

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANA
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE ELETROTECNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

JULIO CESAR FRACALOSI

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E
DISPONIBILIDADE DE UM SISTEMA DE ESCOAMENTO DE
BOBINAS DE AÇO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

**VITORIA
2017**

JULIO CESAR FRACALOSSI

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E
DISPONIBILIDADE DE UM SISTEMA DE ESCOAMENTO DE
BOBINAS DE AÇO**

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

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano

**VITORIA
2017**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE DE UM SISTEMA DE ESCOAMENTO DE BOBINAS DE AÇO

Por

JULIO CESAR FRACALOSSI

Essa monografia foi apresentada em 10 de novembro de 2017 como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno Julio Cesar Fracalossi foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
Orientador - UTFPR

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

Prof. Emerson Rigoni Dr.
Membro Titular da Banca – UTFPR

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

Dedico este trabalho a minha família, minha esposa Karina, meus filhos Guilherme, Renata (*in Memoriam*), Julio e Clara, motivos de orgulho infinito.

RESUMO

FRACALOSSI, Julio Cesar. **Análise da Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade de um Sistema de Escoamento de Bobinas**. 2017. 85 p. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Vitoria, 2017.

O uso de técnicas de análise de confiabilidade possibilita um direcionamento mais efetivo dos investimentos de uma empresa, uma vez que permite inferir sobre os ganhos operacionais através de possíveis medidas para melhoria dos processos produtivos. Os estudos da confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, identificam os elementos que mais contribuem para as ocorrências de falhas em diversos equipamentos de um sistema. As análises RAM (*Reliability, Availability, Maintainability*) objetivam avaliar o desempenho de um equipamento ou sistema através da definição e melhoria dos equipamentos críticos, para que o sistema atinja a disponibilidade necessária. Na metodologia RAM, é conveniente que sejam utilizados *softwares*, como o *BlockSim*, que fornece uma plataforma para a análise da confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade de sistemas. Utilizando a abordagem de diagrama de blocos de confiabilidade (RBD) e de análise de árvore de falha (FTA), o *software* calcula a confiabilidade por sistemas algébricos. Fornece também um simulador de eventos discretos para analisar a confiabilidade, a manutenibilidade, a disponibilidade, a capacidade máxima, o custo do ciclo de vida e outras análises relacionadas. Aplicando essa metodologia é possível disponibilizar, com embasamento técnico, os resultados atuais e meios para que se alcance metas operacionais futuras, reduzindo-se riscos a partir da identificação de vulnerabilidades de partes de um processo, como por exemplo, em um sistema de transporte de bobinas de aço. Esse método de análise do sistema pode estimar a disponibilidade média, o tempo médio entre falhas, o número de falhas esperadas e a confiabilidade desse sub processo em diferentes períodos de tempo. Em função dos resultados de disponibilidade do sistema e da criticidade de falha e confiabilidade dos equipamentos calculados pelo modelo, em um dado período de tempo, ações futuras podem ser tomadas antecipadamente. Especificamente nesse estudo de caso, não se pretende demonstrar ou ensinar o leitor utilizar *softwares* e sim metodologias de confiabilidade, essenciais para o cálculo dos parâmetros que determinarão os índices finais.

Palavras Chave: Confiabilidade. Disponibilidade. Manutenibilidade. Análise RAM. Ações antecipadas.

ABSTRACT

FRACALOSSO, Julio Cesar. **Análise da Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade de um Sistema de Escoamento de Bobinas**. 2017. 85 p. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

The use of reliability analysis techniques allows for more effective targeting of the investments of a company, since it allows inferring on the operational gains through measures to improve the productive processes. The studies of reliability, availability and maintenance, identify the elements that most contribute to the occurrence of failures in several equipment of a system. The analysis RAM (Reliability, Availability, and Maintainability) helps to evaluate of performance of a system through improving the critical equipment, to increase and achieve the best availability. In the RAM methodology is convenient to use software such as BlockSim, which provides a platform for the reliability, maintainability and availability of systems. The use of the approach of reliability block diagram (RBD) and of failure tree analysis (FTA) the software calculates the reliability for algebraic systems. It also provides a simulator of discrete event to analyze reliability, maintainability, availability, throughput, life cycle cost, and other related analyzes. Applying this methodology is possible to available, with technical basis, the current results and ways to achieve future operational goals, reducing risks from the identification of vulnerabilities of parts of a process, as for example, in a steel coil conveyor system. This method of system analysis can estimate the average availability, the mean time between failures, the number of expected failures and the reliability of this sub process at different time periods. Due to the results of system availability and criticality of failure and reliability of the equipment calculated by the model, in a given period of time, future actions can be taken in advance. Specifically in this case study, it is not intended to demonstrate or teach the reader to use software and reliability methodologies, essential for calculating the parameters that will determine the final indexes.

Keywords: Reliability. Availability. Maintainability. RAM analyzes. Advance actions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Fluxo simplificado do processo de produção de aço.....	22
Figura 2.2 - Localização das empresas siderúrgicas no Brasil.....	23
Figura 2.3 - Área ocupada pela Companhia Siderúrgica de Tubarão.....	26
Figura 2.4 - 1983 - Acendimento oficial do Alto-Forno.....	27
Figura 2.5 - Lista dos alto fornos 1 e 2 da CST.....	27
Figura 2.6 - 1989 - Gigante em placas.....	28
Figura 2.7 - 2002 - Inauguração do LTQ.....	28
Figura 2.8 - Vista Geral da ArcelorMittal Tubarão.....	29
Figura 2.9 - Foto do esboço no Coil Box.....	30
Figura 2.10 - Produto da ArcelorMittal, placas de aço.....	31
Figura 2.11 - Produto da ArcelorMittal, bobinas de aço.....	32
Figura 2.12 - Vista externa do galpão de produção de bobinas a quente.....	33
Figura 2.13 - Layout do Laminador de Tiras a Quente (LTQ).....	34
Figura 2.14 - Layout do Escoamento de bobinas do LTQ.....	35
Figura 2.15 - Máquina de Cintar.....	36
Figura 2.16 - Carro de transferência de bobinas.....	37
Figura 2.17 - Máquina de marcar identificando a bobina sobre o WB1.....	37
Figura 2.18 - Ao centro, a mesa de abaixamento de bobinas.....	38
Figura 2.19 - Carro de Transporte de Bobinas	39
Gráfico 2.1 - Taxa de escoamento de bobinas do LTQ (b/h) – 2017.....	40
Figura 3.1 - Efeito do parâmetro β na distribuição de dados de vida.....	41
Figura 3.2 - Tela de exemplo de distribuição de dados de vida.....	49
Figura 3.3 - Tela de exemplo do diagrama de blocos (RBD).....	50
Figura 3.4 - Tela de exemplo de aumento de confiabilidade (RGA).....	52
Figura 4.2 - Representação da área de escoamento de bobina.....	57
Figura 4.3 - Exemplo de simplificação dos dados de vida.....	59
Figura 4.4 - Carro de Transferência de Bobinas.....	60
Figura 4.5 - Dados de vida lançados no Weibull++.....	61
Figura 4.6 - Teste de aderência para os dados de vida do Transfer Car.....	61
Figura 4.7 - Gráfico das curvas de Confiabilidade Vs. Tempo - 2016.....	62
Figura 4.8 - Diagrama de bloco dos equipamentos - 2016.....	63
Figura 4.9 - Diagrama de bloco dos equipamentos escoamento de bobinas...64	
Figura 4.10 - Parâmetros da MC n°1 com dados de vida de 2016.....	67
Figura 4.11 - Resultado da Disponibilidade do Sistema em 2016.....	68
Figura 4.12 - Local de Instalação da MC4 - 2017.....	69
Figura 4.13 - Diagrama de bloco dos equipamentos - 2017.....	70
Figura 4.14 - Simulação da Mantenabilidade / Disponibilidade - 2017.....	71
Gráfico 4.1 - Dados de perdas em toneladas de bobinas 2013 - 2015.....	73
Gráfico 4.2 - Taxa de escoamento de bobinas de aço LTQ (b/h) - 2017.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Dados após análise no BlockSim – 2016.....	66
Tabela 4.2 - Dados após análise no BlockSim – 2017.....	70
Tabela 4.3 - Simulação da Disponibilidade – Máquinas de Cintar – 2017.....	71

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

RBD	Reliability Block Diagram
FTA	Failure Tree Analysis
RCM	Reliability Centered Maintenance
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
MTBF	Mean Time Between Failures
MRT	Mean Repair Time
MLDT	Mean Logistic Delay Time
MTTR	Mean Time To Repair
RGA	Reliability Growth Analysis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CST	Companhia Siderúrgica de Tubarão
LTQ	Laminador de Tiras a Quente
BQ	Bobina laminadas a quente
BQD	Bobina laminada a quente decapada
KPI	Key Performance Indicator
CDF	Cumulative Distribution Function
PDF	Probability Density Function
LCC	Life Cycle Cost
AP	Acompanhamento da Produção
UMSR	Unplanned Maintenance Stopped Rate
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
RAM	Reliability, Availability, Maintainability
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
ISO	International Organization for Standardization

VAC	Variável Analógica Continua
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
TIR	Taxa Interna de Retorno

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	TEMA DE PESQUISA.....	8
1.1.1	Aspectos Gerais.....	9
1.1.2	Aspectos Específicos.....	9
1.2	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.3	OBJETIVOS.....	15
1.3.1	Objetivo Geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos.....	15
1.4	JUSTIFICATIVA.....	15
1.5	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	16
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO AÇO NA INDÚSTRIA.....	19
2.1	INTRODUÇÃO.....	19
2.2	ASPECTOS GERAIS.....	19
2.3	CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O PROCESSO PRODUTIVO.....	20
2.4	PROCESSO SIDERÚRGICO.....	22
2.5	PARQUE SIDERÚRGICO NO BRASIL.....	23
2.6	A COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO.....	26
2.7	PRODUÇÃO DE LAMINADOS A QUENTE.....	32
2.8	O LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DE TUBARÃO.....	33
2.8.1	Processo de Laminação de Tiras À Quente.....	34
2.8.2	Sistema de Escoamento de Bobinas – Coil Conveyor.....	35
2.9	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	41
3	CONFIABILIDADE OPERACIONAL.....	42

3.1	INTRODUÇÃO.....	42
3.2	CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE WEIBULL.....	45
3.2.1	Custos de Manutenção Preventiva x Corretiva.....	46
3.2.2	Calculo do Ponto Ótimo de Manutenção.....	47
3.3	METODOLOGIA DO DIAGRAMA DE BLOCOS - RBD.....	50
3.4	CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE – RGA.....	52
3.5.1	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	54
4	CONFIABILIDADE DO SISTEMA DE ESCOAMENTO.....	55
4.1	PROCEDIMENTO PARA COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	55
4.2	CONSIDERAÇÕES, PREMISSAS E SIMPLIFICAÇÕES.....	57
4.3	USO DO SOFTWARE DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE	59
4.4	DADOS DE MTBF APLICADOS AO WEIBULL++.....	60
4.5	MODELAGEM EM RBD.....	63
4.6	JUSTIFICATIVA DE INVESTIMENTOS.....	72
4.7	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	75
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
5.1	CONCLUSÕES.....	77
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	79
	REFERÊNCIAS.....	80

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Com o advento da economia globalizada, observou-se um aumento na demanda por produtos e sistemas de melhor desempenho a custos competitivos. Concomitantemente, surgiu à necessidade de redução na probabilidade de falhas em produtos (sejam falhas que simplesmente aumentam os custos associados aos produtos ou falhas que possam implicar riscos sérios à segurança pública), o que resultou numa ênfase crescente em sua confiabilidade. O conhecimento formal resultante da análise de falhas e da mitigação de sua ocorrência provê uma rica variedade de contextos nos quais surgem considerações acerca da confiabilidade. (FOGLIATTO; DUARTE, 2009).

1.1 TEMA DE PESQUISA

Os estudos da confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, identificam os elementos que mais contribuem para as ocorrências de falhas em diversos equipamentos de um sistema. Muitas indústrias (em particular as de manufatura e aquelas em que riscos humanos estão potencialmente envolvidos com falhas na manutenção) têm percebido a importante conexão existente entre manutenção e confiabilidade e adotado programas de manutenção centrados em confiabilidade (RCM – *Reliability Centered Maintenance*). Esses programas têm por objetivo reduzir custos e aperfeiçoar a manutenção, promovendo melhorias na disponibilidade e segurança de equipamentos. O uso de técnicas de análise de confiabilidade possibilita um direcionamento mais efetivo dos investimentos de uma empresa, uma vez que permite inferir sobre os ganhos operacionais através de possíveis medidas para melhoria dos processos produtivos.

