados para análise pelo modelo Crow-AMSAA. Portanto, é aplicável no nosso caso, pois na amostra levantada para as Guias de Coque, estão sendo consideradas todas as ações corretivas do período. Para estes casos, o modelo vai analisar a taxa de crescimento da Confiabilidade, e o MTBF instantâneo do final do período. Estas informações serão utilizadas para revisão do plano de manutenção baseado nestes resultados.

3.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o referencial teórico de Engenharia de Confiabilidade que se utilizou no desenvolvimento do trabalho. Identificado que a Guia de Coque será considerada um Sistema Reparável e, sendo assim, foram abordados os temas e conceitos correlacionados. Mencionados sobre os diagramas de bloco e os tipos de configurações de sistema, em série, paralelo e combinado. Um breve resumo dos conceitos de manutenção abordando os tipos de manutenção e indicadores aplicados nas Guias de Coque. Os indicadores utilizados para análise de desempenho são o Índice de Disponibilidade e o Índice de Falhas, vistos neste capítulo. Vale ressaltar que o indicador de monitoramento tanto de Disponibilidade quanto de Confiabilidade das Guias de Coque considera o mesmo referencial de tempo calendário para todas as máquinas, que neste caso é o tempo total mensal. No entanto, o processo não exige que as máquinas operem 24h/dia, e também não existe controle do tempo total em operação de cada máquina.

Para estruturar ou modificar um Plano de Manutenção de qualquer equipamento, é fundamental entender como este está situado dentro dos conceitos

de Engenharia de Confiabilidade, bem como repassar a teoria destes conceitos para aprimorar o conhecimento do leitor antes do desenvolvimento das ferramentas aplicadas.

No próximo capítulo será abordado o desenvolvimento de um novo Indicador de Confiabilidade das Guias de Coque, bem como a análise do plano de manutenção atual das Guias de Coque, geração do perfil de confiabilidade dos equipamentos e visualização de gráficos ilustrativos para situar este perfil de manutenção. Em seguida será aplicado as ferramentas de Confiabilidade para geração e análise dos dados, que serão a base da proposta do novo plano de Manutenção das Guias de Coque, e o monitoramento do mesmo com um indicador específico de Confiabilidade baseado nos ciclos de trabalho da máquina (desenforamentos).

4. CONFIABILIDADE DAS GUIAS DE COQUE

Neste capítulo faremos a aplicação do referencial teórico visto no capítulo 3 nos dados de falhas coletados nas Guias de Coque da ArcelorMittal Tubarão para desenvolver um indicador específico de Confiabilidade, analisar a taxa de crescimento da Confiabilidade, identificar as subfunções críticas de cada máquina e propor ações para mudar a frequência do plano de manutenção por subsistema e melhorar a taxa de crescimento da Confiabilidade dos subsistemas críticos.

4.1 COLETA DE DADOS

A amostra de dados foi coletada de duas fontes:

- Relatórios Diário da Produção da Bateria de Coque;
- SISMANA: Sistema Informatizado de Manutenção da ArcelorMittal Tubarão.

A ideia de considerar as duas fontes foi trazer as informações de intervenção de manutenção o mais próximo da realidade possível, garantindo uma análise coerente com a situação.

4.1.1 Relatório Diário da Produção da Bateria de Coque

O Relatório Diário da Produção da Bateria de Coque é elaborado pela Supervisão do turno de operação da Bateria de Coque. Ele descreve todas as informações importantes da produção, dentre elas, relata resumidamente as intervenções nas Máquinas de Produção, que é o caso das Guias de Coque. No campo “Baterias – Ocorrências” o relatório traz a hora de início e fim do tempo em que a máquina ficou indisponível, a identificação da máquina e o efeito do problema percebido pelo operador, conforme Figura 4.1, representada pela tela parcial abaixo:

Figura 4.1.1 - Campo do Relatório Diário da Produção das Baterias de Coque

BATERIAS - OCORRÊNCIAS
12:00 às 12:30h - GC01 Curto no banco de resistores de frenagem da translação.
18:00 às 19:40h - GC03 Parado para soldar o atuador do pêndulo de avanço da grade e desempenho da parte frontal inferior da grade.
18:45 às 18:55h - MD02 Parado devido falha no inversor de translação.
21:10 às 22:00h - GC01 Parado para soldar o atuador de avanço e recuo da extratora.

FONTE: Relatório Diário da Produção das Baterias de Coque de 20 de agosto 2017

Na Figura 4.1.1 acima mostra o relatório de 20 de agosto de 2017 onde houve quatro atendimentos em Máquinas de Produção da Bateria de Coque, sendo duas intervenções na Guia de Coque 1 (GC01), uma intervenção na Guia de Coque 3 (GC03) e uma intervenção na Máquina Desenfornadora 2 (MD02).

4.1.2 Sistema Informatizado de Manutenção - SISMANA

O SISMANA contém todas as informações de manutenção nos equipamentos de processo da ArcelorMittal Tubarão.

A entrada de dados no SISMANA referentes a Manutenções Corretivas é feita pela equipe de turno de manutenção.

A equipe de turno de manutenção é formada por mecânicos e eletricitas. Todos os atendimentos devem ser cadastrados no SISMANA, com detalhes da intervenção realizada. Além do registro da intervenção, o objetivo é colocar todas as informações possíveis do atendimento que deem subsídio para que a célula de confiabilidade desenvolva a análise da falha.

O módulo do SISMANA que concentram os atendimentos de manutenção corretiva é o REAM – Relatório de Anomalia de Manutenção. Veja na Figura 4.1.2 um exemplo de tela do REAM:

Figura 4.1.2 - Tela parcial do Relatório de Anomalia de Manutenção

REAM 168		Módulo REAM	Impressão em: 04/10/2017 às 19:19Hs		1 / 1
Nº Anomalia:	0125 - 2017 - 5885	Turno Incl.:	ELETROMECANICO COQUERIA	Data Anomalia:	20/08/2017 Hr. Anomalia: 21:30
Duração do Atendimento em Horas e Minutos: 1 : 10 Nº / Equipe do Turno: B Horário Trabalho: 18:00 a 6:00 Supervisor: SOCRATES MILANEZI Sigla Resp.: IGCM Especialidade Responsável pelo Atendimento da Anomalia: Mecânica Setor Resp.: Turno Eletromecânico Coqueria Localização: 42.04.007.003.020-GC-1- SENSORES FIM DE CURSO DA GRADE GC-1- GRADE DE DESENFORNAMENTO GC-1- GUIA DE COQUE 1 MÁQUINAS DA BATERIA COQUERIA - BATERIAS DE COQUE Título: Quebra do suporte Responsabilidade p/Geração da Anomalia: MANUTENÇÃO MECANICA SD2000-Classificação: Perda Material Pequena - Baixo Potencial Causas Imediatas FISICA - QUEBRA Providências SOLDADO Tipo de Atendimento: MANUTENÇÃO Executantes: FERNANDO FLAVIO ARAUJO, JOAO HERBERT MARQUES CONCEICAO Descrição da Anomalia: A operação pediu para poder soldar suporte que avia quebrado do guia de coque 01foi soldado e liberado					

FONTE: SISMANA de 20 de agosto 2017

Na Figura 4.1.2 mostra um dos REAM's de 20 de agosto de 2017, este referente ao atendimento após falha na grade do Guia de Coque 1. Diferente do Relatório Diário da Produção da Bateria de Coque, neste encontramos o tempo de intervenção, nome dos funcionários que fizeram o atendimento, o que foi feito para corrigir a falha e o item funcional (*LRU – Lowest Replaceble Unit*) reparado para restabelecer a disponibilidade da máquina.

4.1.3 Resumo dos Dados Coletados

Desde 2014 que é prática coletar os dados tanto do Relatório da Produção quanto do REAM para avaliar a análise de desempenho das máquinas. Portanto, para considerar os dados desta monografia, foram coletados os dados de ambas as fontes, feito comparativo para evitar duplicidade e também para considerar algum dado que por algum motivo estava em um relatório e não estava no outro. Além disto, quando a informação não coincidia, foi feito entrevista com as equipes envolvidas até que se consolidassem os dados de falha a serem considerados. Os dados foram lançados em uma planilha eletrônica e ordenados. Em cada falha foi colocada o respectivo subsistema que falhou. A Figura 4.1.3 mostra o exemplo de como ficou o modelo da planilha de falhas, já com os dados estratificados do relatório da Produção e do REAM.

Figura 4.1.3 - Modelo da Planilha de Dados das Guias de Coque

Grupo	#	Ocorrência	Mês	Data	Início	Fim	Duração	Subsistema
GC	3	03:10 às 08:50h - Guia de Coque 03 parado em frente ao Forno 78, devido colisão da coifa do sistema de despoeiramento com a estrutura metálica (provavelmente buckstay) da Bateria. Neste período ficamos com a operação do conjunto térmico 02 parada.	Jan	01/jan	1/1/16 3:10	1/1/16 8:50	5:40:00	Sist Despoeiramento
GC	3	08:50 às 10:10h - Guia de Coque 03 parado para manutenção corretiva.	Jan	01/jan	1/1/16 8:50	1/1/16 10:10	1:20:00	Sist Despoeiramento
GC	2	13:40 às 14:40h - Guia de Coque 02 parado para retirada das rodas guias da barra de segurança.	Jan	01/jan	1/1/16 13:40	1/1/16 14:40	1:00:00	Translação
GC	3	13:45 às 16:30h - Guia de Coque 03 parado para testes eletromecânicos da coifa e para normalizar a trava da grade.	Jan	01/jan	1/1/16 13:45	1/1/16 16:30	2:45:00	Grade
GC	3	13:15 às 19:00h - Guia de Coque 03 parado para ajustes na coifa do sistema de depoeiramento.	Jan	02/jan	2/1/16 13:15	2/1/16 19:00	5:45:00	Sist Despoeiramento
GC	2	19:10 às 20:00h - Guia de Coque 02 parado para normalizar o sistema de ar condicionado da sala elétrica.	Jan	02/jan	2/1/16 19:10	2/1/16 20:00	0:50:00	Refrigeração
GC	2	22:00 às 23:10h - Guia de Coque 02 parado para conclusão de reparo no sistema de ar condicionado da sala elétrica (troca do pressostato de óleo do compressor).	Jan	02/jan	2/1/16 22:00	2/1/16 23:10	1:10:00	Refrigeração

Fonte: autor (2017)

Para coletar os dados, foram levantadas todas as informações no período de Janeiro a Julho de 2016.

4.2 INDICADOR DE CONFIABILIDADE

As Guias de Coque não demandam operação em regime de 24h, pois o sistema de produção foi concebido para que duas máquinas fossem capazes de atender a capacidade de produção da planta.

Pensando em um indicador de confiabilidade que não fosse dependente do tempo, o ideal é analisar desempenho, ou taxa de crescimento da Confiabilidade, conforme a produção de cada máquina. O “produto” das Guias de Coque pode ser considerado o ciclo de desenformamento.

No sistema Informatizado de processo da Coqueria (PROCON) é possível identificar diariamente, ou mensalmente, a quantidade de desenformamentos feitos por cada máquina. Desta forma, o Índice de Confiabilidade das máquinas poderá ser o MTBF, mas utilizando o ciclo de desenformamento como unidade de desempenho. Para este trabalho, vamos denominar *MCBF* (“*Mean Cycles Between Failure*”) e será calculado conforme fórmula 4.2.1:

Fórmula 4.2.1 - Cálculo do MTBF por ciclos de Desenformamentos

$$\text{MCBF} = \text{Número de fornos desenformados} / \text{Número de falhas}$$

Fonte: autor (2017)

As Tabelas 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 mostram como ficou o MCBF de cada Guia de Coque no período de coleta de dados.

Tabela 4.2.1 - MCBF da GC 1

Equip	Mês	Desenformamentos	Falhas	MCBF Mensal
GC 1	jan/16	1.147	8	143
	fev/16	1.444	18	80
	mar/16	1.288	22	59
	abr/16	1.346	18	75
	mai/16	1.537	15	102
	jun/16	1.525	12	127
	jul/16	1.469	14	105

Fonte: autor (2017)

Tabela 4.2.2 - MCBF da GC 2

Equip	Mês	Desenformamentos	Falhas	MCBF Mensal
GC 2	jan/16	2.091	16	131
	fev/16	1.811	8	226
	mar/16	1.820	13	140
	abr/16	1.575	8	197
	mai/16	1.537	11	140
	jun/16	1.525	6	254
	jul/16	1.469	6	245

Fonte: autor (2017)

Tabela 4.2.3 - MCBF da GC 3

Equip	Mês	Desenformamentos	Falhas	MCBF Mensal
GC 3	jan/16	2.359	16	147
	fev/16	1.979	10	198
	mar/16	2.071	14	148
	abr/16	1.927	11	175
	mai/16	1.537	10	154
	jun/16	1.525	13	117
	jul/16	1.469	13	113

Fonte – Autor (2017)

Analisando as Tabelas 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3, identifica-se que a melhor desempenho entre as GC's foi alcançada pela GC 2 em junho de 2016 com MCBF de 254 desenformamentos. Na Tabela 4.2.4 foi feito um ranking dos melhores resultados do MCBF das GC's.

Tabela 4.2.4 - Ranking de MCBF das GC's

Ranking	Equip	MCBF Mensal
1º	GC 2	254
2º	GC 2	245
3º	GC 2	226
4º	GC 3	198
5º	GC 2	197
6º	GC 3	175
7º	GC 3	154
8º	GC 3	148
9º	GC 3	147
10º	GC 1	143
11º	GC 2	140
12º	GC 2	140
13º	GC 2	131
14º	GC 1	127
15º	GC 3	117
16º	GC 3	113
17º	GC 1	105
18º	GC 1	102
19º	GC 1	80
20º	GC 1	75
21º	GC 1	59

Fonte: Autor (2017)

Os resultados mostram que a GC 2 obteve os 3 melhores MCBF, e ainda atingiu os quatro melhores resultados entre os cinco primeiros. Por outro lado, a GC 1 apresentou os cinco piores resultados.

4.3 CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE

Após a coleta de dados e criação do novo indicador de Confiabilidade, os próximos passos serão calcular a Taxa de crescimento de Confiabilidade de cada Máquina, identificar o subsistema crítico de cada uma e então calcular a Taxa de Crescimento da Confiabilidade de cada Subsistema crítico. Para este trabalho utilizamos o RGA.

4.3.1 Dados Agrupados de Falhas por Máquina

Tratando de sistemas reparáveis no qual não temos o momento exato da falha, utilizaremos a condição de dados agrupados de falhas. A entrada dos dados agrupados no RGA foi realizada conforme Tabela 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3.

Tabela 4.3.1 - Dados agrupados da GC 1 para entrada no RGA.

Equip	Mês	Falhas	Produção Acumulada
GC 1	jan/16	8	1.147
	fev/16	18	2.591
	mar/16	22	3.879
	abr/16	18	5.225
	mai/16	15	6.762
	jun/16	12	8.287
	jul/16	14	9.756

Fonte: Autor (2017).

Tabela 4.3.2 - Dados agrupados da GC 2 para entrada no RGA.

Equip	Mês	Falhas	Produção Acumulada
GC 2	jan/16	16	2.091
	fev/16	8	3.902
	mar/16	13	5.722
	abr/16	8	7.297
	mai/16	11	8.834
	jun/16	6	10.359
	jul/16	6	11.828

Fonte: Autor (2017).

Tabela 4.3.3 - Dados agrupados da GC 3 para entrada no RGA.

Equip	Mês	Falhas	Produção Acumulada
GC 3	jan/16	16	2.359
	fev/16	10	4.338
	mar/16	14	6.409
	abr/16	11	8.336
	mai/16	10	9.873
	jun/16	13	11.398
	jul/16	13	12.867

Fonte: Autor (2017).

Com os dados levantados, utilizamos o RGA para calcular a taxa de crescimento de confiabilidade por máquina e por Subsistema de cada máquina.