1.1.1 Aspectos Gerais

O setor de manutenção e grande parte do das plantas industriais ainda opera de forma reativa, aplicando manutenções corretivas ou manutenções preventivas muitas vezes, mal planejadas e insuficientes. Poucas empresas aproveitam o potencial de manutenção preventiva associada ao uso de técnicas preditivas, viabilizado por novas tecnologias disponíveis.

A indústria dos Estados Unidos gasta cerca de US\$ 300 bilhões por ano com a manutenção de seus ativos, e 80% do montante é aplicado para corrigir falhas inesperadas, ou seja, as intervenções corretivas. No Brasil, o investimento em manutenção é estimado em cerca de R\$ 130 bilhões por ano e o destino da maior parte desse recurso não é diferente. Isso nos mostra que é preciso investir cada vez mais em previsibilidade, algo que passa, necessariamente, pela Engenharia de Confiabilidade. (DA SILVA, 2013)

1.1.2 Aspectos Específicos

Para que os resultados finais sejam fidedignos com a realidade de um sistema, e representem ou não a necessidade de investimentos ou ações de melhorias, faz-se necessário o engajamento de equipes técnicas, que conheçam profundamente o processo em estudo. Sinergia entre operação, manutenção e engenharias, e, sobretudo um robusto sistema de aquisição de dados são aspectos fundamentais para o sucesso de um projeto de análise de confiabilidade de um sistema. Fato adicional é a utilização de softwares específicos, com capacidade de processar e tratar dados, poupar tempo e mitigar erros, desde que escolhidas e analisadas as distribuições de forma correta.

O conceito de confiabilidade em sistemas técnicos vem sendo aplicado há pouco mais de 50 anos. O conceito adquiriu um significado tecnológico após o término da Primeira Guerra Mundial, quando foi utilizado para descrever estudos comparativos feitos em aviões com um, dois ou quatro motores. Naquele contexto, a confiabilidade era medida como o número de acidentes por hora de voo. Durante a Segunda Guerra Mundial, um grupo de engenheiros

da equipe de *Von Braun* trabalhou, na Alemanha, no desenvolvimento dos mísseis V-1. Após o término da guerra, soube-se que todos os protótipos desenvolvidos falharam quando testados, explodindo antes (durante o voo) ou aterrissando antes do alvo. O matemático *Robert Lusser* foi contratado para analisar o sistema operacional dos mísseis. A partir de sua análise, *Lusser* propôs a lei da probabilidade de um produto com componentes em série, em que estabelecia que a confiabilidade de um sistema em série é igual ao produto das confiabilidades de suas partes componentes. Como consequência direta, sistemas em série compostos por muitos componentes tendem a apresentar baixa confiabilidade e o efeito da melhoria de confiabilidade dos componentes individualmente sobre o sistema tende a ser pequeno.

No final dos anos 50 e início dos anos 60, o interesse dos norte-americanos esteve centrado no desenvolvimento de mísseis intercontinentais e na pesquisa espacial, eventos motivados pela Guerra Fria. A corrida para ser a primeira nação a enviar uma missão tripulada à Lua, em particular, motivou avanços na área da confiabilidade, tendo em vista os riscos humanos envolvidos. Em 1963, surgiu, nos Estados Unidos, a primeira associação que reunia engenheiros de confiabilidade e o primeiro periódico para divulgação de trabalhos na área, o IEEE – *Transactions on Reliability*. Ao longo da década de 1960, diversos livros-texto sobre confiabilidade foram publicados.

Na década de 1970, o estudo da confiabilidade esteve centrado na análise dos riscos associados à construção e operação de usinas nucleares. A partir daí aplicações da confiabilidade nas mais diversas áreas se consolidaram. Knight (1991).

Em seu sentido mais amplo, confiabilidade está associada à operação bem sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas. Em análises de engenharia, todavia, é necessária uma definição quantitativa de confiabilidade, em termos de probabilidade. Tal definição, proposta por *Leemis* (1995), é apresentada a seguir: “A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas”.

Confiabilidade é definida como função de um período de tempo, o que implica em cinco consequências:

- (i) O analista deve definir uma unidade de tempo (por exemplo, minutos, horas ou anos) para a realização das análises;
- (ii) Os modelos que descrevem os tempos até falha utilizam a variável aleatória “T” (em vez de “X” como é comum na estatística clássica) para descrever o tempo até falha de um item;
- (iii) O termo tempo não deve ser interpretado literalmente, já que em muitos contextos o número de milhas ou o número de ciclos pode representar o tempo até falha de um item;
- (iv) O conceito de confiabilidade deve ser associado a um período de tempo ou duração de missão (não faz sentido afirmar que um item apresenta confiabilidade de 0,7, por exemplo, sem especificar durante qual período de tempo a análise do item foi realizada);
- (v) A determinação do que deveria ser usado para medir a vida de um item nem sempre é óbvia; por exemplo, o tempo até falha de uma lâmpada elétrica pode ser definido como o número contínuo de horas até a falha ou como o número somado de horas até a falha, considerando o número típico de acionamentos a que a lâmpada é submetida.

O último aspecto da definição de confiabilidade diz respeito à definição das condições ambientais de uso do item. Um mesmo produto pode apresentar desempenho distinto operando em ambientes de calor ou umidade intensos, se comparado a produtos expostos a condições climáticas amenas de uso.

Os conceitos de confiabilidade e qualidade são frequentemente confundidos entre si. A principal diferença entre esses dois conceitos é que a confiabilidade incorpora a passagem do tempo; o mesmo não ocorre com a qualidade, que consiste em uma descrição estática de um item. Dois transistores de igual qualidade são usados em um aparelho de televisão e em um equipamento bélico. Ambos os transistores apresentam qualidade idêntica, mas o primeiro transistor possui uma confiabilidade provavelmente maior, pois será utilizado de forma mais amena (em um ambiente de menor stress). Parece claro que uma alta confiabilidade implica alta qualidade; o contrário é que pode

não ser verdade. Os conceitos de qualidade e confiabilidade se inter-relacionam no projeto e na manufatura de produtos e em sua posterior utilização. A definição de qualidade pode ser subdividida em duas partes. Primeiro, qualidade está associada à capacidade de projetar produtos que incorporem características e atributos otimizados para atenderem as necessidades e desejos dos usuários; algumas características podem ser qualitativas, relacionadas a aspectos estéticos, por exemplo, ao passo que outras são especificadas como características quantitativas de desempenho. Segundo, qualidade está associada à redução da variabilidade nas características de desempenho.

Os principais conceitos associados à confiabilidade são: qualidade, disponibilidade, manutenibilidade, segurança e confiança. Tais conceitos são definidos na sequência tendo como base principal o texto das normas NBR ISO-8402 (1994) e 5462 (1994).

Qualidade pode ser definida como a totalidade de características e aspectos de um produto ou serviço que tornam possível a satisfação de necessidades implícitas e explícitas associadas ao produto ou serviço. De forma mais específica, qualidade é definida como cumprimento a especificações de projeto e manufatura com menor variabilidade possível, como visto na seção anterior. Disponibilidade é definida como a capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua função requerida em um determinado instante do tempo ou em um período de tempo predeterminado. O conceito de disponibilidade varia conforme a capacidade de reparo de uma unidade. Em unidades não reparáveis, os conceitos de disponibilidade e confiabilidade se equivalem. Em unidades reparáveis, os possíveis estados da unidade em um tempo t de análise são: funcionando ou em manutenção (isto é, sofrendo reparo). Nesses casos, costuma-se supor que reparos devolvam a unidade à condição de nova e trabalha-se com um valor médio de disponibilidade para a unidade, dado por:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MRT}$$

onde “A” (do inglês *Availability*) denota a disponibilidade média da unidade, *MTBF* é o tempo médio entre falhas (ou seja, o tempo médio de funcionamento da unidade) e *MRT* é o tempo médio até conclusão de reparos feitos na unidade que coloca o ativo em condições funcionais novamente e que compreende o tempo médio de logística somado (*MLDT*) ao tempo médio de reparo (*MTTR*). Nesse estudo contabilizaremos o *MLDT* como mínimo, considerando ter o sobressalente em mãos.

Mantenabilidade é definida como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, mediante condições preestabelecidas de uso, quando submetido à manutenção sob condições predeterminadas e usando recursos e procedimentos padrão. A mantenabilidade é um fator essencial no estabelecimento da disponibilidade de uma unidade.

Segurança é definida como a ausência de condições que possam causar morte, dano ou doenças ocupacionais a pessoas, bem como dano ou perda de equipamentos ou de propriedade. Uma definição alternativa de segurança substitui o termo “ausência” por “nível aceitável de risco”, já que em muitas atividades é impossível chegar-se a uma condição isenta de risco.

O termo confiança (ou dependabilidade) é utilizado para designar um coletivo que inclui a disponibilidade e seus fatores determinantes: o desempenho da confiabilidade, da mantenabilidade e do suporte técnico. Considerando-se os conceitos de confiança e confiabilidade como análogos; o termo confiança, estaria associado a uma definição mais ampla, não estritamente probabilística de confiabilidade.

A análise de disponibilidade de um sistema é fundamental para verificar as possíveis melhorias a serem realizadas nos subsistemas e equipamentos críticos para manter a meta de disponibilidade de uma unidade. A disponibilidade é influenciada pela confiabilidade e pela mantenabilidade, sendo fundamental a avaliação dos tempos de reparo e falha para definir os equipamentos mais críticos, ou seja, os que mais afetam a disponibilidade da unidade. A análise de confiabilidade dos sistemas críticos é fundamental para que se possa atuar de forma preventiva nas possíveis falhas dos equipamentos. A confiabilidade de um sistema é a probabilidade do sistema

funcionar sem apresentar falhas segundo as características previstas, por um determinado período de tempo. Para análise de confiabilidade de sistemas é necessário fazer a configuração segundo a lógica do diagrama de blocos, que podem representar as falhas combinadas dos processos, componentes e equipamentos.

1.2 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

O uso de vários conceitos ou metodologias de manutenção pode ser fator de discordância em grupos de trabalho, uma vez que, há uma tendência natural de optar-se pelo qual se tenha maior domínio. Metodologias já consolidadas, mas ainda pouco difundida em empresas de manufatura como siderurgias, tendem a serem apenas mais uma caso os resultados aplicados a um determinado processo não atinjam o resultado esperado. Comumente os fatores que podem levar ao insucesso estão entre outros como principais; baixo conhecimento do processo ou equipamento em estudo, pobre histórico ou banco de dados de baixa confiança de informações, dificuldade de análise prática para expurgar arestas com baixa relevância às informações necessárias e por fim, a má aplicação dos conceitos teóricos diante de softwares específicos. No estudo de caso em questão, especificamente uma limitação poderia ocorrer na análise de viabilidade econômica final, o que pode ser perfeitamente corrigida com apoio de analistas da controladoria. Portanto, conhecido o processo pelo autor e os processos similares de outras usinas comparações de taxas de escoamento são inevitáveis, assim como uma correlação quantitativa de equipamentos para a realização de um mesmo trabalho. Não há documentos que descrevam as análises projetadas, ou os existentes não são de fácil alcance. O que ocorre, na maioria dos projetos é que um modelo de capacidade de produção para o laminador é requerido aos principais fornecedores, e estes com intuito de redução de custos, não priorizam o subprocesso escoamento. Dessa forma torna-se quase inevitáveis reprojetos, upgrades, redundâncias e relocação de equipamentos. Visto serem os investimentos bastante disputados, inclusive dentro de diversas áreas de uma mesma empresa as perguntas a serem respondidas, entre outras, são:

- a. Qual o melhor momento para investir em projetos de melhoria?
- b. Quanto apropriar para uma nova demanda prevista, sendo conhecidas as perturbações e descontrola da economia nacional?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é demonstrar, através da análise de dados de confiabilidade, a necessidade de investimentos em um sistema de escoamento de bobinas de aço, estimando-se o aumento da produção de bobinas em 8% nos 3 anos seguintes.

1.3.2 Objetivos Específicos

Esse trabalho deverá também atender aos seguintes objetivos específicos para o alcance do objetivo geral:

- Demonstrar a disponibilidade atual do sistema de escoamento de bobinas através da metodologia RAM;
- Demonstrar os resultados atuais de crescimento da confiabilidade, do sistema de escoamento de bobinas;
- Demonstrar os atuais custos envolvidos através da análise de custo de vida dos equipamentos.
- Demonstrar a aplicação de metodologias conhecidas que embasem a conclusão desse trabalho.

1.4 JUSTIFICATIVA

O problema em estudo surge do aumento da necessidade de escoamento do produto final acabado com sustentabilidade, uma vez alcançada a atual meta de produção. O ganho financeiro será fator determinante para a priorização da execução do projeto o que nunca ocorre em curto prazo, o que nos leva a crer que uma “visão do amanhã” deve ser prevista com um grau de

confiança aceitável e com base em histórico de dados e troca de experiências de varias áreas.

A conclusão do estudo de forma acertada tem significativa relevância no sentido de embasar decisões que levarão a priorização de investimentos, sendo esses sempre disputados com outras áreas ou projetos.

Um dos principais fatores e motivador desse trabalho é superar o desafio de apresentar de forma embasada, o que já foi realizado empiricamente no passado atingindo resultados a serem superados nesse novo estudo. Ultrapassar limites de forma segura e eficaz, potencializando a produção com redução de custo, melhorando a margem de contribuição do produto final, maximizando os ganhos.

1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Entre as análises comumente utilizadas as do tipo RAM (“*Reliability, Availability, Maintainability*”) objetivam avaliar o desempenho de um equipamento ou sistema através da definição e melhoria dos componentes críticos, para que o sistema atinja a disponibilidade necessária. Na metodologia RAM, é conveniente que sejam utilizados softwares, como o BlockSim, que fornece uma plataforma para a análise da confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade de sistemas, utilizando a abordagem de diagrama de blocos de confiabilidade (RBD) e análise de árvore de falha (FTA). O software calcula a confiabilidade do sistema e a alocação ótima da confiabilidade por meio de cálculos algébricos. Fornece também um sofisticado simulador de eventos discretos para analisar a confiabilidade, a manutenibilidade, a disponibilidade, a capacidade máxima (*throughput*), o custo do ciclo de vida (*life cycle cost*) e outras análises relacionadas.

Aplicando essa metodologia podem-se disponibilizar, com embasamento técnico, resultados para que se alcance metas operacionais, reduzindo riscos e custos a partir da identificação de vulnerabilidades de partes de um sistema, como por exemplo, para o subprocesso de escoamento de bobinas aço, que poderia limitar a produção de um laminador de tiras a quente. Com base em dados capturados desse sistema, pode-se estimar a disponibilidade média, o tempo médio entre falhas, o número de falhas

esperadas e os custos dessas falhas ou se há aumento delas. Apurados e tratados a avaliação desses resultados permite garantir de forma mais assertiva a tomada de decisões estratégicas no que tange a priorização de investimento.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho realizado envolveu etapas, entre elas; pesquisa bibliográfica, estudo aos projetos de engenharia e consulta a alguns KPI's de empresas do grupo ArcelorMittal com processo similar. Os dados de falhas dos equipamentos relacionados foram extraídos de fonte confiável de controle e acompanhamento da produção e tiveram devida análise e tratamento. Depois de tratados esses dados foram inseridos no software *BlockSim* para simulação de eventos e análise da confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade do sistema, utilizando a abordagem de diagrama de blocos de confiabilidade (RBD - *reliability block diagram*). Posteriormente, foi utilizado o RGA (*reliability growth analysis*) que possui os modelos tradicionais para análise do crescimento da confiabilidade para facilitar as projeções e planejamentos futuros. O estudo foi realizado, quase que na totalidade, nas instalações da ArcelorMittal Tubarão, mas precisamente no departamento de produção de bobinas, sendo utilizados os recursos disponibilizados para os especialistas de confiabilidade como licença com acesso aos softwares supracitados.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta sucintamente o modo como abordaremos o assunto a ser estudado e as premissas necessárias para que se alcance os objetivos geral e específicos. Abrange alguns conceitos com base nas normas NBR e ISO, cita as ferramentas e as variáveis necessárias para que os dados históricos se tornem entradas válidas para os softwares utilizados. Ainda superficialmente menciona o cenário da indústria de forma geral com foco em confiabilidade de ativos.

No capítulo 2 é apresentado em detalhes o objeto de pesquisa, com a evolução da indústria com foco no objeto final, bobinas de aço. Abrange as

transformações do ferro e carvão para que se obtenha o produto final, aço. Mostra as empresas produtoras e suas respectivas localizações no cenário nacional. Adentra pelo grupo ArcelorMittal objetivando mostrar como nasceu a ArcelorMittal Brasil S/A e a unidade de Tubarão. Apresenta os atuais números de produção de placas e bobinas e culmina para detalhar o processo de fabricação de bobinas no laminador de tiras a quente. Finaliza detalhando o sistema de escoamento de bobinas alimentando de informações os capítulos seguintes.

O capítulo 3 explica como a metodologia e as ferramentas de confiabilidade foram utilizadas justificando o motivo da escolha dessas ferramentas como embasamento da conclusão final.

O capítulo 4 mostra a aplicação do referencial teórico, abordado no capítulo 3, ao objeto de pesquisa abordado no capítulo 2. Explica o procedimento para coleta e análise de dados, as considerações e simplificações adotadas e os resultados obtidos com os respectivos comentários.

O capítulo 5 procura responder os questionamentos levantados como os objetivos geral e específicos desse estudo. Conclui com a visão do autor a expectativa de atingir os resultados propostos embasados em metodologia robusta e consolidada apresentada nos capítulos anteriores.

CAPÍTULO 2

2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO AÇO NA INDÚSTRIA

2.1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo apresenta o objeto de pesquisa desse estudo, fundamentado naquele que está presente de alguma forma em quase todas as principais grandiosidades do homem, o aço. Traz ao leitor, de forma sucinta, a evolução desse impressionante produto que não para de evoluir, de se juntar, de se tonar liga, de ser mais leve, maleável, que procura adequar-se para atender ao homem de maneira cada vez mais segura, ora absorvendo energias como em longarinas automotivas, ora sendo robusto para aguentar elevadas pressões em tubulações de exploração de petróleo em camadas do pré sal.

Passando pelas etapas de transformação do minério de ferro, carvão, cal e ligas, comuns em qualquer lugar do mundo e adentra ao setor siderúrgico do Brasil. Particularmente explana a história e criação do grupo ArcelorMittal Brasil e por fim detalha o processo de transformação das placas em bobinas no laminador de tiras a quente da ArcelorMittal Tubarão. Com isso, atinge o objetivo principal desse estudo, que quer demonstrar a garantia de escoamento de bobinas nas quantidades requeridas focando no processo final de produção.

2.2 ASPECTOS GERAIS

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como adicionar-lhes propriedades, principalmente, como resistência ao desgaste, ao impacto e à corrosão. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo o aço passou a representar cerca de 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial. Basicamente, o aço é uma liga de ferro e carbono. O ferro é encontrado em toda crosta terrestre, fortemente associado ao oxigênio e à sílica. O minério de ferro é um óxido de ferro, misturado com areia fina. O carbono é também relativamente abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas. Na siderurgia, usa-se carvão mineral, e em alguns casos, o carvão vegetal. O carvão exerce duplo papel na fabricação

do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas (cerca de 1.500° Celsius) necessárias à fusão do minério. Como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. O processo de remoção do oxigênio do ferro para ligar-se ao carbono chama-se redução e ocorre dentro de um equipamento chamado alto forno. Antes de serem levados ao alto forno, o minério e o carvão são previamente preparados para melhoria do rendimento e economia do processo. O minério é transformado em pelotas e o carvão é destilado, para obtenção do coque, dele se obtendo ainda subprodutos carboquímicos. No processo de redução, o ferro se liquefaz e é chamado de ferro gusa ou ferro de primeira fusão. Impurezas como calcário, sílica etc. formam a escória, que é matéria-prima para a fabricação de cimento.

A etapa seguinte do processo é o refino. O ferro gusa é levado para a aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, mediante queima de impurezas e adições. O refino do aço se faz em fornos a oxigênio ou elétricos. Finalmente, a terceira fase clássica do processo de fabricação do aço é a laminação. O aço, em processo de solidificação, é deformado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras etc.

2.3 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O PROCESSO PRODUTIVO

Com a evolução da tecnologia, as fases de redução, refino e laminação estão sendo reduzidas no tempo, assegurando maior velocidade na produção. As usinas de aço do mundo inteiro classificam-se segundo o seu processo produtivo:

- a. Integradas - que operam as três fases básicas: redução, refino e laminação; participam de todo o processo produtivo e produzem aço.
- b. Semi-integradas - que operam duas fases: refino e laminação. Estas usinas partem de ferro gusa, ferro esponja ou sucata metálica adquirida de terceiros para transformá-los em aço em aciarias elétricas e sua posterior laminação.

- c. Não-Integradas, que operam apenas uma fase do processo: processamento (laminação ou trefilas) ou redução.

Além disso, em função dos produtos que preponderam em suas linhas de produção, as usinas também podem ser assim classificadas:

- De semi-acabados (placas, blocos e tarugos);
- De planos aços carbono (chapas e bobinas);
- De planos aços especiais / ligados (chapas e bobinas);
- De longos aços carbono (barras, perfis, fio máquina, vergalhões, arames e tubos sem costura);
- De longos aços especiais / ligados (barras, fio-máquina, arames e tubos sem costura).

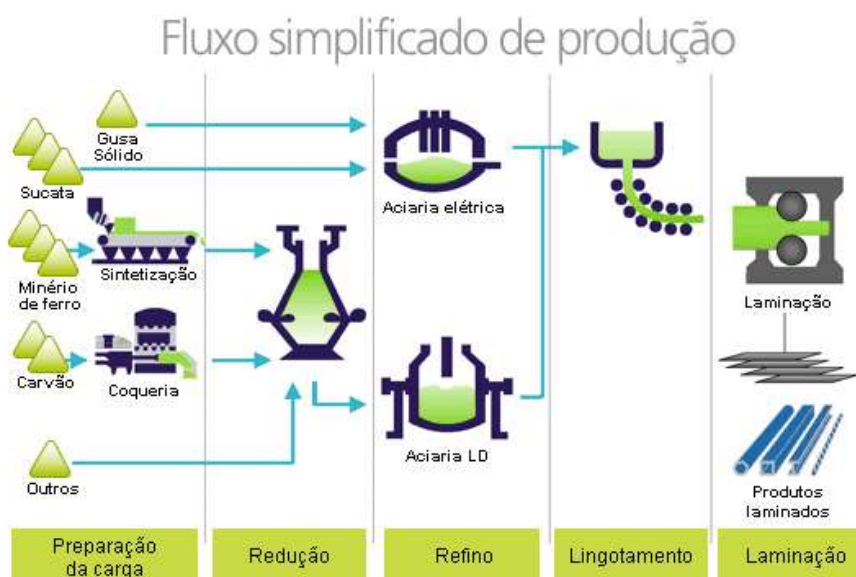
Entre as indústrias de transformação distingue-se, a de redução, que são os produtores de ferro gusa, os chamados “guseiros”, que têm como característica comum o emprego de carvão vegetal em altos fornos para redução do minério, mas que se trata de atividade industrial distinta. Nas de laminação, estão os relaminadores, geralmente de placas e tarugos, adquiridos de usinas integradas ou semi-integradas e os que relaminam material sucata. No mercado produtor operam ainda unidades de pequeno porte que se dedicam exclusivamente a produzir aço para fundições. As de trefilação são as unidades que dispõem apenas de trefilas, em que produtores de arames e barras utilizam o fio-máquina como matéria prima. De acordo com a CNAE / IBGE (instrumento de padronização nacional dos códigos de atividade econômica do país), a Metalurgia é uma divisão da seção das Indústrias de Transformação. É nessa atividade econômica que ocorre a conversão de minérios ferrosos e não ferrosos em produtos metalúrgicos e produtos intermediários do processo.

A Siderurgia, setor no qual ocorre a fabricação do aço em forma de semi-acabados, laminados, relaminados, trefilados e tubos sem costura, é classificada como um grupo específico na divisão de metalurgia, seção na qual estão inseridas outras atividades correlatas. Dentro da metalurgia, os produtores independentes de gusa e de ferro-ligas compõem outro grupo.