Utilizamos os dados da GC 1 da Tabela 4.3.1 no RGA com modelo Crow-AMSAA e obtivemos os resultados mostrados no Quadro 4.3.1. Neste Quadro temos a Planilha de dados, a Entrada de dados no RGA, os resultados da aplicação do modelo Crow-AMSAA e o gráfico de MTBF x Ciclo da GC 1.

Quadro 4.3.1 - Entrada de dados e Resultados do RGA para GC 1

Equip	Mês	Falhas	Produção Acumulada
GC 1	jan/16	8	1.147
	fev/16	18	2.591
	mar/16	22	3.879
	abr/16	18	5.225
	mai/16	15	6.762
	jun/16	12	8.287
	jul/16	14	9.756

Planilha de dados

Falhas em Intervalo	Produção Acumulada	Comentários
8	1.147	GC 1 - Jan a Jul 2016
18	2.591	
22	3.879	
18	5.225	
15	6.762	
12	8.287	
14	9.756	

Entrada de Dados no RGA

Modelo

Crow-AMSAA (NHPP)

Opções de Cálculo

Padrão

Alteração da Inclinação

Desenvolvimento

Tempos de Falha Agrupados

MLE Crow

Falha Encerrada

Resultados

Parâmetros

Beta 1,019280

Lambda (cic) 0,009188

Taxa de Crescimento -0,019280

DMTBF (cic) 89,452959

DFI 0,011179

Testes Estatísticos

Nível de Significância 0,1

Qui-Quadrado Passou

Outras

Tempo Final (cic): 9756,000000

Resultados do Modelo Crow-AMSAA

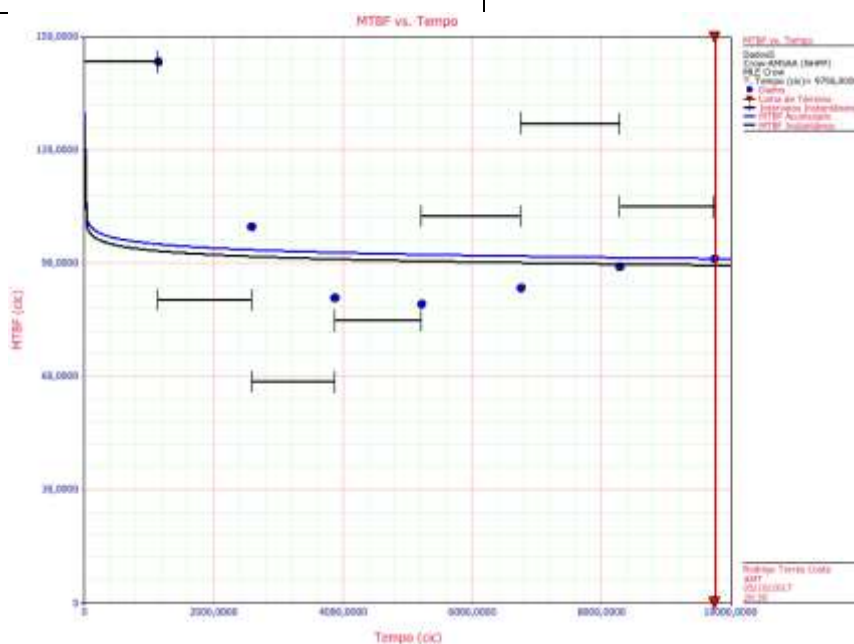


Gráfico MTBF x Ciclo da GC 1

Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da GC 1 apresentam que o *Demonstrated Meantime Between Failure (DMTBF)*, que é o *Meantime Between Failure (MTBF)* instantâneo em 9.756 ciclos, atingiu 89 desenformamentos, e que a máquina tem taxa de crescimento

negativa (-0,019), o que significa que a Confiabilidade está decrescendo com o tempo.

Utilizamos os dados da GC 2 da Tabela 4.3.2 no RGA com modelo Crow-AMSAA e obtivemos os resultados mostrados no Quadro 4.3.2. Neste Quadro temos a Planilha de dados, a Entrada de dados no RGA, os resultados da aplicação do modelo Crow-AMSAA e o gráfico de MTBF x Ciclo da GC 2.

Quadro 4.3.2 - Entrada de dados e Resultados do RGA para GC 2

Equip	Mês	Falhas	Produção Acumulada
GC 2	jan/16	16	2.091
	fev/16	8	3.902
	mar/16	13	5.722
	abr/16	8	7.297
	mai/16	11	8.834
	jun/16	6	10.359
	jul/16	6	11.828

Planilha de dados

Falhas em Intervalo	Produção Acumulada	Comentários
16	2.091	GC 2 - Jan a Jul 2016
8	3.902	
13	5.722	
8	7.297	
11	8.834	
6	10.359	
6	11.828	

Entrada de Dados no RGA

Modelo i

Crow-AMSAA (NHPP) ▼

Opções de Cálculo i

Padrão

Alteração da Inclinação

Desenvolvimento

Tempos de Falha Agrupados

MLE Crow

Falha Encerrada ...

Resultados

Parâmetros 🔍

Beta	0,847494
Lambda (cic)	0,024029
Taxa de Crescimento	0,152506
DMTBF (cic)	205,241745
DFI	0,004872

Testes Estatísticos

Nível de Significância	0,1
Qui-Quadrado	Passou

Outras

Tempo Final (cic): 11828,000000

Resultados do Modelo Crow-AMSAA

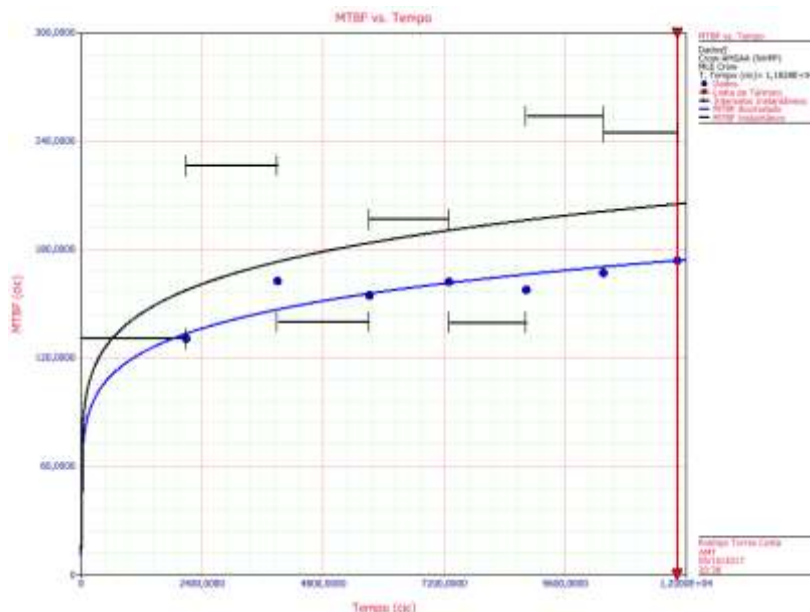


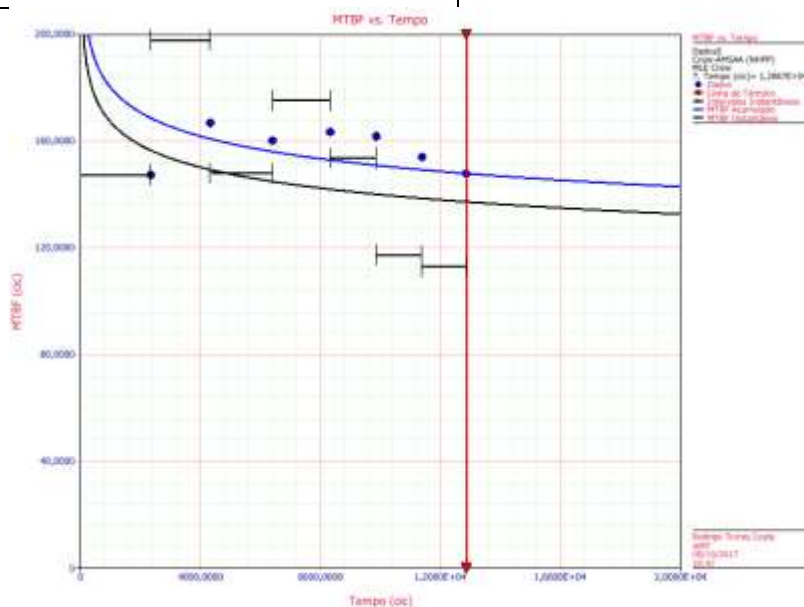
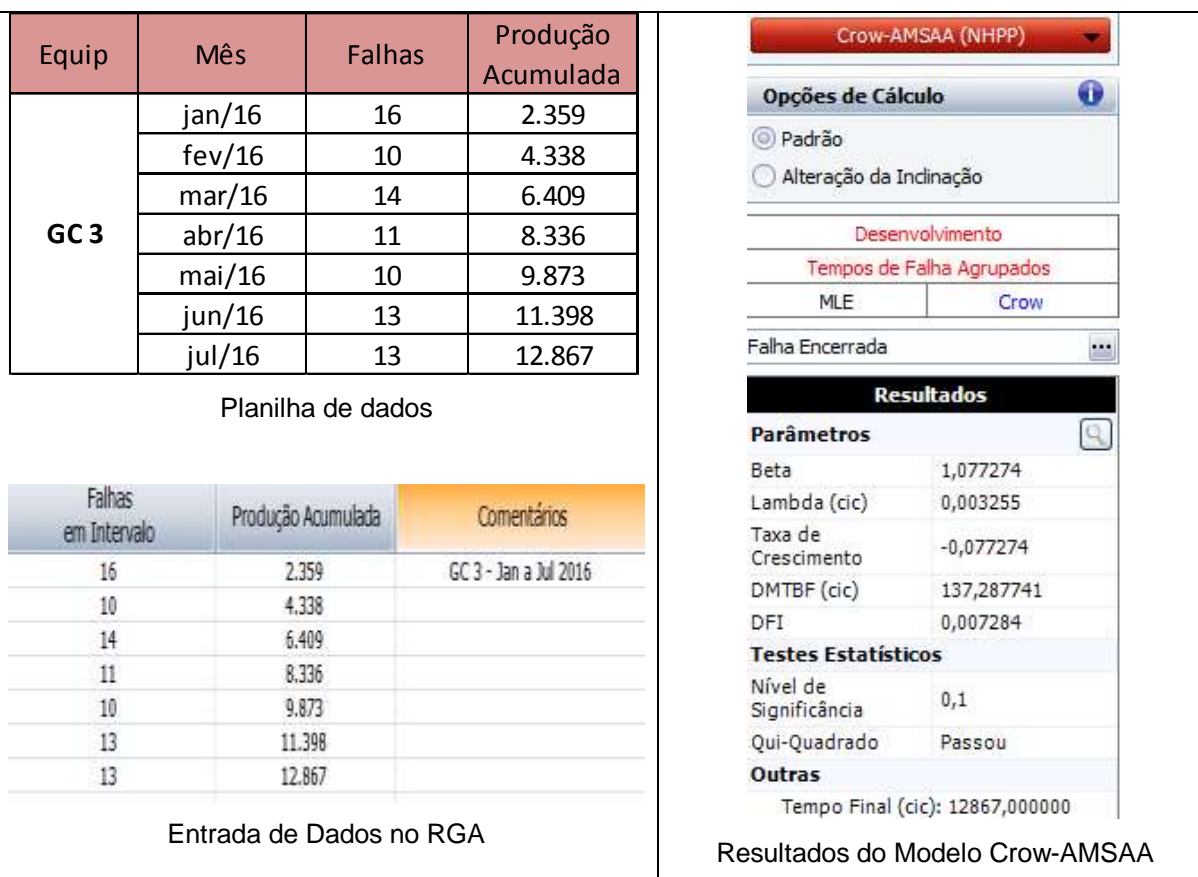
Gráfico MTBF x Tempo da GC 2

Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da GC 2 apresentam que o DMTBF (MTBF em 11.828 ciclos) é de 204 desenformamentos e que a máquina tem taxa de crescimento positiva (0,152), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo.

Utilizamos os dados da GC 3 da Tabela 4.3.3 no RGA e obtivemos os resultados mostrados no Quadro 4.3.3. Neste Quadro temos a Planilha de dados, a Entrada de dados no RGA, os resultados da aplicação do modelo Crow-AMSAA e o gráfico de MTBF x Ciclo da GC 3.

Quadro 4.3.3 - Entrada de dados e Resultados do RGA para GC 3



Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da GC 3 apresenta que o DMTBF (MTBF em 12.867 ciclos) é de 137 desenformamentos e que a máquina tem taxa de crescimento positiva (-0,077), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo.

4.3.2 Dados Agrupados de Falhas por Subsistemas das Máquinas

Na organização dos dados de falha, cada falha foi direcionada a um subsistema da máquina. Os itens funcionais de cada subsistema foram considerados baseados na localização ou na respectiva função principal. Os subsistemas são:

- **Alimentação elétrica geral:** onde inclui os itens funcionais do tipo pantógrafos, barramento elétrico, cabo de alimentação do transformador, circuito elétrico em geral, etc.
- **Cabine Hidráulica:** inclui os itens funcionais que ficam localizados dentro da cabine de comando hidráulico, tipo válvulas direcionais, bombas, manômetros, etc.
- **Cabine Operador:** inclui os itens funcionais que ficam localizados dentro da cabine do operador, incluso sua estrutura, do tipo, portas, vidros, poltrona, etc.
- **Extratora:** inclui todos os itens funcionais localizados na extratora de portas, tipo cilindros hidráulicos, sensores, tramelador, parafusos, tirantes, rolamentos, rodas, etc.
- **Grade:** inclui todos os itens funcionais localizados na grade, tipo trilhos, rodas, *cardan*, redutor, freio, sensores, pinhão de acionamento, trava, inversores, estrutura e vigas da grade, etc.
- **Iluminação:** inclui as lâmpadas, refletores e circuito de iluminação da máquina.
- **Limpador de *Door frame*:** inclui todos os itens funcionais localizados no Limpador de *Door frame*, tipo cilindros, sensores, facas, escovas, raspadores, etc.
- **Sistema de Refrigeração:** inclui todos os itens funcionais do sistema de ar condicionado, tipo condensador, evaporador, termostato, etc.
- **Sistema de Comunicação:** inclui os itens funcionais do tipo rádio, antena, etc.
- **Sistema de Controle:** inclui os itens funcionais do tipo IHM, nobreaks, PLC, encoders, etc.

- **Sistema de Despoeiramento:** inclui os itens funcionais do tipo *dumpers*, correias de selagem, coifas, cilindros da coifa, etc.
- **Sistema de Translação:** são os itens funcionais do tipo *trucks*, rodeiros, rodas, manete, *cardan*, etc.

A tabela 4.3.4 mostra a distribuição de falhas por subsistema de cada máquina.

Tabela 4.3.4 - Distribuição de falhas por Subsistema

Equipamento/Subsistema	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Total
Guias de Coque	40	36	49	37	36	31	33	262
GC 1	8	18	22	18	15	12	14	107
Alimentação elet		1		1				2
Cabine Hidráulica	1	1			1		1	4
Circuito elétrico			1					1
Extratora	3	2	4	3	3	3	4	22
Grade		12	8	11	9	4	6	50
Limp <i>Door frame</i>	2	1			2	1	2	8
Sist de Controle	1		1			2		4
Sist Despoeiramento	1		7	3		1		12
Sist Translação		1	1			1	1	4
GC 2	16	8	13	8	11	6	6	68
Alimentação elet				2	1			3
Cabine Hidráulica	4		2	2			2	10
Extratora	2	1	7		4	2	1	17
Grade	1	2	2		3			8
Sist Refrigeração	2	1					2	5
Sist de Comunicação					1	1		2
Sist de Controle	2	3	1	2	2	3	1	14
Sist Despoeiramento	3		1	1				5
Sist Translação	2	1		1				4
GC 3	16	10	14	11	10	13	13	87
Alimentação elet geral				1			1	2
Cabine Hidráulica	2					1	2	5
Cabine Operador			1				1	2

Extratora	5	6	8	4	1	5	3	32
Grade	2	2		2	2	5	2	15
Iluminação				2	1		1	4
Limp. <i>Door frame</i>	1	1						2
Sist de Controle	1	1	1	1	4	1		9
Sist Despoeiramento	5		3		2	1	1	12
Sist Translação			1	1			2	4
Total Geral	40	36	49	37	36	31	33	262

Fonte: autor (2017)

Os resultados mostram que a GC 1 obteve a maior quantidade de falhas e, por outro lado, a GC 2 obteve a menor quantidade de falhas no período. O subsistema que mais falhou na GC 1 foi a Grade, e na GC 2 e GC 3 foi a Extratora. Não será calculada a taxa de crescimento da Confiabilidade de todos os subsistemas em todas as máquinas. Serão considerados os subsistemas até que o percentual de falhas acumulado seja maior que 80%. Estes serão os Subsistemas críticos. Nas Tabelas 4.3.5, 4.3.6 e 4.3.7 estão apresentados os resultados dos subsistemas críticos, que estão destacados em vermelho.