2.4 PROCESSO SIDERÚRGICO

O aço é produzido, basicamente, a partir de minério de ferro, carvão e cal. A fabricação e ou transformação do aço pode ser dividida em cinco etapas: preparação da carga, redução, refino, lingotamento e laminação. A figura 2.1 abaixo ilustra as principais partes desse processo.

Figura 2.1: Fluxo simplificado do processo de produção de aço.



Fonte: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html>

Na etapa de preparação da carga, grande parte do minério de ferro (finos) é aglomerada utilizando-se cal e finos de coque. O produto resultante é chamado de sinter. O carvão é processado na coqueria e transforma-se em coque. Logo os produtos de entrada para a próxima etapa, a redução, são sinter e coque.

Na etapa de redução o sinter e o coque são carregados no alto forno. O oxigênio aquecido a uma temperatura de 1000°C é soprado pela parte de baixo do alto forno. O carvão, em contato com o oxigênio, produz calor que funde a carga metálica e dá início ao processo de redução do minério de ferro em um metal líquido: o ferro-gusa. O “gusa” é uma liga de ferro e carbono com um teor de carbono muito elevado.

Na etapa de refino, as aciarias a oxigênio ou elétricas são utilizadas para transformar o gusa líquido ou sólido, e a sucata de ferro e aço, em aço líquido. Nessa etapa parte do carbono contido no gusa é removido juntamente com impurezas. A maior parte do aço líquido é solidificada em equipamentos de lingotamento contínuo para produzir semi-acabados (placas), lingotes e blocos.

Na etapa de laminação, os semi-acabados, placas, lingotes e blocos são processados por equipamentos chamados laminadores e transformados em uma grande variedade de produtos siderúrgicos, cuja nomenclatura depende de sua forma e/ou composição química.

2.5 PARQUE SIDERÚRGICO NO BRASIL

A indústria do aço no Brasil é representada por 14 empresas privadas, controladas por onze grupos empresariais e operando 30 usinas distribuídas por 10 estados brasileiros, levando o país a ocupar a 8ª posição no ranking da produção mundial. A figura abaixo mostra a distribuição das principais empresas siderúrgicas no Brasil.

Figura 2.2: Localização das empresas siderúrgicas no Brasil.



A privatização das empresas, finalizada em 1993, trouxe ao setor expressivo afluxo de capitais, em composições acionárias da maior diversidade. Assim, muitas empresas produtoras passaram a integrar grupos industriais e/ou financeiros cujos interesses na siderurgia se desdobraram para atividades correlatas, ou de apoio logístico, com o objetivo de alcançar economia de escala e competitividade. Entre elas está o grupo ArcelorMittal.

A ArcelorMittal é um conglomerado industrial multinacional de empresas de aço com sede em Luxemburgo. Foi formada em 2006, a partir da fusão da *Mittal Steel Company* e da Arcelor, estando presente em 60 países e é, o principal fornecedor de produtos de aço de qualidade em todos os principais mercados, incluindo o automotivo, de construção, de eletrodomésticos e de embalagens. Desde a sua criação, a ArcelorMittal cresceu rapidamente através de uma estratégia de consolidação bem sucedida com uma série de aquisições significativas. A ArcelorMittal é a sucessora da Mittal Steel, uma empresa originalmente criada em 1976 por Sr. *Lakshmi Niwas Mittal* (Sadulpur, 15 de junho de 1950), diretor executivo e presidente do conselho de administração. A ArcelorMittal foi criada através da fusão da Arcelor e Mittal Steel em 2006. O rápido crescimento da Mittal Steel desde 1989 tem sido o resultado da combinação de uma estratégia de consolidação bem-sucedida com uma série de aquisições significativas. Desde a criação de operações em Trinidad e Tobago em 1989, algumas de suas principais aquisições foram:

- Siderurgica del Balsas (México) em 1992;
- Sidbec (Canadá) em 1994;
- Karmet (Cazaquistão) e Hamburger Stahlwerke (Alemanha) em 1995;
- Thyssen Duisburg (Alemanha) em 1997;
- Inland Steel (EUA) em 1998;
- Unimetal (França) em 1999;
- Sidex (Romênia) e Annaba (Argélia) em 2001;
- Nova Hut (República Checa) em 2003;
- BH Steel (Bósnia), Balkan Steel (Macedónia);
- PHS (Polónia) e Iscor (África do Sul) em 2004;

- ISG (EUA), Kryvorizhstal (Ucrânia) em 2005 e três subsidiárias da Stelco Inc. (Canadá) em 2006.

A Arcelor foi criada em fevereiro de 2002 através da fusão da Arbed (Luxemburgo) fundada em 1911, Aceralia (Espanha) e Usinor (França). A Arcelor adquiriu uma participação majoritária na Companhia Siderúrgica Tubarao (agora uma parte da ArcelorMittal Brasil) em 2004, Huta Warszawa (Polônia) em 2005, uma participação majoritária na Sonasid (Marrocos), bem como em Dofasco (Canadá) em 2006. Também possui grandes instalações de produção de aço na Bélgica, Alemanha, Itália, Brasil e Argentina. Na época da fusão com a Mittal Steel, a Arcelor foi a segunda maior produtora de aço do mundo. Em 2007, a recém-fundida ArcelorMittal continuou a desenvolver uma estratégia de crescimento expansiva, com 35 transações anunciadas em todo o mundo. No início de 2008, a ArcelorMittal continuou a fazer investimentos, com transações significativas anunciadas na Austrália, Brasil, Canadá, Costa Rica, França, Rússia, África do Sul, Suécia, Turquia, Emirados Árabes Unidos, EUA e Venezuela, a maioria dos quais foram completado. Mas, à luz da deterioração da situação econômica durante 2008, a ArcelorMittal suspendeu a maior parte da atividade de investimento até o final daquele ano. Após a crise, a ArcelorMittal reiniciou, de forma cautelosa, certos projetos para captar o crescimento nos principais mercados emergentes e mineração. As despesas de capital na mineração duplicaram em 2011 para quase US \$ 1.3 bilhões, já que o grupo iniciou um importante programa de desenvolvimento destinado a expandir as minas existentes e a desenvolver novas.

A ArcelorMittal enfatizou consideravelmente o crescimento de seus negócios de mineração. A empresa reabriu uma série de projetos de desenvolvimento de aço, incluindo a otimização das operações de galvanização na Dofasco (Canadá), a primeira fase da expansão da Monlevade no Brasil, além de novos investimentos em Juiz de Fora para aumentar a capacidade da barra de derretimento e de vergalhão. Na Argentina, foi anunciada a construção de um novo laminador. A ArcelorMittal, juntamente com o seu parceiro Nippon Steel e Sumitomo Metal, adquiriu a instalação Calvert da ThyssenKrupp nos EUA. Esta foi uma aquisição estratégica para a

ArcelorMittal, demonstrando a liderança do setor da empresa e capacidade contínua para capturar oportunidades de valorização.

2.6 A COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO

O plano de construir uma produtora de aço no Espírito Santo começou a se desenvolver no início da década de 1960. O objetivo era aproveitar as vantagens logísticas de Vitória fazendo a integração com o sistema ferroviário, que traz minério de ferro de Minas Gerais, e o acesso ao mar, para receber um insumo fundamental, o carvão mineral, e escoar a produção.

No dia 13 de março de 1974, nasce oficialmente a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), como uma parceria entre o governo brasileiro e duas empresas internacionais, a japonesa Kawasaki e a italiana Finsider. A construção é iniciada com a terraplanagem em 27 de março de 1978 e, em 2 de maio de 1980, é dado o primeiro passo das obras civis, com a escavação para a implantação do Alto-Forno.

Figura 2.3: Área ocupada pela Companhia Siderúrgica de Tubarão



Fonte: <http://portalcorp.tubarao.com.br/Comunic/Paginas/default.aspx>

Em 30 de novembro de 1983, é realizada a inauguração oficial com a cerimônia de acendimento oficial do Alto-Forno que dá início à operação da usina. Resultado de um investimento da ordem de US\$ 3 bilhões, a planta é uma das maiores e mais modernas das Américas, com capacidade para produzir 3 milhões de toneladas de placas de aço por ano.

Figura 2.4: 1983 - Acendimento oficial do Alto-Forno.



Fonte: <http://portalcorp.tubarao.com.br/Comunic/Paginas/default.aspx>

A empresa finaliza o ano de 1989 como a terceira maior exportadora brasileira, apesar da crise mundial no segmento de placas de aço.

Figura 2.5: Vista dos alto fornos 1 e 2 da CST.



Fonte: <http://portalcorp.tubarao.com.br/Comunic/Paginas/default.aspx>

No dia 16 de julho de 1992, as ações da Companhia Siderúrgica de Tubarão são comercializadas em um leilão realizado na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro, consolidando a privatização da empresa.

Em 1998 Com a entrada em operação do Alto-Forno 2 e da segunda máquina de lingotamento contínuo, a capacidade de produção da empresa é elevada para 4,5 milhões de toneladas de placas por ano. No ano seguinte com a entrada em operação da terceira termelétrica, a empresa, que sempre produziu a maior parte da energia consumida internamente, torna-se autossuficiente e passa a negociar excedentes de energia no mercado.

Figura 2.6: 1989 - Gigante em placas



Fonte: <http://portalcorp.tubarao.com.br/Comunic/Paginas/default.aspx>

Em agosto de 2002, é inaugurado o Laminador de Tiras a Quente, planta que permite à empresa ampliar seu mix de produtos e passar a atuar no mercado brasileiro em um segmento de maior valor agregado.

Figura 2.7: 2002 - Inauguração do LTQ.



Fonte: <http://portalcorp.tubarao.com.br/Comunic/Paginas/default.aspx>

Após breve joint venture passa a se chamar Arcelor, e em 2006, a empresa é adquirida e incorporada ao Grupo ArcelorMittal, maior produtor de aço do mundo, e ganha a denominação atual: ArcelorMittal Tubarão.

Figura 2.8: Vista Geral da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: <http://portalcorp.tubarao.com.br/Comunic/Paginas/default.aspx>

Em 2013, a ArcelorMittal Tubarão completa trinta anos de operação com uma estratégia direcionada a ganhar produtividade; manter os indicadores de qualidade; alcançar o Zero Acidente; aprimorar a gestão ambiental; e participar cada vez mais do desenvolvimento sustentável do Espírito Santo, do Brasil e do setor de produção de aço mundial. Com excelente desempenho, em 2015, é escolhida como sede do 12º Centro de Pesquisa e Desenvolvimento do Grupo ArcelorMittal. A estrutura tem como objetivo alavancar a produção científica voltada para a inovação, estimulando o envolvimento das instituições acadêmicas e outras organizações capixabas na busca por soluções sustentáveis.

Em 2016, em um ano de grandes desafios, a ArcelorMittal Tubarão implanta projetos inovadores e colhe resultados recordes em produção, redução de custos, produtividade, indicadores sociais e ambientais. Os três Altos-Fornos atingem, pela primeira vez, a marca de 7,459 milhões de toneladas de gusa/ano; a Aciaria produz 7,034 milhões de toneladas de placas e o LTQ chega a quase 4 milhões de toneladas de bobinas no ano.

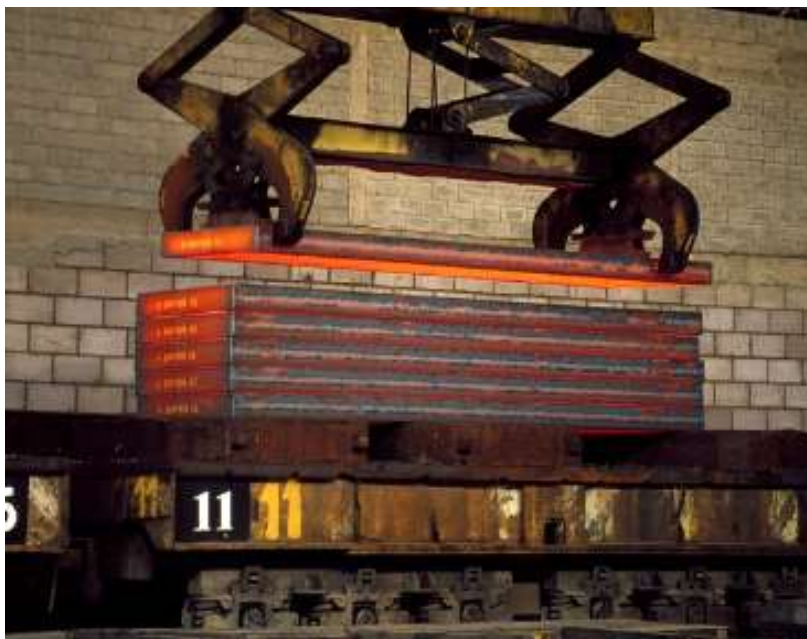
Figura 2.9: Foto do esboço no Coil Box.