Tabela 4.3.5 - Indicação dos Subsistemas críticos da GC 1.

Subsistema	Falhas	% Falhas
Grade	50	47%
Extratora	22	21%
Sist Despoeiramento	12	11%
Limpador de <i>Door frame</i>	8	7%
Cabine Hidráulica	4	4%
Sist de Controle	4	4%
Sist Translação	4	4%
Alimentação elet geral	2	2%
Circuito elétrico	1	1%

Fonte: autor (2017)

Os Subsistemas críticos da GC 1 são a Grade, a Extratora, o Sistema de Despoeiramento e o Limpador de *Door frame*, que somados apresentam 86% das falhas.

Tabela 4.3.6 - Indicação dos Subsistemas críticos da GC 2

Subsistema	Falhas	% Falhas
Extratora	17	25%
Sist de Controle	14	21%
Cabine Hidráulica	10	15%
Grade	8	12%
Sist Refrigeração	5	7%
Sist Despoeiramento	5	7%
Sist Translação	4	6%
Alimentação elet geral	3	4%
Sist de Comunicação	2	3%

Fonte: autor (2017)

Os Subsistemas críticos da GC 2 são a Extratora, Sistema de Controle, Cabine Hidráulica, Grade, o Sistema de Refrigeração e o Sistema de Despoeiramento, que somados apresentam 87% das falhas.

Tabela 4.3.7 - Indicação dos Subsistemas críticos da GC 3

Subsistema	Falhas	% Falhas
Extratora	32	37%
Grade	15	17%
Sist Despoeiramento	12	14%
Sist de Controle	9	10%
Cabine Hidráulica	5	6%
Iluminação	4	5%
Sist Translação	4	5%
Alimentação elet geral	2	2%
Cabine Operador	2	2%
Limpador de <i>Door frame</i>	2	2%

Fonte: autor (2017).

Os Subsistemas críticos da GC 3 são a Extratora, Grade, Sistema de Despoeiramento, Sistema de Controle e Cabine Hidráulica, que somados apresentam 84% das falhas.

Utilizaremos os dados agrupados de falhas e de produção acumulada no RGA para identificar a taxa de crescimento de Confiabilidade de cada Subsistema crítico. Na Tabela 4.3.8 temos os dados para os Subsistemas críticos da GC 1.

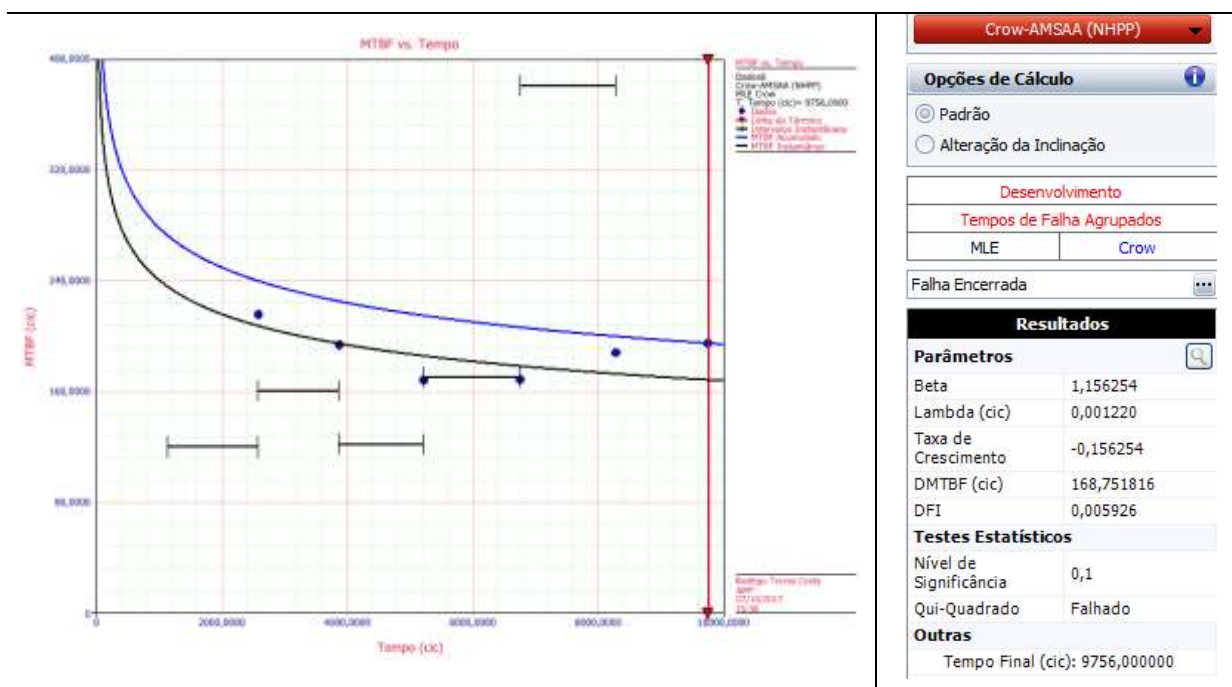
Tabela 4.3.8 - Falhas dos Subsistemas críticos da GC 1

GC 1	Jan	fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Produção Acumulada	1.147	2.591	3.879	5.225	6.762	8.287	9.756
Falhas Grade	0	12	8	11	9	4	6
Falhas Extratora	3	2	4	3	3	3	4
Falhas Sist Despoeiramento	1	0	7	3	0	1	0
Falhas Limp Door Frame	2	1	0	0	2	1	2

Fonte: autor (2017)

Na Figura 4.3.1 abaixo temos os resultados da Grade do GC 1 no RGA.

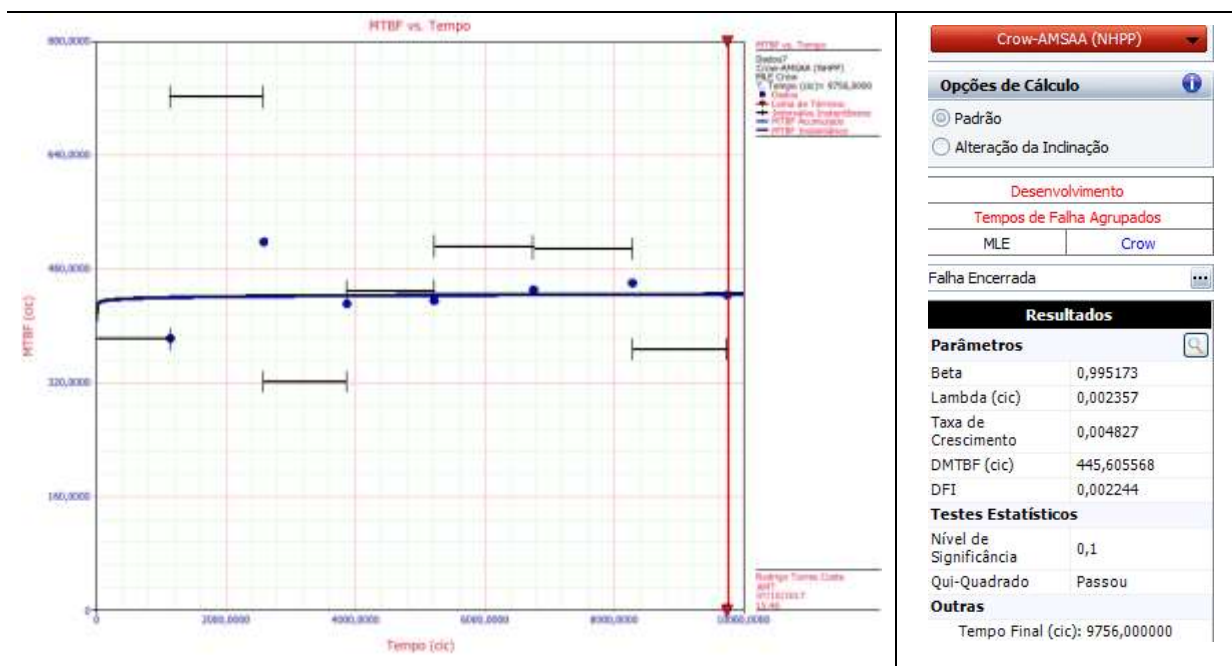
Figura 4.3.1 - Falhas da Grade do GC 1



Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da grade do GC 1 apresentam que o DMTBF (MTBF em 9.756 ciclos) é de 168 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento negativa (-0,156), que significa que a Confiabilidade está decrescendo com o tempo. Na Figura 4.3.2 abaixo temos os resultados da Extratora do GC 1 no RGA.

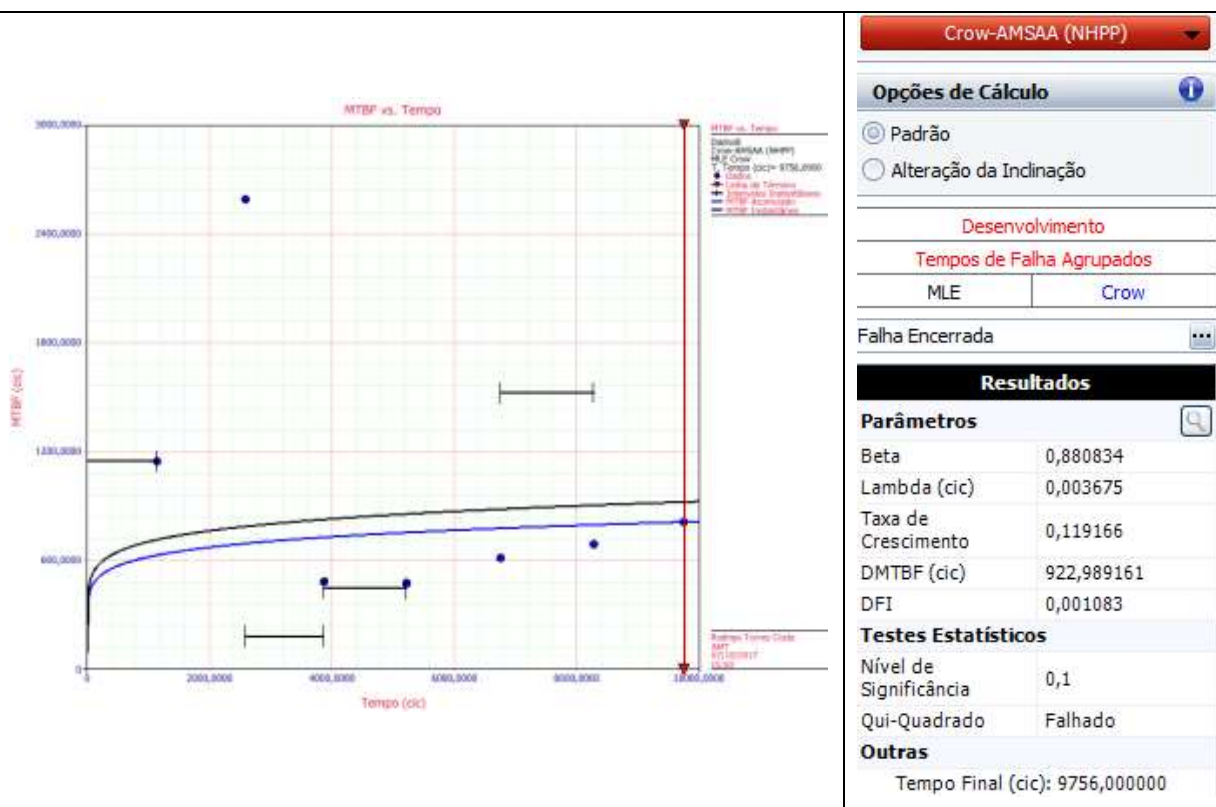
Figura 4.3.2 - Falhas da Extratora do GC 1



Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da extratora do GC 1 apresentam que o DMTBF (MTBF em 9.756 ciclos) é de 445 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento positiva (0,0048), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo. Na Figura 4.3.3 abaixo temos os resultados do Sistema de Despoeiramento do GC 1 no RGA.

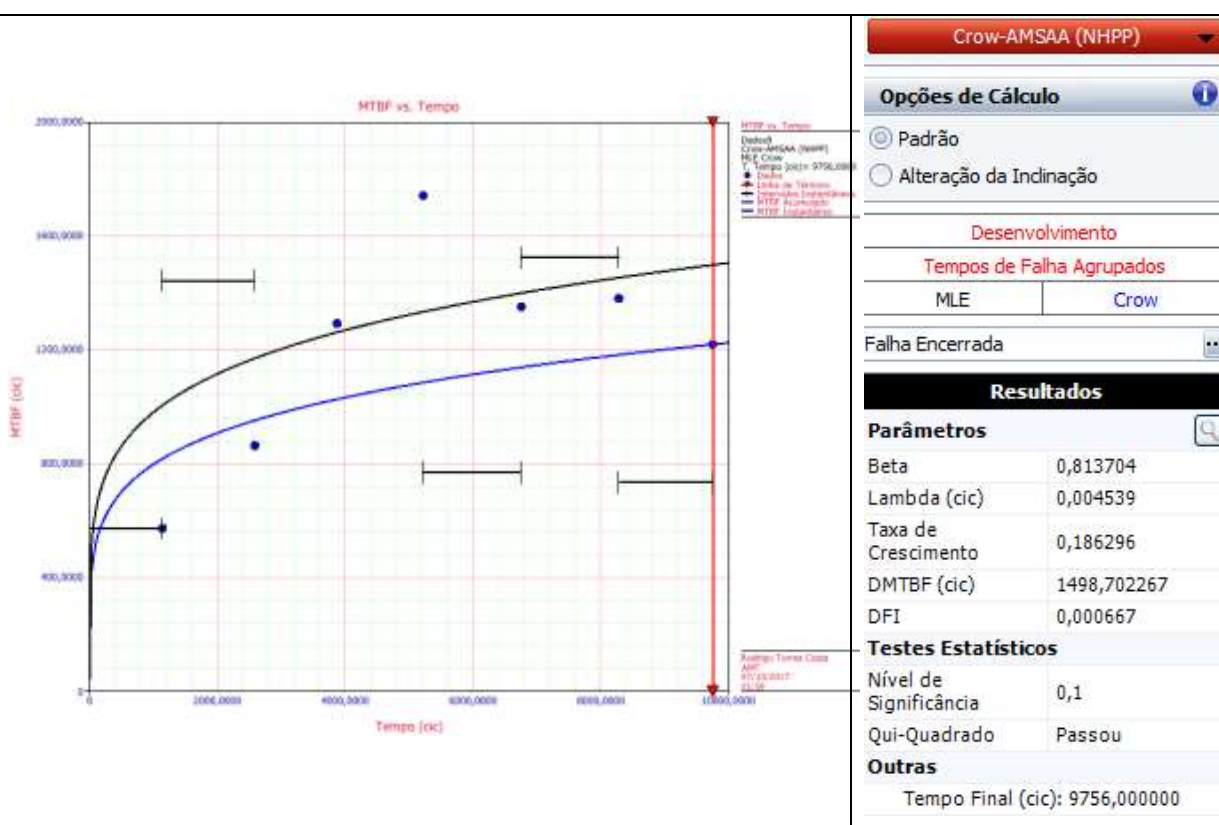
Figura 4.3.3 - Falhas do Sist Despoeiramento do GC 1



Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados do Sistema de Despoeiramento do GC 1 apresentam que o DMTBF (MTBF em 9.756 ciclos) é de 922 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento positiva (0,119), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo.