Fonte: <http://portalcorp.tubarao.com.br/Comunic/Paginas/default.aspx>

Alinhada com o projeto do grupo “Action 2020”, um plano estratégico que visa US \$ 3 bilhões de melhoria estrutural do Ebitda e um fluxo de caixa livre anual de mais de US \$ 2 bilhões até 2020, a ArcelorMittal Tubarao arranca mais uma vez para atingir metas ainda mais ousadas, estimando produzir 4,5 milhões de toneladas de bobinas nos próximos 5 anos.

Figura 2.10: Produto da ArcelorMittal, placas de aço



Fonte: <http://portalcop.tubarao.com.br/Comunic/Paginas/default.aspx>

A ArcelorMittal Tubarão produz placas em diferentes tipos de aço, de forma a atender às mais diferentes aplicações de relaminação do mercado, com destaque para:

- Aços para estampagem IF (*Interstitial Free*), usado em especial na indústria automotiva para partes expostas;
- Aços para tratamento térmico;
- Aços para indústria naval;
- Aços estruturais ao carbono manganês;
- Aços estruturais do tipo HSLA (*High Strength Low Alloy*), com alta resistência e baixa liga;
- Aços para vasos de pressão;
- Aços para embalagens estanhadas (Tin Plate/Folha de Flandres);
- Aços para fins elétricos;
- Aços para a indústria de petróleo e gás das classes API 5L e API 5CT;
- Aços alto carbono;
- Aços de ultra alta resistência;
- Aços multifásicos de alta resistência, como Dual Phase e Trip.

2.7 PRODUÇÃO DE LAMINADOS A QUENTE

As bobinas laminadas a quente (BQ) são produzidas na ArcelorMittal Tubarão com espessuras que variam de 1,50 até 19mm e em larguras de 700 a 1.880mm, e podem ser produzidas em diferentes graus ou famílias de aço, atendendo às mais diversas aplicações. As bobinas laminadas a quente decapadas (BQD) são produzidas na ArcelorMittal Vega ou em parceria com a ArcelorMittal Gonvarri, a partir das bobinas laminadas a quente fornecidas pela ArcelorMittal Tubarão. As BQD's são fornecidas por essas unidades oleadas e se destinam a diversos segmentos de mercado, em especial para aplicações que demandam maior qualidade superficial como nas linhas de produção de automóveis, eletrodomésticos, implementos agrícolas, entre outros.

Figura 2.11: Produto da ArcelorMittal, bobinas de aço.



Fonte: <http://portalcorp.tubarao.com.br/Comunic/Paginas/default.aspx>

A usina também produz toda a energia que consome, por meio de termelétricas que utilizam os vapores e gases gerados no próprio processo produtivo. A Manutenção da ArcelorMittal Tubarão tem como objetivo a estabilidade operacional da planta, fator que propicia benefícios não só na produção mas também em diferentes aspectos da sustentabilidade como segurança, meio ambiente e resultados financeiros. O foco é a confiabilidade

dos equipamentos por meio da atuação de equipes capacitadas e de uma metodologia voltada à prevenção que está sempre sendo aprimorada, incorporando novas tecnologias. As equipes de manutenção trabalham integradas com as equipes de produção buscando alcançar a estabilidade operacional com segurança e eficiência.

2.8 O LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DE TUBARAO

Considerado um dos mais modernos do mundo, o LTQ entrou em operação em agosto de 2002 com capacidade de produção de 2,2 de toneladas de bobinas a quente por ano. Com melhoria continua atingiu após alguns anos a marca de 2,8 milhões de toneladas de bobinas a quente por ano. Graças a um novo projeto de expansão que levou a uma demanda de 4MMt/ano, a empresa passou a ser, em determinado período, a única produtora de aço no Brasil com condições de atender à demanda crescente por laminados a quente.

Figura 2.12: Vista externa do galpão de produção de bobinas a quente



Fonte: <http://portalcorp.tubarao.com.br/Comunic/Paginas/default.aspx>

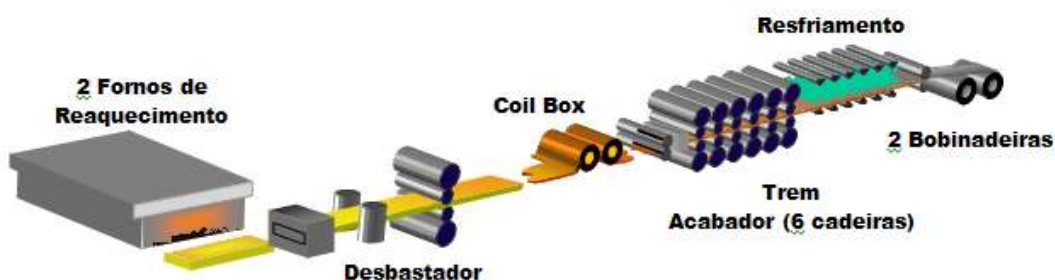
Entre os principais mercados a serem atendidos estão o automobilístico e o de construção civil, além de indústrias de eletrodomésticos, de embalagens e de bens de capital. Atualmente com o desafio da economia

para redução de custos utilizando-se da maximização da produção, pretende-se atingir até 2020 a marca de 4,5MMt/ano de bobinas a quente.

2.8.1 Processo de Laminação de Tiras À Quente (LTQ)

O processo de Laminação de Tiras à Quente atualmente produz cerca de 4,1 milhões de toneladas anuais, ou aproximadamente 500 mil bobinas e deverá elevar-se nos próximos anos para 4,5 milhões. As principais etapas deste processo são mostradas na figura a seguir:

Figura 2.13: c



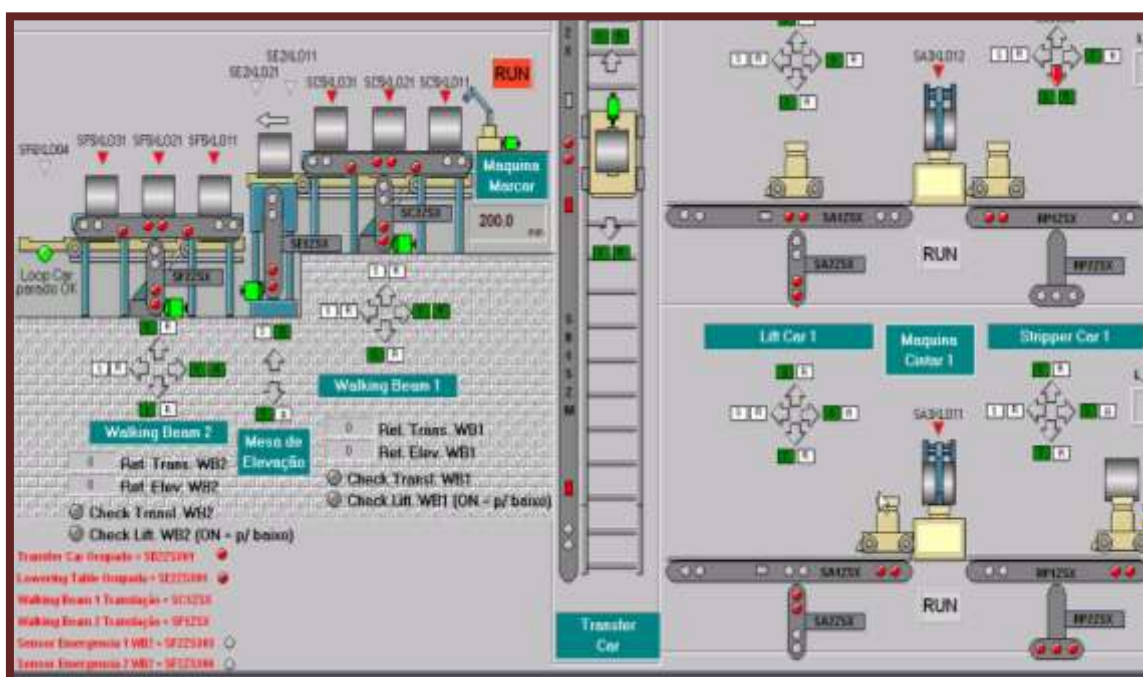
Fonte: Arquivo Próprio – Engenharia AMT

As placas selecionadas no pátio de placas formam instruções de laminação e, uma a uma, são colocadas no forno de reaquecimento para serem aquecidas até aproximadamente 1100°C. Tendo permissão para ser laminada a placa sequencial é desenfundada, e é colocada sobre uma mesa de rolos, que acelera atingindo uma velocidade pré determinada. Ao passar pela descarepação primária (equipamento que retira a carepa superficial da placa por alta pressão), inicia-se o controle de posição (*tracking*) da placa, através de sensores detectores de metal quente, durante todo o processo de laminação. Após a descarepação primária a placa recebe uma redução de largura no *vertical edger* (laminador vertical), e sequencialmente, redução de espessura no *roughing mill* (laminador desbastador), o esboço (nome dado à placa já reduzida no processo anterior), ao chegar no *coil box*, com cerca de 40mm de

espessura, é enrolado em forma de bobina (para que se mantenha uma uniformidade de temperatura, fundamental para entrada nas cadeiras de laminação). Na etapa seguinte, ocorre a “mordida” na cadeira F#1 (cadeira de laminação com quatro rolos, sendo dois de trabalho e dois de encosto), e sequencialmente nas demais cadeiras F#2 a F#6, onde o esboço é reduzido, atingindo a espessura visada no *set-up* para atender as características requeridas para o produto final. Ao passar por todas as cadeiras de laminação (trem acabador) a “tira” chega em uma das 2 bobinadeiras pre selecionadas e são enroladas originando a forma final desse produto.

2.8.2 Sistema de Escoamento de Bobinas – Coil Conveyor

Figura 2.14: Layout do Escoamento de bobinas do LTQ.



Fonte: Arquivo Próprio – Nível 1

A extração da bobina no mandril é feita pelo *stripper car* (carro de extração 1 ou 2) e é depositada em um berço para cintamento (caso esta bobina não tenha sido selecionada para inspeção de qualidade), conforme é mostrado na figura abaixo:

Figura 2.15: Máquina de Cintar.



Fonte: Arquivo Próprio

No instante que a bobina é depositada sobre o berço de cintamento, ela recebe uma nova identificação (ID), diferente daquela que tinha enquanto placa na saída do forno.

Após ser cintada, o *lift car* (carro de içamento 1 ou 2) retira a bobina do berço e a coloca sobre o *transfer car* (carro de transferência, que recebe as bobinas do carro de içamento 1, 2 ou 3) que a leva para a mesa de inspeção de qualidade ou para o *walking beam* 1, conforme é mostrada na figura abaixo.

Exclusivamente para o estudo em questão, não trataremos os equipamentos da linha de inspeção online de bobinas, entre eles:

- *Coil Lifting Car* N° 3 – Carro de Elevação N° 3;
- *Cradle Roller* - Berço de desbobinamento

O processo de escoamento de bobinas basicamente ocorre da sequencia a seguir: Extração (equipamento limite), máquina de cintar 1 ou 2 (depende qual bobinadeira foi ativada), lift car 1 ou 2 pelo mesmo motivo, transfer car (como figura abaixo), walking beam n° 1, maquina de marcar, mesa de abaixamento, walking beam n°2 e simultâneo cintamento pela maquina de

cintar nº 4 (a partir de 2017) . Esse último entrega a bobina para os carros de transporte de bobinas.

Figura 2.16: Carro de transferência de bobinas



Fonte: Arquivo Próprio

O walking beam 1 (equipamento formado basicamente de um único berço com três posições para posicionamento das bobinas) realiza ciclos de movimentos formando um retângulo, através de dois cilindros hidráulicos, sendo que os movimentos de subir e descer e transladar para frente e para trás são acionados por válvulas proporcionais.”

Figura 2.17: Máquina de marcar identificando a bobina sobre o WB1.