Na Figura 4.3.4 temos os resultados do Limpador de *Door frame* do GC 1 no RGA.

Figura 4.3.4 - Falhas do Limpador de *Door frame* da GC 1

Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados do Limpador de *Door frame* do GC 1 apresentam que o DMTBF (MTBF em 9.756 ciclos) é de 1498 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento positiva (0,186), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo.

Na Tabela 4.3.9 temos os dados de falhas para os Subsistemas críticos da GC 2.

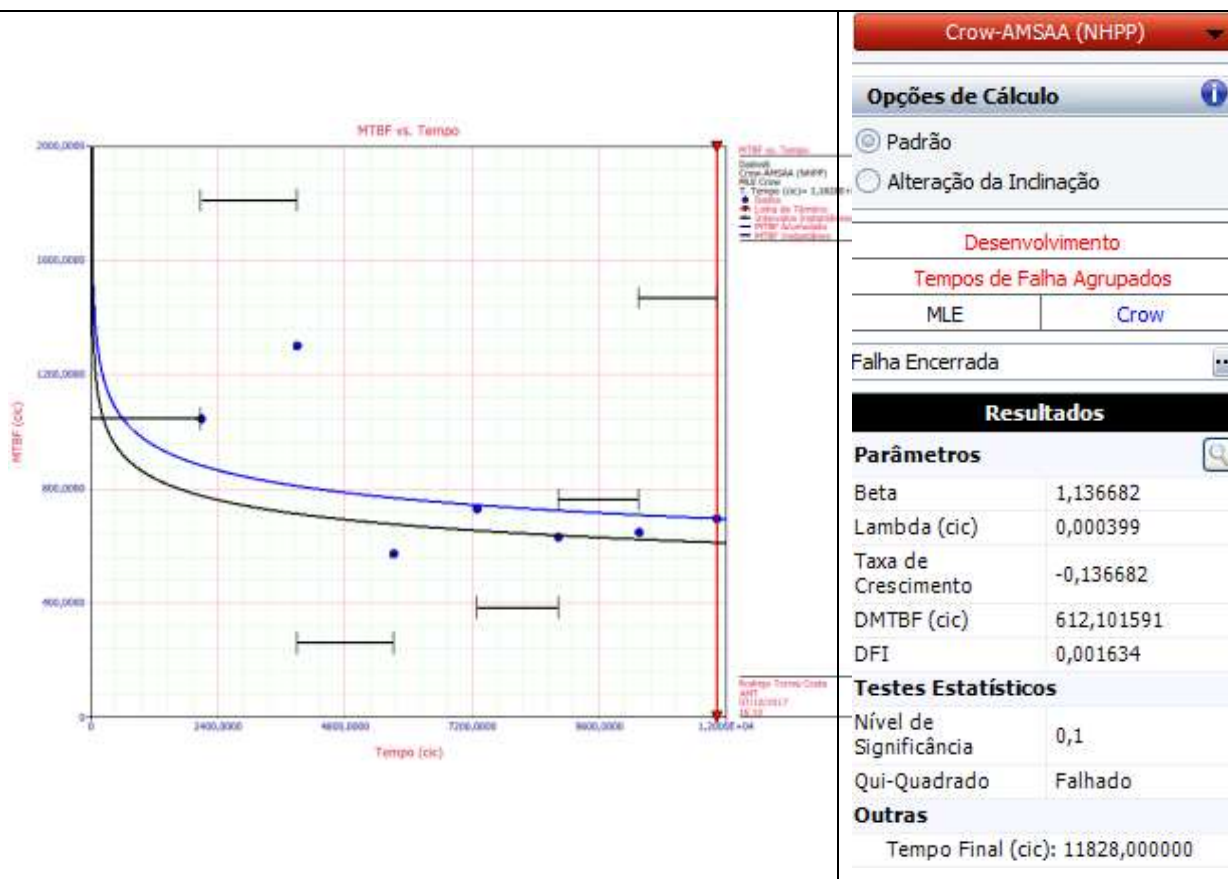
Tabela 4.3.9 - Falhas para os Subsistemas críticos da GC 2

GC 2	Jan	fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Produção Acumulada	2.091	3.902	5.722	7.297	8.834	10.359	11.828
Extratora	2	1	7	0	4	2	1
Sist Controle	2	3	1	2	2	3	1
Cabine Hidráulica	4	0	2	2	0	0	2
Grade	1	2	2	0	3	0	0
Sist Refrigeração	2	1	0	0	0	0	2
Sist Despoeiramento	3	0	1	1	0	0	0

Fonte: autor (2017)

Na Figura 4.3.5 temos os resultados da Extratora do GC 2 no RGA.

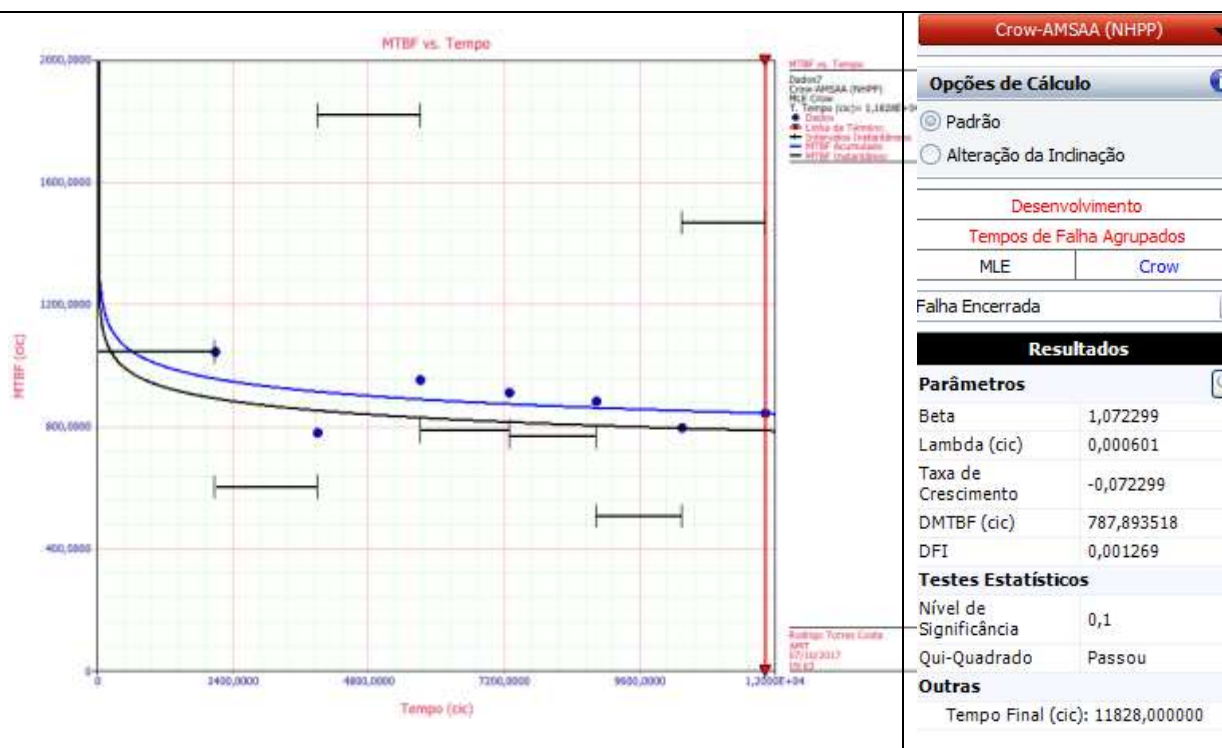
Figura 4.3.5 - Falhas na Extratora do GC 2



Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da Extratora do GC 2 apresentam que o DMTBF (MTBF em 11.828 ciclos) é de 612 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento negativa (-0,136), que significa que a Confiabilidade está decrescendo com o tempo. Na Figura 4.3.6 temos os resultados do Sistema de Controle do GC 2 no RGA.

Figura 4.3.6 - Falhas no Sist Controle da GC 2

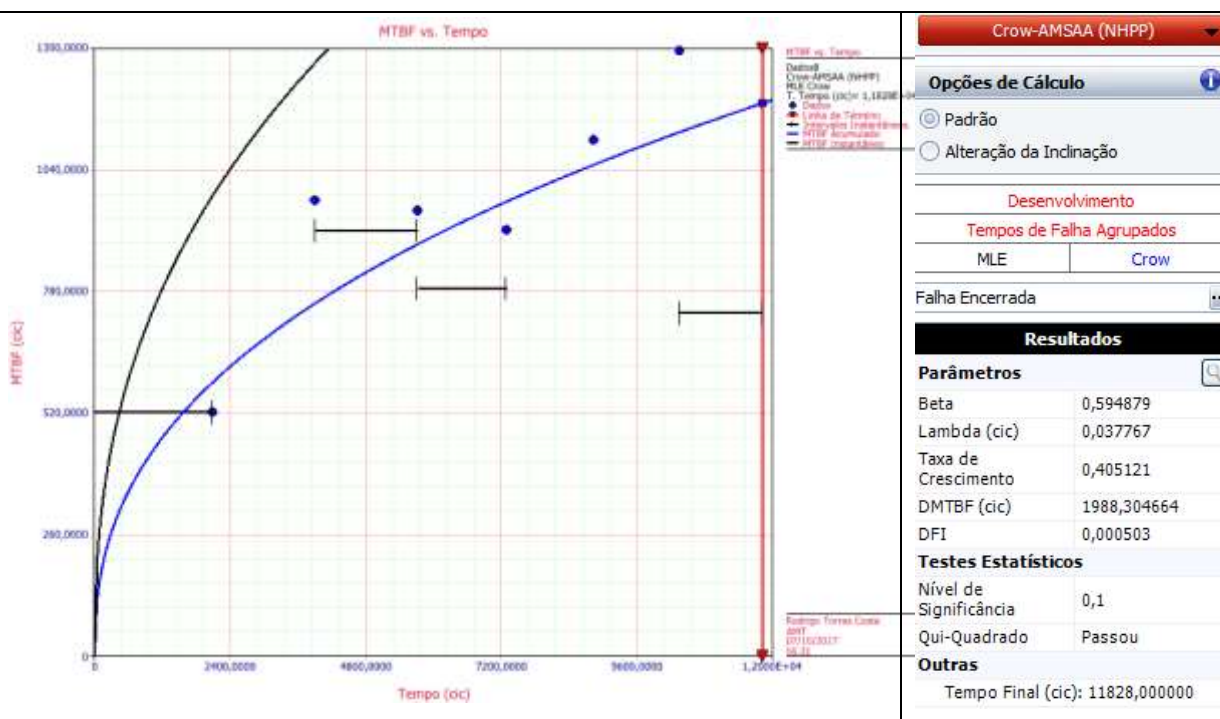


Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados do Sistema de Controle do GC 2 apresentam que o DMTBF (MTBF em 11.828 ciclos) é de 787 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento negativa (-0,072), que significa que a Confiabilidade está decrescendo com o tempo.

Na Figura 4.3.7 temos os resultados da Cabine Hidráulica do GC 2 no RGA.

Figura 4.3.7 - Falhas na Cabine Hidráulica da GC 2

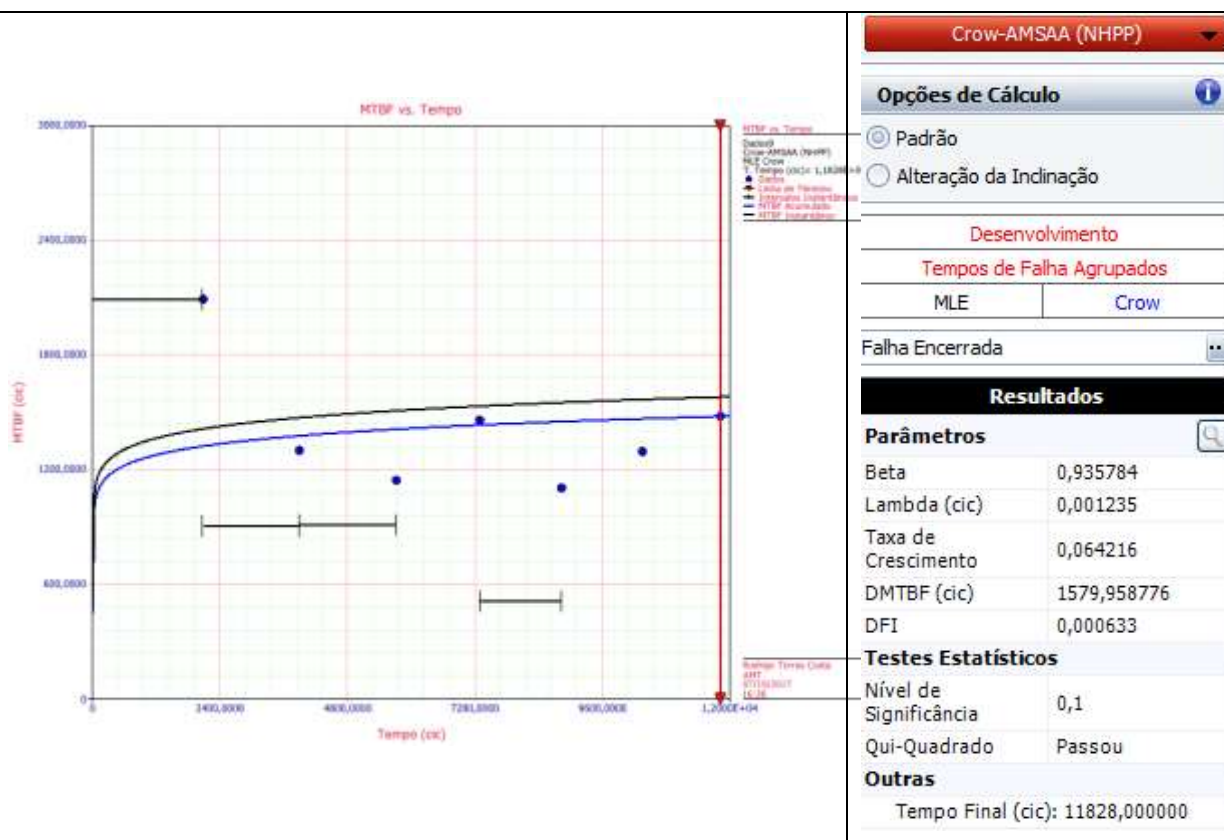


Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da Cabine Hidráulica do GC 2 apresentam que o DMTBF (MTBF em 11.828 ciclos) é de 1988 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento positiva (0,405), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo.

Na Figura 4.3.8 temos os resultados da Grade do GC 2 no RGA.