Fonte: Arquivo Próprio

Através de cada ciclo do walking beam a bobina “caminha” uma posição, sendo que, na posição 2 ela recebe uma identificação a tinta, trabalho realizado por um robô ABB. Essa identificação é necessária para tracking interno da bobina para que se saiba em tempo real onde esta localizada em vários pátios ou linhas de acabamento. Após três ciclos de movimento do walking beam 1, a bobina é depositada sobre a lower table (LT - mesa de abaixamento utilizada para transpor as bobinas do walking beam 1, que está em um nível superior, para o walking beam 2).

Figura 2.18: Ao centro, a mesa de abaixamento de bobinas.



Fonte: Arquivo Próprio

O walking beam 2 é similar ao walking beam 1 sendo que neste processo as bobinas “caminham” para serem posicionadas nos carros de transporte de bobinas, na área do despacho de bobinas, onde se inicia o sistema de transporte de bobinas do LTQ. Esse sistema formado por 12 carros de transportam uma bobina por vez, conforme mostra a figura abaixo. O circuito fechado corresponde a 1017m e durante esse trajeto poderá descarregar em 3 diferentes pontos dependendo da logística determinada pelo nível 2.

Figura 2.19: Carro de Transporte de Bobinas.



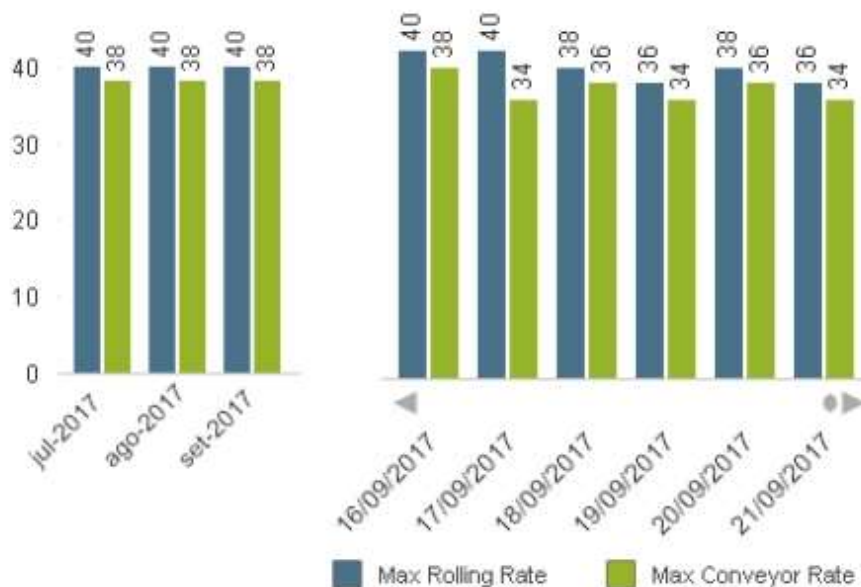
Fonte: Arquivo Próprio

As bobinas, após serem descarregadas são erguidas por meio de ponte rolante e são depositadas em suportes tipo sela com no máximo dois níveis de altura. Depois de descarregar a bobina, o carro vazio retorna ao walking beam 2 (saída da área de escoamento) para uma nova carga, enquanto os demais completam o seu ciclo automaticamente. Esse sistema de transporte não faz parte desse estudo, sendo conforme apresentado limite de escoamento (saída) do conveyor.

Para um correto controle de *bottlenecking* (entende-se, restrições ou gargalos) na produção de bobinas, índices de desempenho, KPI (*Key Performance Indicator*) são utilizados para cada subprocesso, o que não é diferente para a área de escoamento. A produtividade pode ser afetada caso não haja um correto sincronismo entre os equipamentos desse sistema. O índice mostrado na figura abaixo mede, informa e exige que ações de controle ocorram em sintonia com o mix produzido. Para a atual demanda de produção (em toneladas) de bobinas, uma vez que as bobinas têm dimensões diferentes, em função da largura, espessura e comprimento da tira o peso final de cada bobina pode variar principalmente entre 17 e 40t por bobina. A largura e o peso de cada bobina são representativas para cálculos de velocidade de

escoamento, influenciando diretamente a taxa de escoamento (bobinas por hora - b/h).

Gráfico 2.1: Taxa de escoamento de bobinas do LTQ (b/h) – 2017.



Fonte: Relatório diário operação LTQ

Verifica-se que o laminador alcançou a capacidade de produção, em determinados períodos do ano de 2017, a taxa de 40b/h (em azul, Max. Rolling Rate) enquanto foram escoadas bobinas a taxa de 38b/h. Nessas condições algumas bobinas impreterivelmente foram desviadas para um *Coil Buffer* para evitar a perda de produção em tonelagem. Os fatores limitadores à produtividade que tornam o sistema de escoamento “gargalo” são normalmente causados por atrasos de posicionamento ou falta de sincronismo e ainda por velocidade inadequada de cada equipamento desse sistema.

Quando esgotado os ajustes para controle de velocidade entre os equipamentos, alterar lógicas em intertravamentos, colocando-os menos rigorosos é um potencial recurso para o aumento da produtividade. Cabe ao engenheiro especialista avaliar e formalizar junto à equipe de operação e manutenção os riscos e benefícios operacionais para cada uma dessas mudanças.

2.9 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A ArcelorMittal Tubarão é uma unidade de produção integrada de aços planos, localizada na Região Metropolitana da Grande Vitória (ES), na região Sudeste do Brasil. Isso significa que a unidade realiza todas as etapas do processo: produção de coque, sínter e gusa, fabricação do aço líquido, lingotamento em placas e laminação. Com capacidade de produção anual de 7,5 milhões de toneladas de aço em placas e bobinas a quente, emprega diretamente cerca de 5,4 mil pessoas e outras 5,1 mil indiretamente. Sua localização, junto a um complexo logístico que inclui infraestrutura portuária, ferroviária e rodoviária, favorece a disponibilidade de insumos e matérias-primas, assim como o transporte de produtos para os mercados interno e externo. Junto com a unidade de Vega, instalada na Região Sul do Brasil, Tubarão faz parte do Grupo ArcelorMittal, maior produtor de aço do mundo. As duas plantas atendem ao segmento de aços planos produzindo placas, bobinas a quente, laminados a frio e galvanizados, comercializados para os mercados interno e externo. Na unidade de Tubarão, onde está instalado o laminador de tiras a quente são produzidas as bobinas de aço que alimentam o mercado nacional e a unidade de Vega. Com produção anual de 4,1MMt/ano está sendo desafiada a produzir 4,5MMt/ano até 2020. Uma breve descrição da usina, do laminador e da área de escoamento de bobinas enfatiza o desafio proposto. Por fim citam-se os elementos que compõem o sistema de escoamento de bobinas, que são o foco principal desse estudo, no que tange o cálculo da confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade atuais. Mostra o principal indicador de controle operacional, que servirá de referência para cálculos futuros da taxa de escoamento necessária, quando do aumento da produção, o que será tratado nos próximos capítulos.

CAPÍTULO 3

3 CONFIABILIDADE OPERACIONAL

3.1 INTRODUÇÃO

O maior desafio para as pessoas que estão envolvidas com a manutenção nas indústrias hoje em dia não é apenas saber das técnicas utilizadas na manutenção, mas decidir quais delas realmente são ou não são importantes para determinado ativo. Se forem realizadas escolhas certas, é possível melhorar o desempenho do ativo e ao mesmo tempo reduzir o custo de manutenção, aumentando sua confiabilidade operacional. Por outro lado, se houverem más escolhas, novos problemas são criados, enquanto, que aqueles que já existentes tendem a piorar.

De acordo com a teoria da confiabilidade e da manutenibilidade, a manutenção periódica ou preventiva tem a função de reduzir a incidência de falha no equipamento. No entanto, se o período de manutenção for muito curto, tanto o custo quanto a indisponibilidade aumentam, sem citar o fato de que a alta frequência de determinadas atividades podem reduzir a confiabilidade do sistema. Por outro lado, se o período de manutenção é muito longo, o alto potencial de falha do equipamento irá resultar em perdas indevidas agravadas pela perda do lucro cessante. Portanto, uma vez adotada a estratégia de realizar a manutenção periódica, estabelecer um período de manutenção razoável é a chave para a redução de custos mantendo a confiabilidade operacional. Porém, qual a maneira correta de fazer isto? Se realizarmos uma pesquisa na literatura, vários métodos são propostos para realizar cálculos de forma a encontrar um ponto ótimo de manutenção.

O objetivo da análise RAM (confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade) é avaliar o desempenho de um equipamento ou sistema através da definição e melhoria dos equipamentos críticos, para que o sistema atinja a disponibilidade necessária. Para realização da análise RAM é necessário levantamento dos modos de falha dos equipamentos, que causam perda para o sistema estudado, o histórico de falhas e o tempo necessário para reparar cada modo de falha. O segundo passo dessa análise é modelar o sistema segundo a metodologia do diagrama de blocos, que representa cada

equipamento considerado no sistema em série ou em paralelo, dependendo da lógica de perda gerada para o sistema. O terceiro passo é a simulação direta, que descreve o comportamento do sistema ao longo do tempo segundo as características de falha e reparo de cada equipamento, dando o resultado de disponibilidade final do sistema, sendo possível observar a contribuição no percentual de perdas de cada equipamento no sistema. O efeito de testes e atividades de manutenção realizados em um componente baseia-se em duas situações extremas. A primeira delas supõe que o estado do componente após a manutenção é “tão bom como novo”, o que significa que sua idade é restaurada para zero depois que uma atividade de manutenção é executada. A segunda opção assume que a manutenção deixa o componente em uma condição “tão ruim quanto velho”, significando que sua idade é a mesma depois de realizada a manutenção se comparada com a situação imediatamente antes da manutenção. Um programa de confiabilidade quando implementado com sucesso é visto como um método para obter vantagem competitiva sobre a concorrência. Pesquisas mundiais indicam que em indústrias de processo diversos, tais como refino e petroquímica, a confiabilidade tem sido utilizada para reduzir os orçamentos de manutenção em até 50%. Uma grande ferramenta utilizada para esta finalidade é o RCM (*reliability centered maintenance*) que tem o objetivo de analisar as falhas potenciais e definir as melhores estratégias de manutenção (preventiva, inspeção, preditiva, corretiva).

Especificamente, com relação à análise matemática, é fácil observar que para obter resultados através de cálculos complexos, é fundamental que haja uma base de dados histórica confiável. A falta desta e alguns outros problemas podem atrapalhar e até mesmo impedir que haja um bom trabalho de confiabilidade na organização. Dentre os diversos desafios a vencer, podemos citar; não apontamento de falhas e motivos de falhas.

A falta de apontamento de falhas, motivo e causa das mesmas é um dos principais problemas que atrapalham na análise dos equipamentos. Se não é possível medir, será difícil definir prioridades. É muito importante estruturar uma base de dados confiável e duradoura. Utilizando nosso exemplo, é fácil perceber que para determinar o ponto ótimo do mesmo, partindo-se do

princípio que deve haver pelo menos 3 apontamentos, precisamos de uma base sólida de aproximadamente 1 ano. Para estruturar uma boa base de dados, é muito produtivo lançar mão de ferramentas focadas em automação de dados, utilizando sistema de apontamento.

Erros de diagnóstico da operação e de manutentores; Tão ruim quanto não ter base histórica é ter uma apontamento de falhas que não reflete a realidade. Na maioria das vezes o apontamento não é realizado de forma correta e atrapalha toda a análise futura. Por exemplo, uma contaminação no óleo hidráulico que provoca a falha de um cilindro hidráulico. Ao realizar o reparo, o manutentor pode deixar de verificar a qualidade do óleo e constatar erroneamente que a falha foi do cilindro quando na verdade a causa raiz que deveria ser apontada seria a contaminação do óleo.

Falta de informações e documentação histórica de manutenção: Geralmente, após realizar a manutenção, o equipamento que sofre manutenção, as horas gastas, a quantidade de recursos humanos e os materiais utilizados, bem como a descrição das atividades devem ser registradas em um documento, normalmente denominado ordem de manutenção. Um problema que ocorre frequentemente é a falta de apontamento destas informações. Isto dificulta bastante uma análise profunda do histórico de custos e recursos necessários para os cálculos dos custos de manutenção corretiva e preventiva. Além disto, fica difícil estimar o tempo de atendimento para determinada falha.