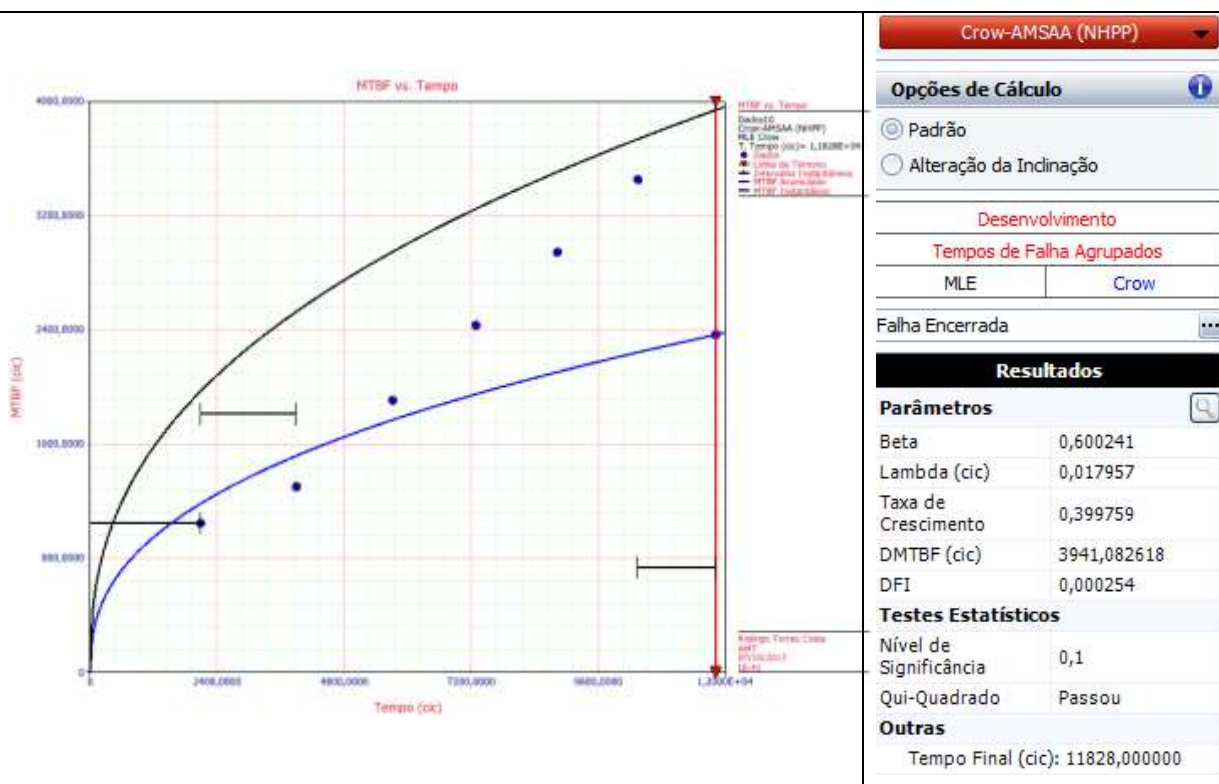
Figura 4.3.8 - Falhas na Grade do GC 2



Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da Grade do GC 2 apresentam que o DMTBF (MTBF em 11.828 ciclos) é de 1579 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento positiva (0,064), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo. Na Figura 4.3.9 temos os resultados do Sistema de Refrigeração do GC 2 no RGA.

Figura 4.3.9 - Falhas no Sist de Refrigeração da GC 2

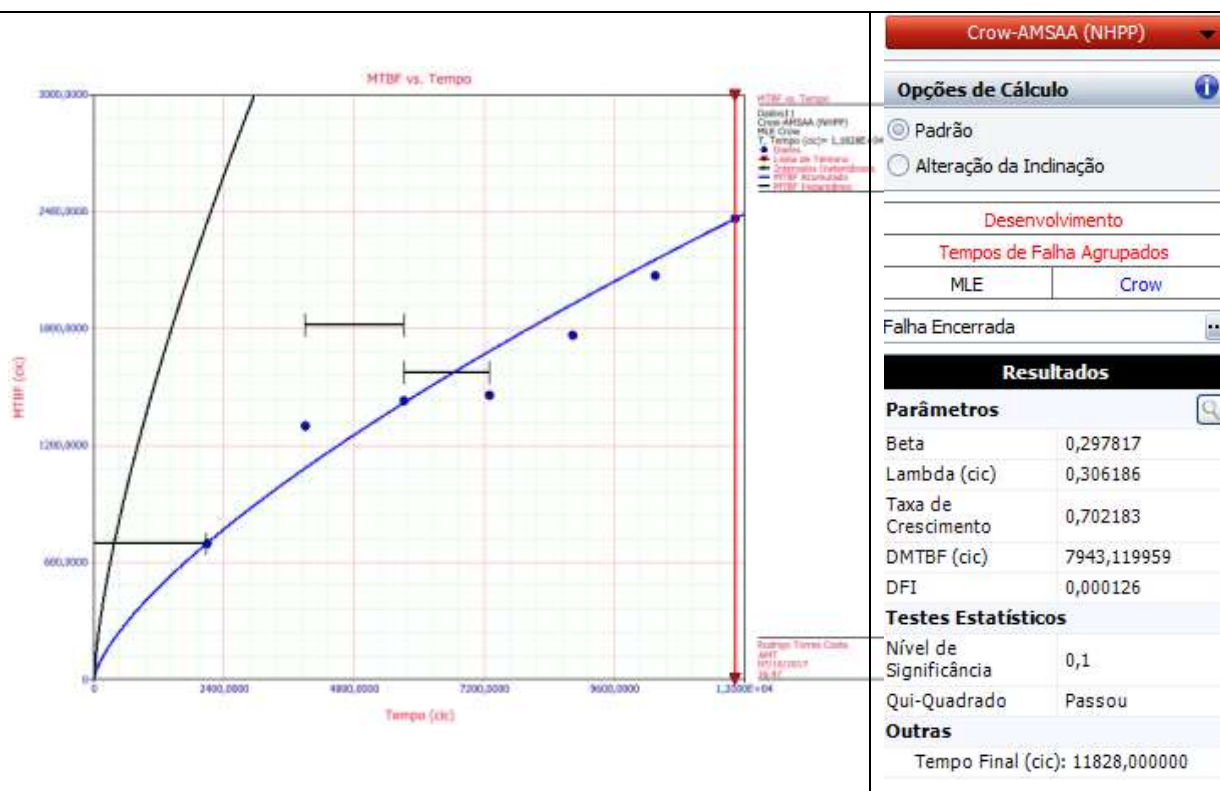


Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados do Sistema de Refrigeração do GC 2 apresentam que o DMTBF (MTBF em 11.828 ciclos) é de 3941 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento positiva (0,399), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo.

Na Figura 4.3.10 temos os resultados do Sistema de Despoeiramento do GC 2 no RGA.

Figura 4.3.10 - Falhas no Sist de Despoeiramento do GC2



Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados do Sistema de Despoeiramento do GC 2 apresentam que o DMTBF (MTBF em 11.828 ciclos) é de 7943 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento positiva (0,702), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo.

Na Tabela 4.3.10 temos os dados para as falhas dos Subsistemas críticos da GC 3.

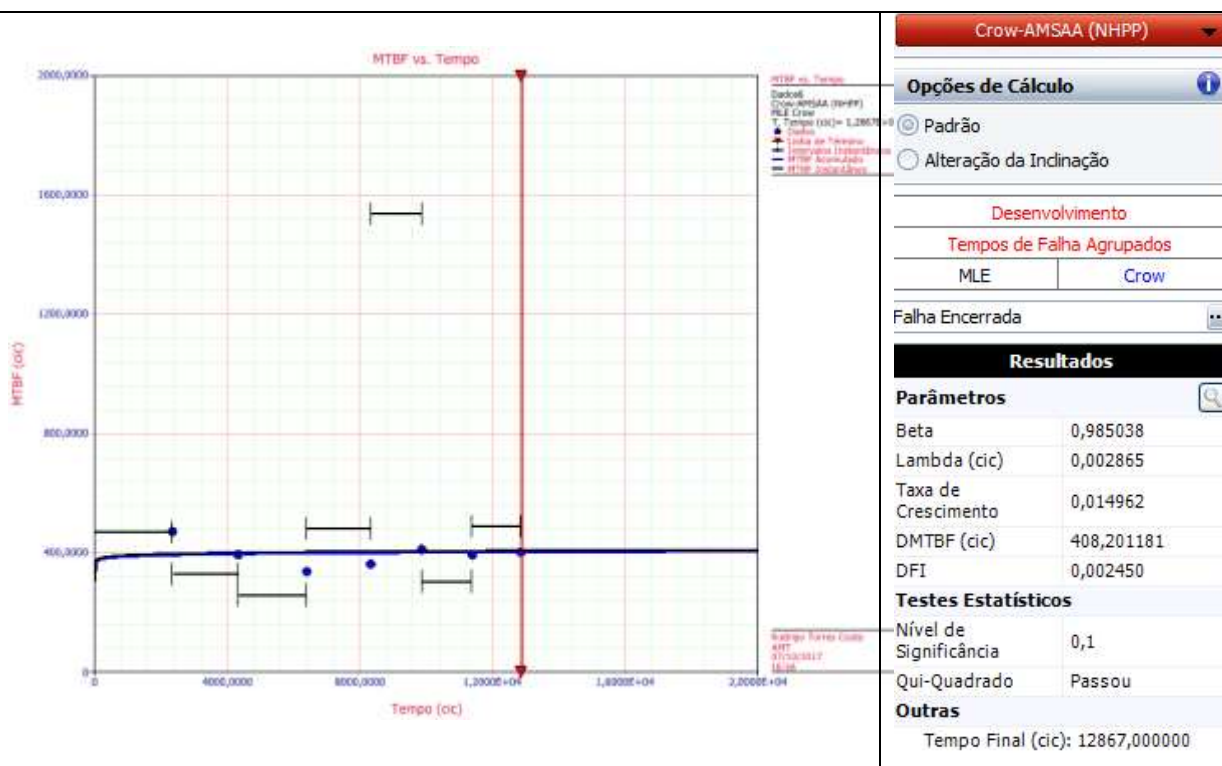
Tabela 4.3.10 - Falhas dos Subsistemas críticos da GC 3

GC 3	Jan	fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Produção Acumulada	2.359	4.338	6.409	8.336	9.873	11.398	12.867
Extratora	5	6	8	4	1	5	3
Grade	2	2	0	2	2	5	2
Sist Despoeiramento	5	0	3	0	2	1	1
Sist de Controle	1	1	1	1	4	1	0
Cabine Hidráulica	2	0	0	0	0	1	2

Fonte: autor (2017)

Na Figura 4.3.11 temos os resultados da Extratora do GC 3 no RGA.

Figura 4.3.11 - Falhas na Extratora do GC 3

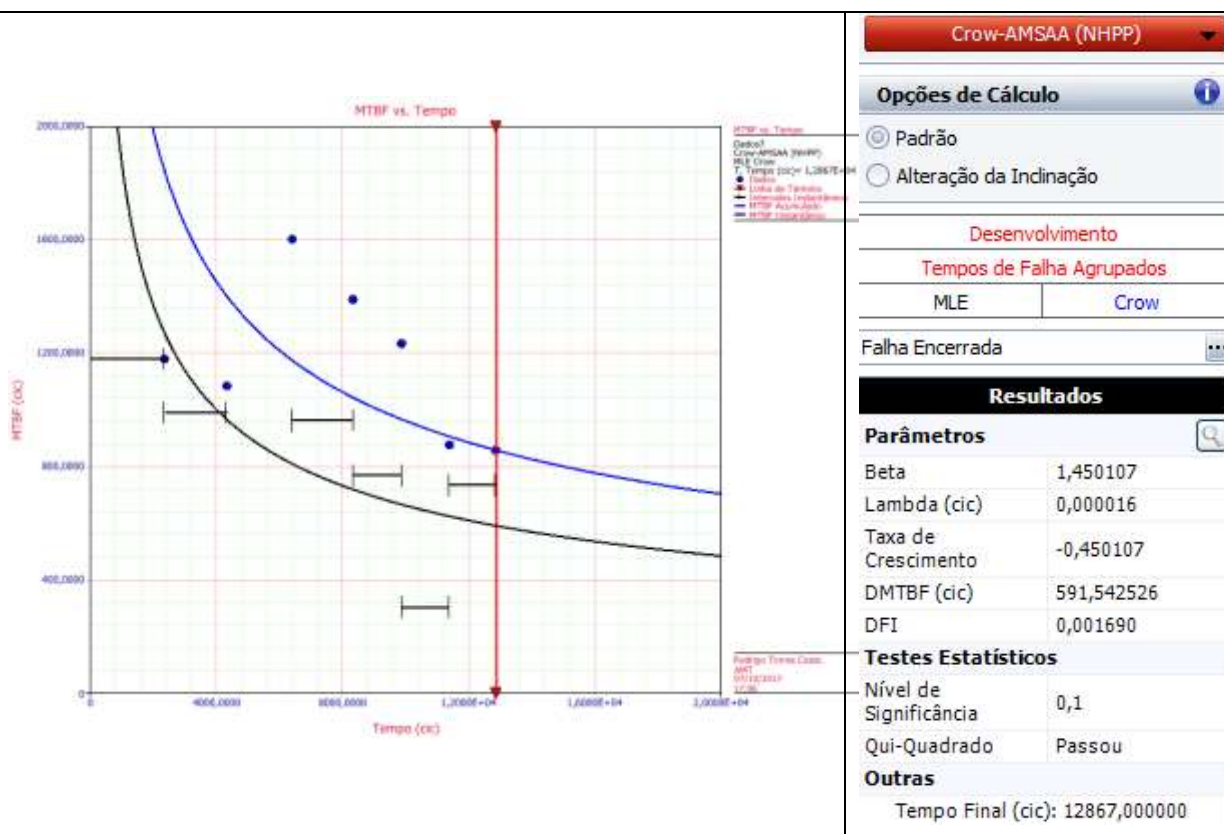


Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da Extratora do GC 3 apresentam que o DMTBF (MTBF em 12.867 ciclos) é de 408 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento positiva (0,014), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo.

Na Figura 4.3.12 abaixo temos os resultados da Grade do GC 3 no RGA.

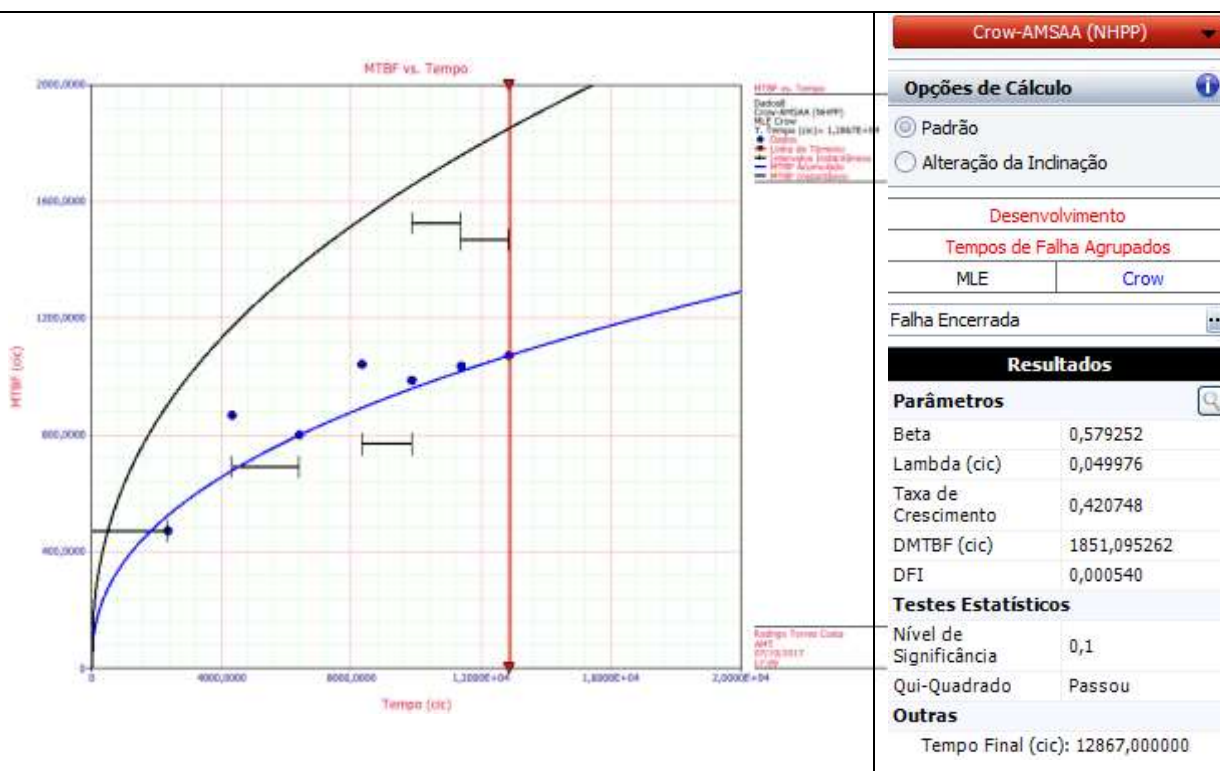
Figura 4.3.12 - Falhas na Grade do GC3



Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da Extratora do GC 3 apresentam que o DMTBF (MTBF em 12.867 ciclos) é de 591 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento negativa (-0,450), que significa que a Confiabilidade está decrescendo com o tempo. Na Figura 4.3.13 temos os resultados do Sistema de Despoeiramento do GC 3 no RGA.