Os estudos de Confiabilidade são muito importantes, porém mais importante ainda é trabalhar na confiabilidade da base do sistema. Deve-se ter uma rotina muito bem estabelecida com uma programação de manutenção adequada, utilização correta de documentos e equipe qualificada para realizar diagnósticos. Somente desta forma será possível aplicar cálculos complexos buscando a melhoria contínua. Com uma base bem fundamentada e informações sólidas, os estudos de confiabilidade proporcionam ganhos enormes para a organização e conseqüentemente aumentam sua competitividade perante o mercado.

3.2 CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE WEIBULL

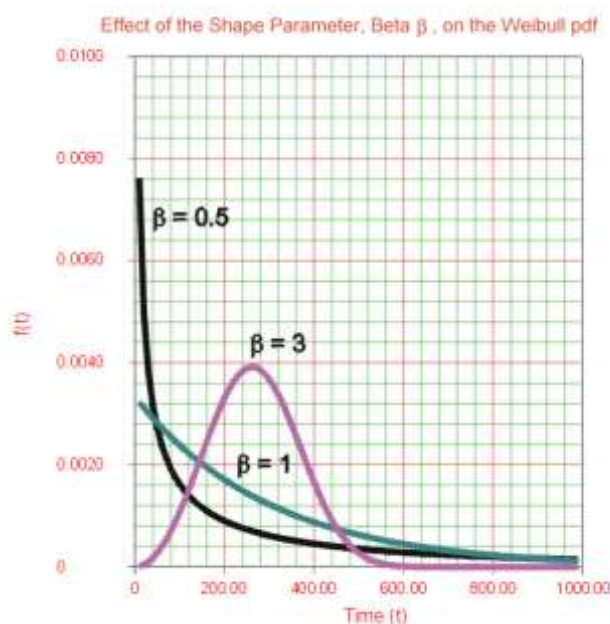
Em resumo a análise de Weibull, também denominada análise de dados de vida, é uma ferramenta de análise que a partir de uma amostra representativa, possui a funcionalidade de fazer previsões de um produto dentro de uma população. Isto é feito por “encaixe” em uma distribuição estatística de dados de vida e esta distribuição pode então ser utilizada para estimar características importantes da vida deste produto tais como confiabilidade ou probabilidade de falha em um período específico. A fórmula de Weibull pode ser representada pela fórmula:

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta}$$

Onde:

- F(t) é a probabilidade de falha para uma determinada amostra;
- t é o tempo até a falha;
- η é a característica de vida ou parâmetro de escala;
- β é o parâmetro de inclinação ou forma.

Figura 3.1: Efeito do parâmetro β na distribuição de dados de vida.



Fonte: <http://www.reliasoft.com.br/Weibull/index.htm>

O parâmetro de forma β indica se a taxa de falha está crescente, constante ou decrescente. Se $\beta < 1$, é um indicativo de que o produto está com a taxa de falha decrescente. Este cenário é típico da chamada “mortalidade infantil”, indicando que o produto falha logo no seu período de “nascimento”. Se $\beta = 1$, é um indicativo de falha constante. São componentes que após sobreviverem ao “nascimento” possuem uma taxa de falha constante. Se $\beta > 1$, temos então a situação de uma taxa de falha crescente. Este cenário é típico de produtos que falham por desgaste.

A análise de Weibull é um método de modelagem de dados conjuntos contendo valores maiores que zero (como exemplo, podem ser dados de tempo até a falha conhecido como *time-to-fail* (TTF). Uma característica importante desta análise, é que se houver a possibilidade de fazer uma coleta de 3 amostras, já é viável realizar o estudo de confiabilidade. Através da utilização de Weibull, é possível responder alguns problemas de engenharia.

3.2.1 Custos de Manutenção Preventiva x Corretiva

No estudo de confiabilidade, para o cálculo dos custos de manutenção corretiva, devem ser considerados, além do material e da mão-de-obra envolvida na atividade de reparo do componente, o custo das perdas causadas pelo lucro cessante.

Na prática, o lucro cessante pode ser calculado levando-se em consideração o tempo em que determinado equipamento ou máquina deveria estar produzindo e não produziu. É exatamente o que ocorre quando há a quebra ou falha de um componente da máquina que faz com que ela fique inoperante. Sendo assim, o lucro cessante é determinado quando é computado o lucro que a empresa deixou de ganhar durante o tempo em que a máquina ficou parada.

A manutenção preventiva é uma manutenção que pode ser programada antes de ser realizada. Como isto geralmente é realizado em conjunto com a operação, a empresa não considera este tempo para o planejamento da produção e por este motivo não ocorre a perda por lucro

cessante. Sendo assim, no cálculo do custo deverá ter somente o custo de mão-de-obra e o custo de material.

Consideramos adicionalmente o tempo de reparo da manutenção preventiva sendo exatamente o mesmo tempo gasto quando da manutenção corretiva, apesar que na prática este tempo tende a ser bem menor, justamente pelo fato da manutenção ser programada. Com o planejamento da atividade, o executante terá a disponibilidade imediata do material correto no momento da substituição (não haverá o tempo perdido de atender ao chamado da operação, deslocar até a máquina, primeiras análises, buscar o material no almoxarifado ou o risco de requisitar o material errado).

3.2.2 Cálculo do Ponto Ótimo de Manutenção

Para definir a melhor estratégia de manutenção é necessário que seja levado em consideração a probabilidade de falha do componente e sua confiabilidade ao longo do tempo. Somente desta forma, o custo poderá ser analisado fielmente como ocorre na realidade. Por exemplo, se após 3 meses, a probabilidade de um item sofrer manutenção corretiva for de 50% e o custo envolvido nesta manutenção for R\$ 200.000,00, é correto prever nos custos da empresa que em três meses irá incorrer uma despesa de manutenção corretiva, com este item, no valor de R\$100.000,00. Este resultado é o valor de manutenção multiplicado pela probabilidade de falha, ou seja:

$$\bullet Cmc (3 \text{ meses}) = Cmc \times \text{probabilidade de falha nos 3 meses}$$

$$\bullet Cmc = 200.000 \times 0,5 = R\$ 100.000,00$$

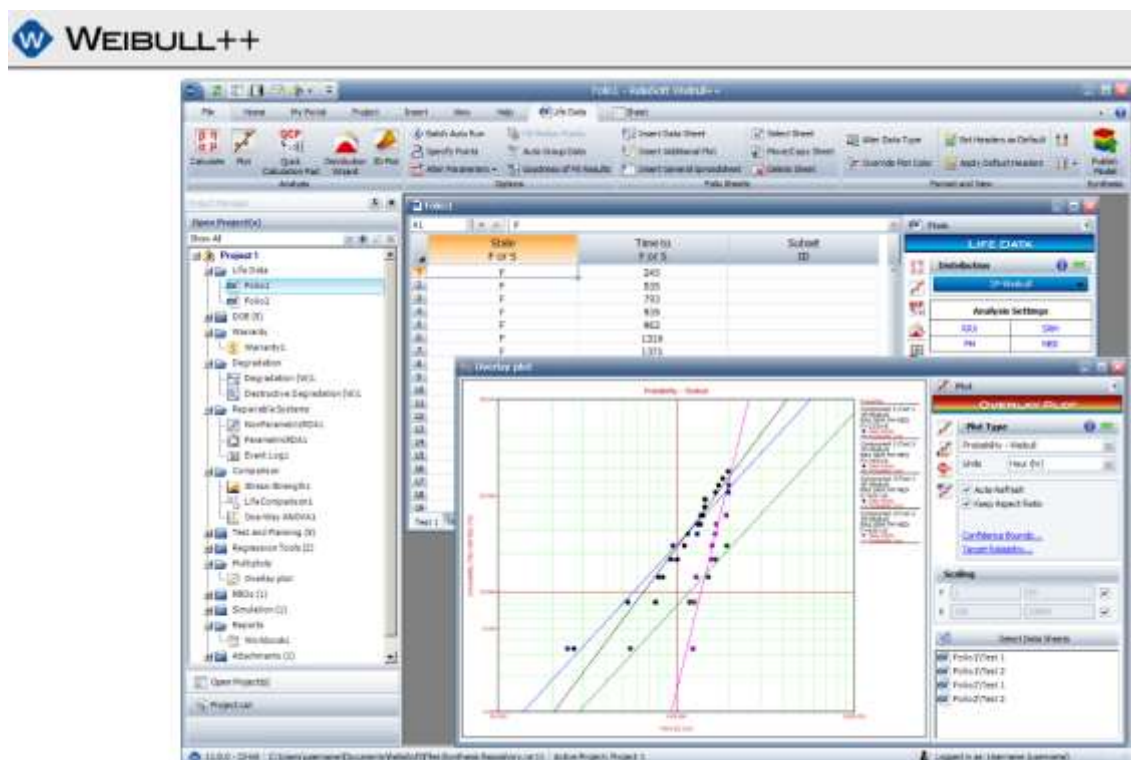
Devido aos motivos explicados acima, começa a ficar claro o porquê de utilizar a análise de Weibull atrelada aos custos para fechar o estudo da confiabilidade. Isto porque a análise de Weibull representa exatamente a probabilidade de falha do componente ao longo do tempo. Realizando as análises de regressão sobre a amostragem de tempo até a falha, pode-se obter os parâmetros beta e alfa, necessários para calcular as funções de confiabilidade e probabilidade de falha. É importante notar que o custo de manutenção preventiva por unidade de tempo é o equivalente ao custo da

manutenção preventiva multiplicada pela função confiabilidade $R(t)$ e dividido pela integral da função $R(t)$. Já o custo de manutenção corretiva é calculado de forma similar, bastando substituir a função confiabilidade $R(t)$ pela função $F(t)$ pertinente à probabilidade de falha. Utilizando a fórmula acima, agora é possível calcular os custos totais de intervenção e determinar o tempo ótimo de manutenção.

O software Weibull++ é o padrão para análise de dados de vida utilizado por milhares de companhias no mundo inteiro. Desenvolvido por uma equipe de especialistas da ReliaSoft, esse software realiza a análise de dados de vida utilizando distribuições estatísticas, com ênfase para todas as formas da distribuição Weibull. O software oferece um conjunto completo de ferramentas para a análise de dados de vida (análise de confiabilidade), permitindo diversos tipos de cálculos, gráficos e relatórios. Suporta diversas distribuições incluindo Weibull, Weibull Mista, Exponencial, Lognormal, Normal, Gamma Generalizada, Gamma, Loglogistic, Gumbel e Weibull-Bayesian. Inclui outras ferramentas para análises relacionadas à confiabilidade, como análise de dados de garantia, análise de degradação, análise de dados não paramétricos, análise de eventos recorrentes, delineamento de testes de confiabilidade e delineamento de experimentos (DOE). Entre as principais características estão:

- Analisar a confiabilidade de produtos, sistemas e processos;
- Determinar o período ideal de garantia;
- Realizar previsões de orçamento para peças de reposição;
- Prever os retornos de garantia (*forecast*);
- Determinar períodos para manutenção preventiva;
- Analisar quantitativamente os riscos;
- Comparar a confiabilidade entre fabricantes e/ou projetos.

Figura 3.2: Tela de exemplo de distribuição de dados de vida.