Figura 4.3.13 - Falhas no Sistema de Despoeiramento do GC 3

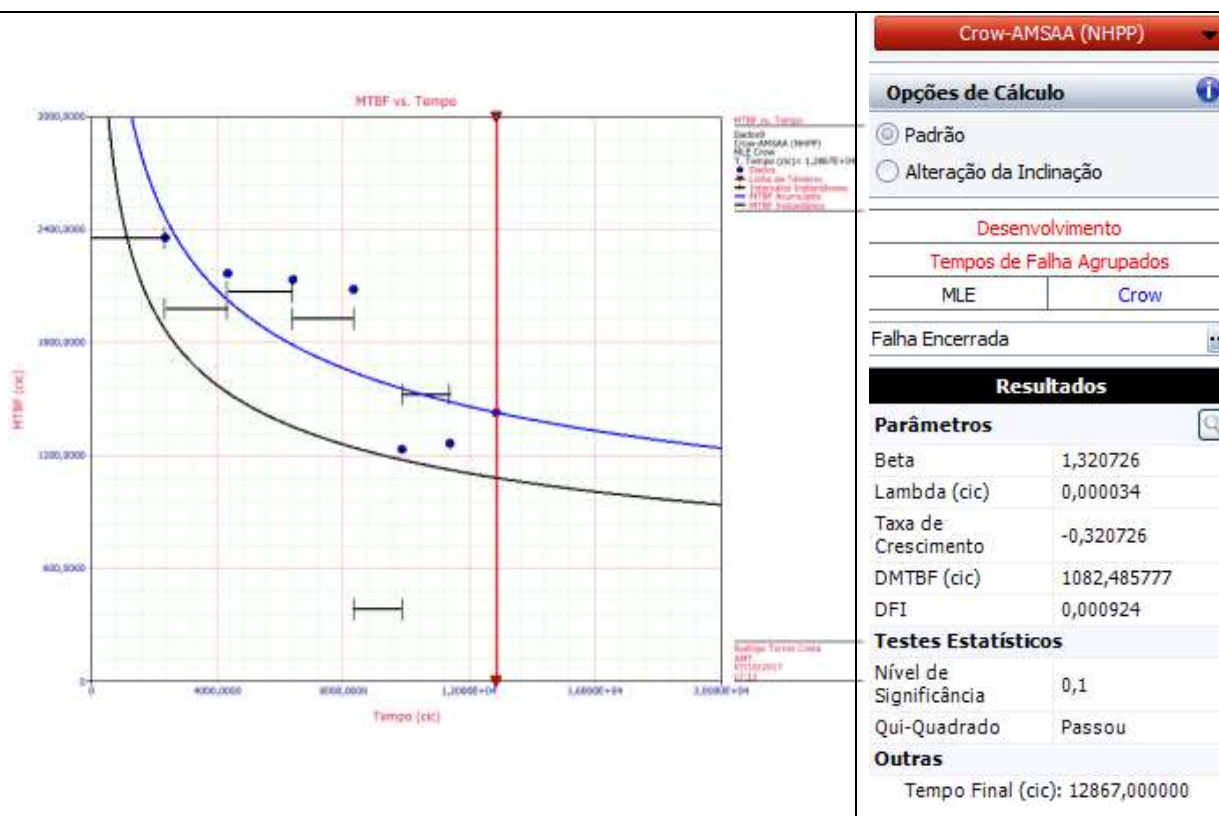


Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da Extratora do GC 3 apresentam que o DMTBF (MTBF em 12.867 ciclos) é de 1.851 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento positiva (0,420), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo.

Na Figura 4.3.14 temos os resultados do Sistema de Controle do GC 3 no RGA.

Figura 4.3.14 - Falhas no Sistema de Controle da GC 3

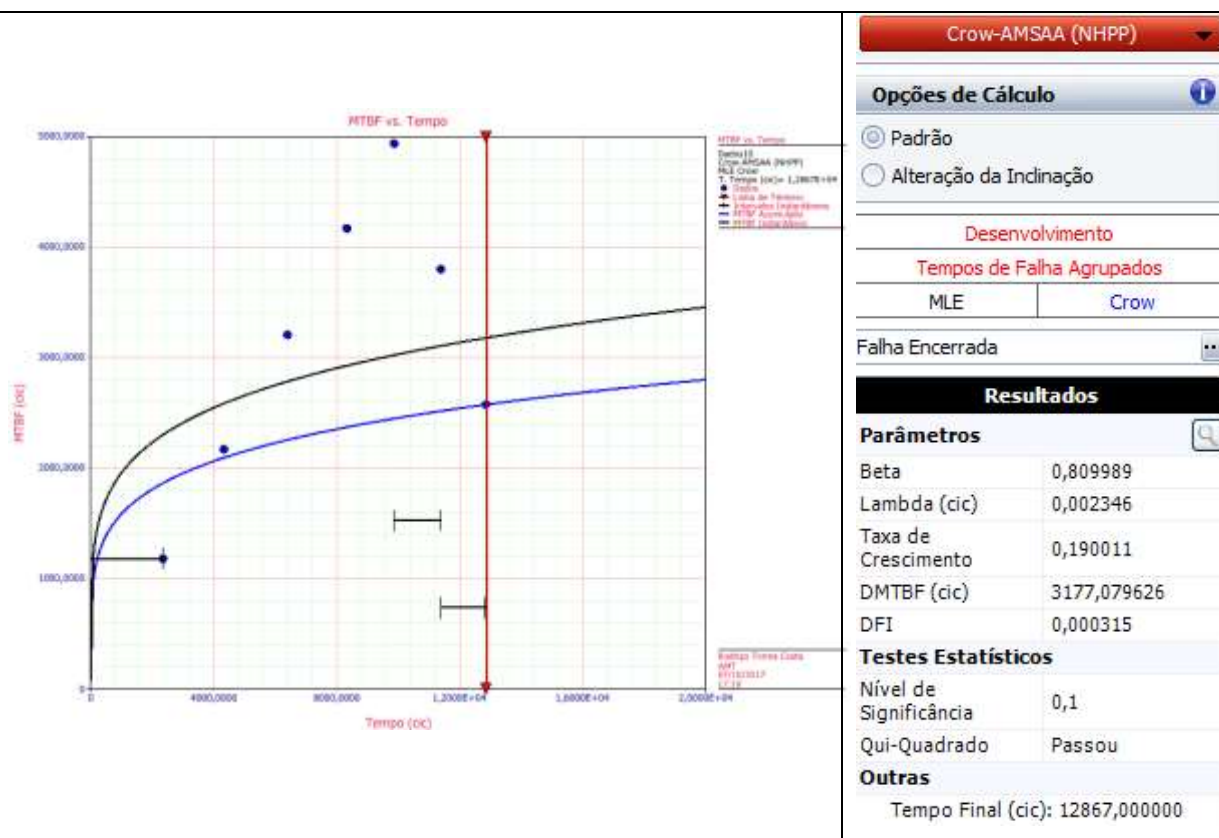


Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados do Sistema de Controle do GC 3 apresentam que o DMTBF (MTBF em 12.867 ciclos) é de 1.082 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento negativa (-0,320), que significa que a Confiabilidade está decrescendo com o tempo.

Na Figura 4.3.15 temos os resultados da Cabine Hidráulica do GC 3 no RGA.

Figura 4.3.15 - Falhas na Cabine Hidráulica do GC 3



Fonte: O autor (2017) – aplicação do software RGA, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Os resultados da Cabine Hidráulica do GC 3 apresentam que o DMTBF (MTBF em 12.867 ciclos) é de 3.177 desenformamentos e que este subsistema tem taxa de crescimento positiva (0,190), que significa que a Confiabilidade está crescendo com o tempo.

4.4 COMPARATIVO DE DESEMPENHO ENTRE AS GC'S

Diante dos dados de taxa de crescimento de confiabilidade das máquinas e de seus respectivos itens críticos, podemos comparar o plano atual de manutenção com estes resultados para propor um novo plano. No entanto, para efeito de comparação, dado que o plano atual é por tempo, vamos assumir que o número de desenformamentos de cada máquina seja constante, de acordo com a média mensal calculada no período da amostra. Na tabela 4.4.1 mostra o resultado:

Tabela 4.4.1 - Produção Média mensal padrão das GC's

	A	B	C	D
Equip	Produziu	Dias	Produção/dia	Produção/mes
GC 1	9.756	213	46	1.374
GC 2	11.828	213	56	1.666
GC 3	12.867	213	60	1.812

Fonte: autor (2017)

Na tabela 4.4.1, entende-se o seguinte:

- A → Produção Acumulada = Número de desenformamentos da GC no período de Janeiro a Junho de 2016;
- B → Dias = número de dias corridos de Janeiro a Junho de 2016, sendo que neste ano o mês de fevereiro foi bissexto, ou seja, com 29 dias;
- C → Produção/dia = A / B
- D → Produção/mês = C x 30, ou seja, produção média mensal padrão da GC.

Considerando a produção padrão de cada GC, percebe-se que a GC 3 é a mais utilizada.

Na Tabela 4.4.2 é apresentado um quadro comparativo entre a Taxa de utilização, o DMTBF e a taxa de Crescimento das GC's.

Tabela 4.4.2 - Taxa de utilização x Desempenho

	A	B	C
Equip	Tx Utilização	DMTBF	Tx Crescimento
GC 1	28%	89,45	-0,0190
GC 2	34%	205,24	0,1520
GC 3	37%	137,28	-0,0770

Fonte: autor (2017)

Na tabela 4.4.2 acima, entende-se o seguinte:

- A → Taxa de Utilização = Número de desenformamentos da GC no período de Janeiro a Junho de 2016 dividido pela produção total das e GC's acumulada no período;
- B → DMTBF = MTBF instantâneo da máquina no final do período;

- $C \rightarrow \text{Tx de Crescimento} = \text{Tax de Crescimento da Confiabilidade}$ calculada pelos dados agrupados de falha no respectivo período utilizando o RGA.

Analisando as tabelas 4.4.1 e 4.4.2, podemos entender o seguinte:

- GC 1 é a máquina menos utilizada, tem o menor DMTBF, e está com a Confiabilidade ligeiramente decrescente, quase constante;
- GC 2 é quase tão utilizada quanto a GC 3, tem o maior DMTBF e é a única com a Confiabilidade crescente;
- GC 3 é a mais utilizada, tem DMTBF maior que a GC 1 e menor que a GC 2, e tem a Confiabilidade ligeiramente decrescente, quase constante;

4.5 NOVO PLANO DE MANUTENÇÃO

Após estratificação dos DMTBF dos subsistemas, segue propostas de ações para alteração do plano de manutenção mecânico das GC's. As propostas estão apresentadas em tabelas por máquina e por subsistema.

4.5.1 Plano de Manutenção Mecânica da GC 1

Lembrando que os Subsistemas críticos da GC 1 são a Grade, a Extratora, o Sistema de Despoeiramento e o Limpador de *Door frame*.

Na tabela 4.5.1 mostra o as modificações sugeridas para o Plano de Manutenção Mecânica da Grade do GC 1.

Tabela 4.5.1 - Plano atual x Plano proposto para Grade GC 1

Título do Serviço	Freq atual por tempo	Freq atual por Desenf	DMTF do Subsistema	TX Crescimento Confiabilidade Subsistema	Proposta/Comentários
EXECUTAR - ENSAIO DE LP NO EIXO CARDAN PARA VERIFICAR TRINCA;	trimestral	4.122	168	-0,156	Aumentar frequência para bimestral Recomendado aumentar frequência de inspeção pois o histórico atual mostra aumento da frequência de anomalias de processo que projetam material incandescente sobre os cardans, provocando sobrecarga e perda de lubrificante. Em outubro/17 houve um colapso do cardan da GC 3 com 82 dias após a troca.
EXECUTAR - LP NAS SOLDAS DA VIGA PRINCIPAL DA GRADE;	trimestral	4.122	168	-0,156	
EXECUTAR - LP NAS SOLDAS DAS TALAS DE JUNÇÃO ENTRE AS VIGAS DE SUSTENTAÇÃO E A VIGA NOVA,	trimestral	4.122	168	-0,156	Manter estes planos Apesar do histórico de aparecimento de trincas, todas são identificadas à tempo de reparo durante a preventiva.
EXECUTAR - LP NAS SOLDAS DE FIXAÇÃO DOS REFORÇOS ENTRE A VIGA DE SUSTENTAÇÃO E O TRILHO DA GRADE	trimestral	4.122	168	-0,156	
EXECUTAR - REAPERTO GERAL NO CONJ. DE ACIONAMENTO MOTOR DA GRADE	mensal	1.374	168	-0,156	Manter o plano Sem histórico relevante de falhas. No entanto, anomalias de processo causam projeção de coque incandescente na região e o plano precisa ser mantido mensal.
TROCAR - EIXO CARDAN DE ACIONAMENTO DA GRADE	quadrimestral	5.496	168	-0,156	Cancelar plano Manter somente por condição, através da análise do LP que será intensificado para bimestral.

Fonte: autor (2017)

Na tabela 4.5.2 mostra o as modificações sugeridas para o Plano de Manutenção Mecânica da Extratora do GC 1.

Tabela 4.5.2 - Plano atual x Plano proposto para extratora do GC 1

Título do Serviço	Freq atual por tempo	Freq atual por Desenf	DMTF do Subsistema	TX Crescimento Confiabilidade Subsistema	Proposta/Comentários
EXECUTAR - CONFERIR APERTO DA BASE DAS CREMALHEIRAS;	anual	16.489	445	0,0048	Manter o plano. Sem histórico relevante de falha nestes itens funcionais.
EXECUTAR - CONFERIR APERTO DA BASE DOS MANCAIS;	semestral	8.245	445	0,0048	
EXECUTAR - LP E REAPERTAR PARAFUSOS DA BASE DO SUPORTE DO CILINDRO DE IÇAMENTO	mensal	1.374	445	0,0048	Manter o plano. O histórico de falhas apresenta trincas recorrentes neste suporte. Avaliar sobrecarga.
EXECUTAR - LP NA BASE INFERIOR DA COLUNA;	anual	16.489	445	0,0048	Aumentar frequência para semestral. O histórico de falhas tem apresentado trincas recorrentes nesta base. Intensificar inspeção por LP.
EXECUTAR - LP NA REGIÃO CENTRAL DA COLUNA PRINCIPAL (VIGA CAIXÃO) DA EXTRATORA;	semestral	8.245	445	0,0048	Manter o plano. Sem histórico relevante de falha nestes itens funcionais.
RETIRAR - REBARBAS DE DESGASTE E RECUPERAR TRINCA	Bimestral	1.374	445	0,0048	Incluir plano. Já existente nas GC 2 e 3.
RETIRAR - REBARBAS DE DESGASTE E RECUPERAR TRINCA NAS GARRAS SUPERIOR E INFERIOR;	mensal	1.374	445	0,0048	Reduzir a frequência para bimestral. Sem histórico relevante de falha nestes itens funcionais.
RETIRAR - SUPORTE DO ROLAMENTO E VERIFICAR SE ESTÃO TRAVADOS	semestral	8.245	445	0,0048	Manter o plano. Sem histórico relevante de falha nestes itens funcionais.
RETIRAR - TAMPA DA RODA GUIA DA MESA SUPERIOR PARA INSPEÇÃO DOS ROLAMENTOS;	bimestral	2.748	445	0,0048	Reduzir a frequência para trimestral. Sem histórico relevante de falha nestes itens funcionais.

Fonte: autor (2017)

O Sistema de Despoeiramento das Guias de Coque é gerenciado por um órgão central de manutenção de sistemas de despoeiramento. Os resultados serão enviados aos respectivos responsáveis para tratativa das informações. Este trabalho não apresenta modificações no plano de manutenção deste subsistema.

Os Limpadores de *Door frame* não tem plano de serviços de manutenção, todas as tarefas são por condição, oriundos do plano de inspeção. Outro ponto relevante é que os Limpadores não em sido utilizado com a mesma frequência das demais subfunções da máquina, pois esta durante o desenformamento esta função pode não ser exercida. Recomenda-se monitorar o uso destas e montar um plano de serviços.

4.5.2 Plano de Manutenção Mecânica da GC 2

Lembrando que os Subsistemas críticos da GC 2 são a Extratora, o Sistema de Controle, a Cabine Hidráulica, a Grade, o Sistema Refrigeração e o Sistema de Despoeiramento.

Na tabela 4.5.3 mostra o as modificações sugeridas para o Plano de Manutenção Mecânica da Extratora do GC 2.

Tabela 4.5.3 - Plano atual x Plano proposto para extratora do GC 2

Título do Serviço	Freq atual por Tempo	Freq atual por Desenf.	DMTF do Subsistema	TX Crescimento Confiabilidade Subsistema	Proposta/Comentários
EXECUTAR - CONFERIR APERTO DA BASE DAS CREMALHEIRAS;	anual	19.991	612	-0,136	Manter o plano. Sem historico relevante de falha nestes itens funcionais.
EXECUTAR - CONFERIR APERTO DA BASE DOS MANCAIS;	semestral	9.995	612	-0,136	Manter o plano. O histórico de falhas apresenta trincas recorrentes neste suporte. Avaliar sobrecarga.
EXECUTAR - LP E REAPERTAR PARAFUSOS DA BASE DO SUPORTE DO CILINDRO DE IÇAMENTO	mensal	1.666	612	-0,136	Aumentar frequência para semestral. O histórico de falhas tem apresentado trincas recorrentes nesta base. Intensificar inspeção por LP.
EXECUTAR - LP NA BASE INFERIOR DA COLUNA;	anual	19.991	612	-0,136	Manter o plano. Sem historico relevante de falha nestes itens funcionais.
EXECUTAR - LP NA REGIÃO CENTRAL DA COLUNA PRINCIPAL (VIGA CAIXÃO) DA EXTRATORA;	semestral	9.995	612	-0,136	Manter o plano. Sem historico relevante de falha nestes itens funcionais.
RETIRAR - REBARBAS DE DESGASTE E RECUPERAR TRINCA NA ESTRUTURA DO GANCHO DESTRAVELADOR;	mensal	1.666	612	-0,136	Reduzir a frequência para bimestral.
RETIRAR - REBARBAS DE DESGASTE E RECUPERAR TRINCA NAS GARRAS SUPERIOR E INFERIOR;	mensal	1.666	612	-0,136	Manter o plano. Sem historico relevante de falha nestes itens funcionais.
RETIRAR - SUPORTE DO ROLAMENTO E VERIFICAR SE OS MESMO ESTÃO TRAVADOS	semestral	9.995	612	-0,136	Reduzir a frequência para trimestral. Sem historico relevante de falha nestes itens funcionais.
RETIRAR - TAMPA DA RODA GUIA DA MESA SUPERIOR PARA INSPEÇÃO DOS ROLAMENTOS;	bimestral	3.332	612	-0,136	

Fonte: autor (2017)

Na tabela 4.5.4 mostra o as modificações sugeridas para o Plano de Manutenção Mecânica da Cabine Hidráulica do GC 2.

Tabela 4.5.4 - Plano atual x Plano proposto para Cab. Hidráulica do GC 2

Título do Serviço	Freq atual por Tempo	Freq atual por Desenf.	DMTF do Subsistema	TX Crescimento Confiabilidade Subsistema	Proposta/Comentários
LUBRIFICAR - INSPECIONAR E COMPLETAR NÍVEIS DE ÓLEO	mensal	1.666	1.988	0,405	Manter plano. DMTBF alinhado com a frequência por desempenho.
LUBRIFICAR - VERIFICAR E COMPLETAR NÍVEIS DE ÓLEO DA MÁQUINA	semanal	416	1.988	0,405	Manter frequência mas reduzir o Hh para 4Hh, igual as outras GC's. O circuito hidráulico da cabine ainda tem válvulas obsoletas e com fim de vida útil. Estão em processo de substituição. A equipe de manutenção apresenta deficit de conhecimento em sistemas hidráulicos e está sendo treinada. Após a troca de todas as válvulas obsoletas e a verificação de eficácia do treinamento vamos reavaliar a redução da frequência deste plano para mensal.

Fonte: autor (2017)

Na tabela 4.5.5 mostra o as modificações sugeridas para o Plano de Manutenção Mecânica da Grade do GC 2.

Tabela 4.5.5 - Plano atual x Plano proposto para Grade do GC 2

Título do Serviço	Freq atual por Tempo	Freq atual por Desenf.	DMTF do Subsistema	TX Crescimento Confiabilidade Subsistema	Proposta/Comentários
EXECUTAR - ENSAIO DE LP NO EIXO CARDAN PARA VERIFICAR TRINCA;	trimestral	4.998	1.579	0,064	Manter o Plano. Sem historico relevante de falhas nos itens funcionais.
EXECUTAR - LP NAS SOLDAS DA VIGA PRINCIPAL DA GRADE;	trimestral	4.998	1.579	0,064	
EXECUTAR - LP NAS SOLDAS DAS TALAS DE JUNÇÃO ENTRE AS VIGAS DE SUSTENTAÇÃO E A VIGA NOVA,	trimestral	4.998	1.579	0,064	Manter o plano. Apesar do historico de aparecimento de trincas, todas são identicads à tempo de reparo durante a preventiva.
EXECUTAR - LP NAS SOLDAS DE FIXAÇÃO DOS REFORÇOS ENTRE A VIGA DE SUSTENTAÇÃO E O TRILHO DA GRADE	trimestral	4.998	1.579	0,064	
EXECUTAR - REAPERTO GERAL NO CONJ. DE ACIONAMENTO MOTOR / ACOPLAMENTO / REDUTOR / EIXO CARDAN / MANCAL DO PINHÃO E CREMALHEIRA	mensal	1.666	1.579	0,064	Manter o plano. Sem historico relevante de falhas. No entanto, anomalias de processo causam projeção de coque incandescente na região e o plano precisa ser mantido mensal.
TROCAR - EIXO CARDAN DE ACIONAMENTO DA GRADE	quadrimestra	6.664	1.579	0,064	Cancelar plano. Cancelar o plano e manter somente por condição, através da análise do LP que será intensificado para bimestral.

Fonte: autor (2017)

O Sistema de Despoeiramento e o Sistema de refrigeração das Guias de Coque são gerenciados por um órgão central de manutenção. Os resultados serão enviados aos respectivos responsáveis para tratativa das informações. Este trabalho não apresenta modificações no plano de manutenção destes subsistemas críticos. A GC 2 também apresentou como subsistema crítico o Sistema de Controle. No entanto, este não será tratado neste trabalho pois o foco do mesmo é o Plano de Manutenção Mecânica. Os dados serão enviados aos Especialistas de Confiabilidade Eletroeletrônica da máquina.

4.5.3 Plano de Manutenção Mecânica da GC 3

Lembrando que os Subsistemas críticos da GC 3 são a Extratora, a Grade, o Sistema de Despoeiramento, o Sistema de Controle e a Cabine Hidráulica.

Na tabela 4.5.6 mostra o as modificações sugeridas para o Plano de Manutenção Mecânica da Extratora do GC 3.

Tabela 4.5.6 - Plano atual x Plano proposto para Extratora do GC 3

Título do Serviço	Freq Atual por Tempo	Freq Atual por Desenf	DMTF do Subsistema	TX Crescimento Confiabilidade Subsistema	Proposta/Comentários
EXECUTAR - CONFERIR APERTO DA BASE DAS CREMALHEIRAS;	anual	21.747	408	0,014	Manter o plano. Sem historico relevante de falha nestes itens funcionais.
EXECUTAR - CONFERIR APERTO DA BASE DOS MANCAIS;	semestral	10.874	408	0,014	
EXECUTAR - LP E REAPERTAR PARAFUSOS DA BASE DO SUPORTE DO CILINDRO DE IÇAMENTO	mensal	1.812	408	0,014	Manter o plano. O histórico de falhas apresenta trincas recorrentes neste suporte. Avaliar sobrecarga.
EXECUTAR - LP NA BASE INFERIOR DA COLUNA;	anual	21.747	408	0,014	Aumentar frequencia para semestral. O histórico de falhas tem apresentado trincas recorrentes nesta base. Intensificar inspeção por LP.
EXECUTAR - LP NA REGIÃO CENTRAL DA COLUNA PRINCIPAL (VIGA CAIXÃO) DA EXTRATORA;	semestral	10.874	408	0,014	
RETIRAR - REBARBAS DE DESGASTE E RECUPERAR TRINCA NA ESTRUTURA DO GANCHO DESTRAVELADOR;	mensal	1.812	408	0,014	Manter o plano. Sem historico relevante de falha nestes itens funcionais.
RETIRAR - REBARBAS DE DESGASTE E RECUPERAR TRINCA NAS GARRAS SUPERIOR E INFERIOR;	mensal	1.812	408	0,014	Reduzir a frequencia para bimestral. Sem historico relevante de falha nestes itens funcionais.
RETIRAR - SUPORTE DO ROLAMENTO E VERIFICAR SE OS MESMO ESTÃO TRAVADOS	semestral	10.874	408	0,014	Manter o plano. Sem historico relevante de falha nestes itens funcionais.
RETIRAR - TAMPA DA RODA GUIA DA MESA SUPERIOR PARA INSPEÇÃO DOS ROLAMENTOS;	bimestral	3.625	408	0,014	Reduzir a frequencia para trimestral. Sem historico relevante de falha nestes itens funcionais.

Fonte: autor (2017)

Na tabela 4.5.7 mostra o as modificações sugeridas para o Plano de Manutenção Mecânica da Grade do GC 3.

Tabela 4.5.7 - Plano atual x Plano proposto para Grade do GC 3

Título do Serviço	Freq Atual por Tempo	Freq Atual por Desenf	DMTF do Subsistema	TX Crescimento Confiabilidade Subsistema	Proposta/Comentários
EXECUTAR - ENSAIO DE LP NO EIXO CARDAN PARA VERIFICAR TRINCA;	trimestral	5.437	591	-0,45	Aumentar frequência para bimestral. Recomendado aumentar frequência de inspeção pois o histórico atual mostra aumento da frequência de anomalias de processo que projetam material incandescente sobre os cardans, provocando sobrecarga e perda de lubrificante. Em outubro/17 houve um colapso do cardan da GC 3 com 82 dias após a troca.
EXECUTAR - LP NAS SOLDAS DA VIGA PRINCIPAL DA GRADE;	trimestral	5.437	591	-0,45	Manter o plano. Apesar do histórico de aparecimento de trincas, todas são identificadas à tempo de reparo durante a preventiva.
EXECUTAR - LP NAS SOLDAS DAS TALAS DE JUNÇÃO ENTRE AS VIGAS DE SUSTENTAÇÃO E A VIGA NOVA,	trimestral	5.437	591	-0,45	
EXECUTAR - LP NAS SOLDAS DE FIXAÇÃO DOS REFORÇOS ENTRE A VIGA DE SUSTENTAÇÃO E O TRILHO DA GRADE	trimestral	5.437	591	-0,45	
EXECUTAR - REAPERTO GERAL NO CONJ. DE ACIONAMENTO MOTOR / ACOPLAMENTO / REDUTOR / EIXO CARDAN / MANCAL DO PINHÃO E CREMALHEIRA	mensal	1.812	591	-0,45	Manter o plano. Sem histórico relevante de falhas. No entanto, anomalias de processo causam projeção de coque incandescente na região e o plano precisa ser mantido mensal.
TROCAR - EIXO CARDAN DE ACIONAMENTO DA GRADE	quadrimestral	7.249	591	-0,45	Cancelar plano. Cancelar o plano e manter somente por condição, através da análise do LP que será intensificado para bimestral.

Fonte: autor (2017)

Na tabela 4.5.8 mostra o as modificações sugeridas para o Plano de Manutenção Mecânica da Cabine Hidráulica do GC 3.

Tabela 4.5.8 - Plano atual x Plano proposto para Cabine Hidráulica do GC 3

Título do Serviço	Freq Atual por Tempo	Freq Atual por Desenf	DMTF do Subsistema	TX Crescimento Confiabilidade Subsistema	Proposta/Comentários
LUBRIFICAR - INSPECIONAR E COMPLETAR NÍVEIS DE ÓLEO	mensal	1.812	3.177	0,19	Passar plano para bimestral. Acompanhar a tendência da frequência e da quantidade de reposição de óleo pelo plano semanal.
LUBRIFICAR - VERIFICAR E COMPLETAR NÍVEIS DE ÓLEO DA MÁQUINA	semanal	453	3.177	0,19	Manter plano. O circuito hidráulico da cabine ainda tem válvulas obsoletas e com fim de vida útil. Estão em processo de substituição. A equipe de manutenção apresenta déficit de conhecimento em sistemas hidráulicos e está sendo treinada. Após a troca de todas as válvulas obsoletas e a verificação de eficácia do treinamento vamos reavaliar a redução da frequência deste plano para mensal.

Fonte: autor (2017)

O Sistema de Despoeiramento das Guias de Coque é gerenciado por um órgão central de manutenção de sistemas de despoeiramento. Os resultados serão enviados aos respectivos responsáveis para tratativa das informações. Este trabalho não apresenta modificações no plano de manutenção deste subsistema.

A GC 3 também apresentou como subsistema crítico o Sistema de Controle. No entanto, este não será tratado neste trabalho pois o foco do mesmo é o Plano de Manutenção Mecânica. Os dados serão enviados aos Especialistas de Confiabilidade Eletroeletrônica da máquina.

4.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado a aplicação do referencial teórico de Engenharia de Confiabilidade abordado no capítulo 3 para apoiar no desenvolvimento de um novo Indicador de Confiabilidade e um novo Plano de Manutenção nas Guias de Coque da ArcelorMittal Tubarão.

Como destaque do referencial teórico aplicado teve a Taxa de Crescimento de Confiabilidade aplicada a Sistemas Reparáveis, utilizando o modelo CROW-AMSAA. O modelo foi aplicado nas máquinas, onde foi possível identificar a taxa de crescimento de Confiabilidade em cada uma separadamente. Em seguida foi identificado os Subsistemas críticos, onde por definição foi assumido que seriam todos os subsistemas que acumuladamente apresentavam um percentual de quantidade de falhas de pelo menos 80%. Após identificar os Subsistemas críticos de cada máquina, utilizamos o modelo CROW-AMSAA nos subsistemas e foi encontrado as respectivas Taxas de crescimento de cada uma.

Com a taxa de crescimento e o DMTBF de cada subsistema, foi elaborado tabelas para cada subsistema crítico de cada máquina com as ações propostas para cada serviço do plano de manutenção atual, com os respectivos comentários.

No próximo capítulo será elaborado tabelas de resumo dos resultados apresentados no capítulo 4, bem como as dificuldades e respectivas soluções para o desenvolvimento do trabalho. O que poderia ter sido feito diferente do que foi desenvolvido e os respectivos motivos. Apresentaremos as conclusões em relação aos nossos objetivos e também os benefícios que foram alcançados.

5. CONCLUSÃO

O objetivo principal do trabalho foi aplicar ferramentas de Engenharia de Confiabilidade no plano de Manutenção atual das GC's para propor ações visando melhorar a Confiabilidade destas Máquinas. Para resumir os resultados, neste capítulo mostraremos as tabelas comparando o Homem-hora (Hh) utilizando atualmente nos planos de serviços e o Hh proposto para melhorar a Confiabilidade.

5.1 RESULTADOS DO HOMEM-HORA DO PLANO ATUAL X PLANO PROPOSTO

Considerando as propostas de alteração do Plano de Manutenção Mecânico das Guias de Coque, o resumo de Homem-hora (Hh) aplicado anualmente para os serviços de plano ficou conforme Tabela 5.1.1, 5.1.2 e 5.1.3:

Tabela 5.1.1 - Hh de Plano de Serviços Atual x Proposto GC1

Frequência	Hh Serviço	Hh/ano	Hh Serviço	Hh/ano
	Atual	Atual	Proposto	Proposto
Semanal	8	416	4	208
1 mes	29	348	31	372
2 meses	4	24	3	18
3 meses	16	64	14	56
4 meses	4	12	0	0
6 meses	9	18	27	54
12 meses	22	22	4	4
Total	---	904	---	712

Fonte: autor (2017)

No caso do plano de manutenção mecânica da GC 1 houve redução de cerca de 21% no Homem-hora anual aplicado. Na tabela 26 abaixo temos os resultados do plano de manutenção mecânica da GC 2.

Tabela 5.1.2 - Hh de Plano de Serviços Atual x Proposto GC2

Frequência	Hh Serviço Atual	Hh/ano Atual	Hh Serviço Proposto	Hh/ano Proposto
Semanal	8	416		208
1 mes	22	264		252
2 meses	4	24		18
3 meses	26	104		112
4 meses	4	12		0
6 meses	9	18		22
12 meses	22	22		20
Total	---	860	---	632

Fonte: autor (2017)

No caso do plano de manutenção mecânica da GC 2 houve redução de cerca de 27% no Homem-hora anual aplicado. Na tabela 5.1.3 abaixo temos os resultados do plano de manutenção mecânica da GC 3.

Tabela 5.1.3 - Hh de Plano de Serviços Atual x Proposto GC3

Frequência	Hh Serviço Atual	Hh/ano Atual	Hh Serviço Proposto	Hh/ano Proposto
Semanal	4	208	4	208
1 mes	30	360	17	204
2 meses	2	12	15	90
3 meses	20	80	20	80
4 meses	4	12	0	0
6 meses	9	18	11	22
12 meses	22	22	20	20

Total	---	712	---	624
-------	-----	-----	-----	-----

Fonte: autor (2017)

No caso do plano de manutenção mecânica da GC 3 houve redução de cerca de 12% no Homem-hora anual aplicado.

Na Tabela 5.1.4 temos os resultados de Homem-hora final do plano de manutenção mecânica das três Guias de Coque.

Tabela 5.1.4 - Hh final Plano de Serviços Atual x Proposto

Equipamento	Hh Serviço	Hh Serviço	Diferença Absoluta	Diferença %
	Anual Atual	Anual Proposto		
GC 1	904	712	192	21%
GC 2	860	632	228	27%
GC 3	712	624	88	12%
Total	2.476	1.968	508	21%

Fonte: autor (2017)

O resultado positivo é que a para aumentar a confiabilidade das máquinas está sendo proposto uma redução de 21% nos planos de serviços atuais. Podemos entender que para aumentar a Confiabilidade não precisa necessariamente aumentar os recursos de Homem-hora investidos nas máquinas. Vale ressaltar então que grande parte dos serviços e recursos que garantem a confiabilidade dos equipamentos estão vinculados aos serviços por condição, onde monitoramos através das inspeções sensitivas e preditivas nos itens funcionais, para planejar a intervenção no momento mais adequado. Os planos de serviços por tempo tendem a aumentar o custo de manutenção das Guias de Coque sem necessariamente melhorar o resultado de desempenho das mesmas.

5.1.1 Oportunidades de Estudar outras Especialidades no Plano de Manutenção

Identifica-se a oportunidade de trabalhar nos planos de Sistema de Controle, Sistema de Refrigeração e Sistema de Despoeiramento que apresentaram Subsistemas críticos, mas não foram estudados neste trabalho.

Também é necessário desenvolver um plano de manutenção consistente para os Limpadores de *Door frame*, que não foram avaliados por não terem plano de serviço, ou seja, as intervenções são todas baseadas por condição, através dos resultados do Plano de Inspeção.

5.1.2 Confiabilidade e Plano de Manutenção por Ciclo de Desenfornamento

O DMTBF indica baixa confiabilidade das máquinas por ciclos de produção. Veja pela Tabela 5.1.5:

Tabela 5.1.5 - Confiabilidade por Ciclo de Desenfornamento

Equip	*DMTBF	Desenfornamentos por dia	Dias até a falha	**MTTR(h)
GC 1	89	46	1,93	3,08
GC 2	205	56	3,66	1,97
GC 3	137	60	2,28	2,71

*Desenfornamentos até a falha. Situação instantânea ao final do ciclo analisado

** Tempo Médio de Reparo Corretivo.

Fonte: autor (2017)

Pela Tabela 5.1.5 indica que mesmo a GC 2, que tem a melhor desempenho, apresenta uma parada por falha a cada 3,66 dias. No entanto, a mesma GC 2 tem tempo médio de reparo corretivo de menos de 2h (1,97h). Isto se deve a equipe de Manutenção corretiva que é em regime 24h.

Apesar do grande número de falhas, devido ao baixo MTTR e a configuração com uma máquina em *stand-by (reserva)*, a Confiabilidade do processo é maior que a individual das máquinas. Esta melhor confiabilidade pode ser evidenciada

considerando que são 9 desenformamentos perdidos de Janeiro a Junho de 2016 por falha em GC's, e são 34.451 ciclos de desenformamento realizados.

Portanto, fica mais plausível entender porque as ações de modificação do plano propostas não estão diretamente coerentes com alguns resultados do DMTBF, ou seja, não deve-se intensificar os planos baseando-se somente no DMTBF. Se utilizasse fria e diretamente os resultados de DMTBF calculados no CROW-AMSAA todas as máquinas teriam aumentado consideravelmente seu ciclo e os recursos aplicados de manutenção. Acontece que como temos uma máquina com quase todo tempo em *stand-by (reserva)*, e o MTTR das máquinas é baixo, muitas das falhas podem ser corrigidas pela equipe de manutenção corretiva do turno sem gerar impacto na produção. Portanto, não é recomendado criar um plano de serviço fundamentado somente no ciclo de desenformamento, deve-se considerar também a variável MTTR, o histórico de falhas dos itens funcionais dos Subsistemas e principalmente a configuração dos equipamentos em relação à demanda do processo.

Uma outra dificuldade que deve ser considerada ao incluir planos de serviços para as Guias de Coque, é que em muitos serviços é exigido resfriamento e limpeza antes da intervenção, o que torna o tempo total de parada muito maior, reduzindo consideravelmente a Disponibilidade da Máquina. Em outras palavras, se o MTTR Corretivo é baixo, em alguns casos compensa fazer Corretiva ao invés de criar plano de intervenção preventivo.

5.2 FERRAMENTAS DE CONFIABILIDADE APLICADAS

No desenvolvimento do trabalho a ferramenta de Confiabilidade mais aplicada foi o *RGA (Reliability Growth Analysis)*, onde através do modelo CROW-AMSAA foi avaliado a taxa de crescimento de Confiabilidade dos equipamentos e de seus respectivos subsistemas. Esta ferramenta foi utilizada pois é a mais indicada para sistemas complexos onde não temos as curvas de falhas dos itens funcionais (*Lowest Replaceable Unit – LRU*). Percebe-se que a análise dos planos de manutenção por taxa de crescimento de Confiabilidade dos subsistemas críticos nos dá uma boa orientação do subsistema a ser detalhado, mas não vai trazer o melhor

plano de manutenção, pois não conhecemos as características de falha dos itens funcionais de cada subsistema.

Portanto, recomenda-se desenvolver uma coleta de dados detalhada para identificar as curvas de falha dos itens funcionais críticos de cada subsistema e utilizar estas curvas para detalhar os planos de manutenção otimizando este por item funcional.

5.2.1 Oportunidades de Aplicação de outras Ferramentas da Confiabilidade

Considerando que é possível identificar os itens funcionais críticos, recomenda-se utilizar o WEIBULL para determinar suas respectivas curvas de falha. Após o levantamento da curva de falha dos itens funcionais críticos de cada subsistema, pode-se montar no BLOCK-SIM o diagrama dos itens funcionais em relação ao subsistema para achar as características de Confiabilidade dos Subsistemas. Com isto, monta-se outro BLOCK-SIM com os parâmetros de cada subsistema e encontraremos a curva de confiabilidade dos Equipamentos.

Outro ponto interessante é que o WEIBULL apresenta um módulo de Sistemas Reparáveis, que não foi utilizado neste trabalho, mas poderia ter sido útil com a característica da coleta de dados que foi utilizada.

Informações sobre a Análise de Dados de Vida (*Life Data Analysis*) e Diagramas de Bloco (*Reliability Block Diagram*) foram consideradas no referencial teórico (Capítulo 3) mas não foram utilizadas no desenvolvimento do trabalho. No entanto, poderão ser muito utilizadas para análise da Confiabilidade no atendimento ao Plano de produção.

5.2.2 Confiabilidade de Atendimento ao Plano de Produção

Com as características de confiabilidade de cada equipamento, e sabendo que precisamos de 2 das 3 GC's para atender a produção, podemos montar outro diagrama no BLOCK-SIM já com as curvas de Confiabilidade de cada máquina geral de atender o processo (Desenformamento) com a desempenho atual das Guias de Coque.

Para melhor alinhamento com o processo total de manutenção das GC's em relação ao atendimento do processo Desenformamento, pode-se calcular com o WEIBULL a função característica do Tempo de Reparo (*Time to Repair – TTR*) da Manutenção Corretiva e dos tempos reais da Manutenção Preventiva. Feito isto, pode-se montar um Diagrama no BLOCK-SIM já com as curva de Confiabilidade de cada máquina e incluindo a curva de reparos de manutenção corretiva e preventiva, cujos dados são conhecidos. Com este Diagrama será possível simular a Confiabilidade de atendimento ao Plano de Produção.

5.3 APLICAÇÃO EM OUTRAS MÁQUINAS MOVEIS DA COQUERIA

Toda linha de raciocínio aplicada as Guias de Coque pode ser utilizada em todas as demais Máquinas Moveis Coqueria, em especial as Máquinas da Bateria de Coque que tem grande impacto no resultado direto e diário da produção. Somente em 2016 as falhas em Máquinas Moveis de Bateria, que são além das Guias de Coque, as Máquinas de Desenformamento (MD's), os Carros de Carregamento (CC's) e a Locomotivas (Loc's), foram responsáveis por cerca de 30% das perdas de produção atribuídas a manutenção na Coqueria. Isto representa 2.500 toneladas de coque que seriam enviados aso Alto-Fornos e de 1.140.000.000 N.m³ de geração de gás COG (*Coke Owen Gas*) que seriam direcionados às Centrais Termoelétricas.

Também recomenda-se aplicar este estudo de Confiabilidade nas Máquinas Móveis do Carvão, que são responsáveis em garantir o recebimento e abastecimento de todo carvão manuseado nas Baterias de Coque. São as duas “*Stackers*” (Empilhadeira de Carvão), as duas “*Reclaimers*” (Recuperadoras de Carvão) e a “*Stacker-Reclaimer*” (Empilhadeira e Recuperadora de Carvão).

Para um novo estudo, recomenda-se utilizar dados mais atuais. Para as Máquinas Móveis de Baterias (MD, GC, CC e LOC) uma base de dados de 6 meses é suficiente. Para as demais máquinas recomenda-se base de dados de 1 ano.

5.4 CONSECUÇÃO DOS OBJETIVOS

Os objetivos específicos deste trabalho eram:

1. Identificar o MTBF por ciclo de desenformamento atual das máquinas.
2. Identificar os itens funcionais de maior impacto no MTBF e aqueles que quando falham impedem o traslado da máquina, aumentando risco de perda de produção.
3. Construir do modelo probabilístico utilizando o software Weibull ++ e suas respectivas funções estatísticas. →
4. Utilizar as ferramentas de análise de falhas para encontrar as causas raízes das ocorrências.
5. Elaborar um plano de intervenção com frequência baseada no estudo das falhas de maior impacto no MTBF por ciclo de desenformamento.

Considerando a mesma numeração acima, os resultados em relação a cada objetivo específico foram:

1. Objetivo alcançado. Foi identificado a desempenho das máquinas por ciclo desenformamento e feito comparativo entre as máquinas.
2. Objetivo parcialmente alcançado. Os itens funcionais críticos não foram identificados. Análise foi feita baseada em Subsistemas. Os subsistemas críticos foram identificados.
3. Objetivo parcialmente alcançado. Apesar de não utilizarmos o WEIBULL, utilizamos o RGA, que é uma ferramenta mais apropriada para sistema reparáveis complexos. Com o RGA utilizando o modelo CRIW-AMSAA encontramos a taxa de Crescimento de Confiabilidade das máquinas e dos respectivos subsistemas críticos. Portanto, pode-se considerar que o objetivo de usar um software de Engenharia de Confiabilidade aplicável ao trabalho foi alcançado.
4. Objetivo parcialmente alcançado. Não encontramos as causas raízes da falhas, pois estas se encontram nos itens funcionais, que não foram analisados. No entanto, utilizamos frequência acumulada para definir os subsistemas críticos.
5. Objetivo alcançado. O plano foi revisado utilizando as informações e o DMTBF por ciclo de desenformamento, que é o MTBF instantâneo no final do período analisado. No entanto, para revisão do plano, foi considerado também o MTTR de Corretiva e a condição de *stand-by* (reserva) do conjunto de máquinas.

Mesmo com alguns dos objetivos específicos alcançados parcialmente, entende-se que o objetivo geral, que é propor ações para modificar o plano de manutenção atual das Guias de Coque baseando-se no MTBF por ciclo de desenformamento, foi alcançado.

REFERÊNCIAS

Data book da Reliasoft - “System Analysis Rerefence – Chapter Index”, 2017 / Referencia de Análises de Sistemas – Capítulo Introdutório, 2017)

Data Book (Manual) da Reliasoft – “Life Data Analysis Reference – Chapter Index”, 2017 / Análises de Dados de Vida – Capítulo Introdutório, 2017;

Data Book (Manual) da Reliasoft – “RBDs and Analytical System Reliability – Chapter 3”, 2017 / RBD e Análise de Confiabilidade de Sistemas – Capítulo 3, 2017;

Data Book (Manual) da Reliasoft – “Chapter 6: Introduction to Repairable Systems”, 2017 / Capítulo 6: Introdução a Sistemas Reparáveis, 2017;

Data Book (Manual) da Reliasoft “Chapter 1: RGA Overview”, 2017 / Capítulo 1: Visão Geral de RGA, 2017;

Data Book (Manual) da Reliasoft – “Chapter 3.2: Crow-AMSAA”, 2017 / Capítulo 3.2: Crow-AMSAA, 2017;

FOGLIATO, Flavio Sanson e RIBEIRO, Jose Luis Duarte; **“Confiabilidade e Manutenção Industrial”**; 2009, Elsevier Editora Ltda; Rio de Janeiro.

LIMA, Francisco Assis de; CASTILHO, João Carlos Nogueira de; **“Aspectos da Manutenção dos Equipamentos Científicos da Universidade de Brasília”**; dissertação apresentada à Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação (FACE); ano 2006; Brasília – DF;

Padrão Operacional **“COQUERIA / BATERIAS DE FORNOS / GUIA DE COQUE / EXTRATORA DE PORTAS / DESGASTE”**; PO-MAN-COQU-MM-0002_rev12; ArcelorMittal Tubarão; 2017; Vitória.

Padrão Operacional **“COQUERIA / BATERIA DE FORNOS / GUIA DE COQUE / LIMPADOR DE DOOR FRAME / PREVENTIVA MENSAL**; PO-MAN-COQU-MM-0007_rev15; ArcelorMittal Tubarão; 2017; Vitória.

Padrão Operacional **“COQUERIA / BATERIAS DE FORNOS / GUIA DE COQUE / TRUCKS DE TRANSLAÇÃO / DESGASTE 2”**; PO-MAN-COQU-MM-0032_rev11; ArcelorMittal Tubarão; 2017; Vitória.

Padrão Técnico **“Manutenção dos Equipamentos de Produção – Dados Gerais” / PT-MAM-GMAN-00-0004_rev08**; ArcelorMittal Tubarão; 2017; Vitória.

Padrão Técnico **“Processo Inspeção da Manutenção” / PT-MAM-GMAN-00-0005_rev11**; ArcelorMittal Tubarão; 2017; Vitória;

Reliability Growth Analysis – RGA – Versão 11. Tucson, AZ, USA, Reliasoft Corporation, 2017.