Fonte: <http://www.reliasoft.com.br/Weibull/index.htm>

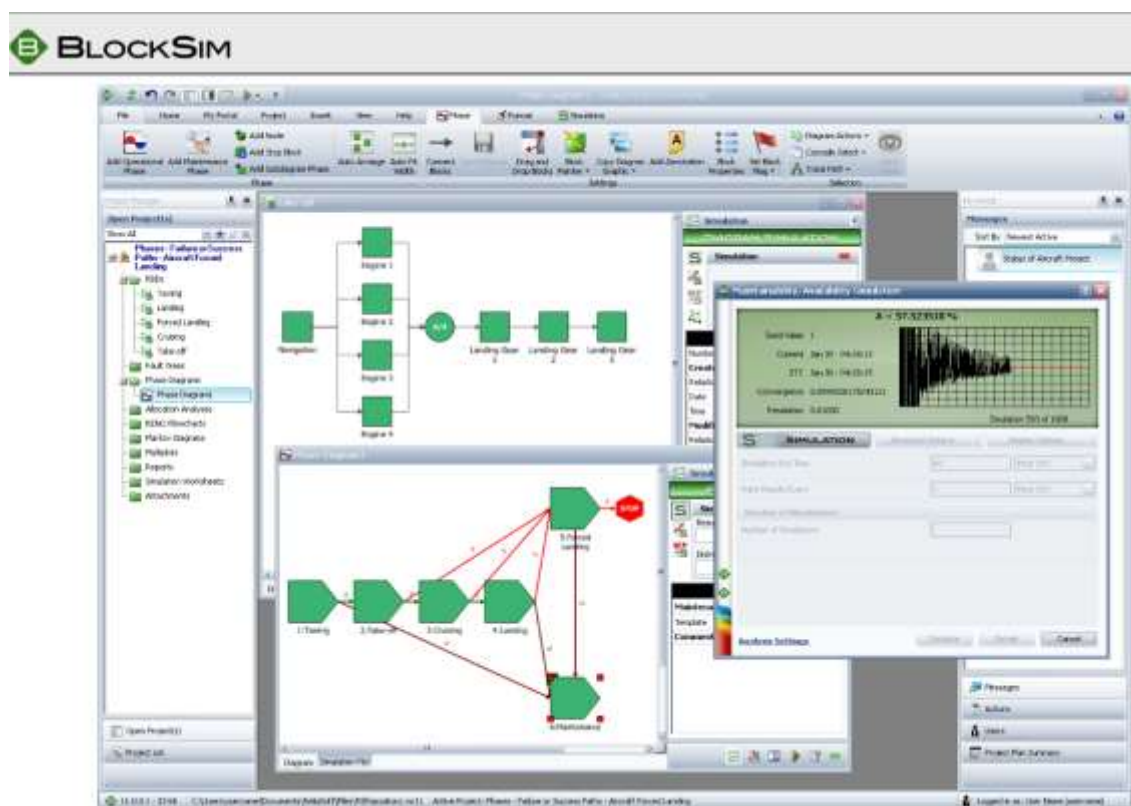
O gráfico supracitado, como exemplo, é construído baseado nas transformações de Y e X, onde a ordenada Y representa a probabilidade de falha acumulada, e a abscissa X representa o tempo (VAC). Estes dois valores devem ser conhecidos para que possamos plotar o gráfico. Então, conhecidos os valores de X e Y, facilmente plotamos a “cdf” dos dados. O parâmetro β é representado pela inclinação da reta. Os pontos plotados representam nossos dados, ou mais especificamente falando em análise de vida, dados de tempo até falha.

Em resumo, após lançados os dados de vida no software de análise pode-se verificar graficamente a distribuição desses dados em função do tempo, o Weibull++ cria automaticamente estas plotagens quando é escolhida uma distribuição em particular.

3.3 METODOLOGIA DO DIAGRAMA DE BLOCOS – RBD

O BlockSim possui uma completa e flexível plataforma para modelar sistemas e processos utilizando Diagramas de Blocos de Confiabilidade (RBD) e Análises de Árvore de Falhas (FTA). Possui diversas formas de configuração do RBD e das portas lógicas e eventos do FTA, incluindo funcionalidades para modelar sistemas complexos, carga compartilhada, redundância stand-by, diagrama de fases, ciclo de operação, etc. Utilizando cálculos analíticos e simulação de eventos discretos, o BlockSim oferece uma grande variedade de análises para sistemas reparáveis e não reparáveis. Isso inclui análise de confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade, otimização da confiabilidade, produção (*throughput*), alocação de recursos, custo do ciclo de vida (LCC - Life Cycle Cost) e outras análises.

Figura 3.3: Tela de exemplo do diagrama de blocos (RBD).



Fonte: <http://www.reliasoft.com.br/BlockSim/index.html>

Usando um algoritmo exclusivo da ReliaSoft, o BlockSim calcula analiticamente a função exata da confiabilidade do sistema, mesmo para os sistemas mais complexos. Os resultados calculados incluem confiabilidade, taxa de falhas, MTTF, tempo de garantia, Vida B(X), gráfico da “pdf”, gráficos de importância da confiabilidade. O usuário pode inserir informações de custo e melhoria de confiabilidade viável, para determinar a estratégia com o melhor custo-benefício para alcançar a meta de confiabilidade do sistema.

A capacidade de simulação do BlockSim para análise de manutenibilidade e de disponibilidade de sistemas reparáveis é mais real e sofisticada. Quando a simulação é utilizada, a análise pode considerar fatores como ciclos de operação, fatores de restauração, o tempo indisponível, os custos e a disponibilidade das equipes de manutenção e peças de reposição. O usuário também pode obter a modelagem apropriada para programação de manutenção que depende de outros componentes (pacotes de manutenção) e sistemas que passam por diferentes fases durante o tempo de sua operação (diagramas de fase). Os resultados da simulação podem ser utilizados em aplicações, incluindo:

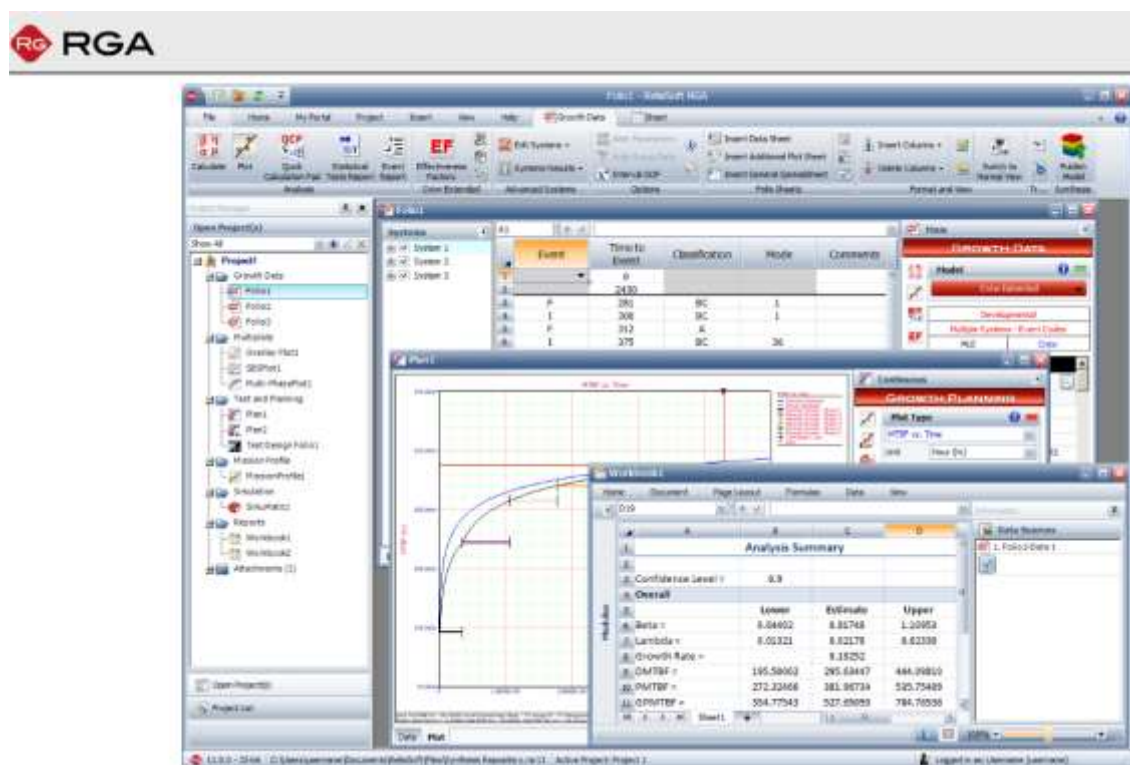
- ✚ Escolher a estratégia de manutenção mais eficaz, considerando segurança, custo e disponibilidade;
- ✚ Determinar o intervalo ideal para manutenção preventiva (PM);
- ✚ Gerenciar o estoque de sobressalentes, considerando fatores como custo, taxa de utilização, restrições de suprimento;
- ✚ Identificar os componentes que têm o maior impacto sobre a disponibilidade.

Além disso, a análise de *throughput* do BlockSim pode ser utilizada para identificar gargalos, otimizar a alocação de recursos e melhorar a eficiência de processamento do sistema. Sempre que aplicável, o BlockSim permite que o usuário especifique os custos diretos e indiretos, associados com as estratégias de manutenção definidas, gerando uma variedade de resultados de simulação que serão fundamentais para uma avaliação real do custo do ciclo de vida dos ativos.

3.4 CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE - RGA

O RGA possui incomparável capacidade de analisar dados de crescimento da confiabilidade durante a fase de desenvolvimento e também analisar sistemas reparáveis. Durante a fase de desenvolvimento, o software é utilizado para determinar o crescimento da confiabilidade para cada protótipo. Fornece métodos avançados para projeções, planejamento e gerenciamento do crescimento da confiabilidade. Para os sistemas que estão em campo, o RGA permite determinar o tempo ideal para realização de substituições (*overhaul*), além de uma série de resultados detalhados que normalmente são utilizados para a análise de um sistema reparável.

Figura 3.4: Tela de exemplo de aumento de confiabilidade (RGA).



Fonte: <http://www.reliasoft.com.br/rga/index.htm>

O RGA possui os modelos tradicionais para análise do crescimento da confiabilidade: Crow-AMSAA (NHPP), Duane, Standard Gompertz, Lloyd Lipow, Modified Gompertz e Logistic. Esses modelos podem ser utilizados para

análise de tempo até falha, dados discretos (sucesso/falha) e dados de confiabilidade. Além disso, o software oferece recursos inovadores que facilitam projeções e planejamento para diversas fases do programa e análises do crescimento da confiabilidade. O RGA auxilia criar planos de testes operacionais que balanceiam efetivamente todos os perfis que devem ser testados, de maneira a assegurar que a confiabilidade meta seja alcançada. Entre outras características, ainda poder ser referência para:

- ✚ Prever a maturidade ideal para a liberação de um projeto;
- ✚ Otimizar a estratégia de desenvolvimento de novos produtos;
- ✚ Analisar o desempenho da confiabilidade em sistemas reparáveis;
- ✚ Determinar o período ideal para realizar substituições/overhaul.

3.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Esse capítulo descreve, de acordo com a teoria da confiabilidade e da manutenibilidade, os tipos de manutenção, e as correlatam com os custos de particulares de execução e perdas operacionais. Nos força avaliar qual o modelo seria o mais adequado para análise de cada equipamento ou sistema de forma geral. Dispõe de informações a cerca do referencial teórico necessário para execução dos cálculos complexos que responderão as perguntas finais de conclusão desse estudo. Informa ao leitor do método utilizado para levantamento dos modos de falha dos equipamentos, menciona as características dos softwares utilizados para modelamento e simulação do sistema que traçou as curvas de cada equipamento. No próximo capítulo serão apresentados como foram encontradas as curvas de cada equipamento e do sistema como um todo. O cálculo da confiabilidade no período tratado, a manutenibilidade e disponibilidade atual. Simulará o crescimento da confiabilidade para atingimento da meta de produção culminando para a necessidade ou não de investimentos, com base na expectativa futura.

CAPÍTULO 4

4 CONFIABILIDADE DO SISTEMA DE ESCOAMENTO

4.1 INTRODUÇÃO

A confiabilidade, a manutenibilidade, e a correspondente disponibilidade de componentes e sistemas, normalmente demandam uma complexa e trabalhosa metodologia para ser calculada e analisada. Por isso, a obtenção de resultados práticos deve ser auxiliada por um procedimento conciso, com visão gerencial, e um caminho a ser percorrido. Atualmente, uma das grandes barreiras para os estudos de confiabilidade de equipamentos, sistemas e macro sistemas nas organizações é a inexistência de uma base de dados confiável, que possa representar a realidade das falhas e reparos dos equipamentos. Isso se deve a vários fatores, sejam eles estruturais, culturais, tecnológicos dentre outros. No entanto, pode-se verificar no estudo em questão, que existe uma estrutura bem definida de coleta de dados de falhas para os equipamentos dinâmicos e estáticos das linhas de produção, visto a diversidade de componentes de muitos equipamentos. Algumas melhorias podem ser necessárias, como a padronização dos modos de falha e a disponibilização de algumas ferramentas que facilitem a análise dos dados de confiabilidade. Na verdade os bancos de dados não são estruturados para realização de análise de confiabilidade e sim para a análise de falhas visando atender as políticas de manutenção, inspeção e de operação.

4.2 PROCEDIMENTO PARA COLETA E ANÁLISE DE DADOS NA AMT

O processo de aquisição de dados de vida inicia-se na configuração do sistema de Acompanhamento de Produção do LTQ, popularmente no meio industrial denominado simplesmente de “AP”. Através desse banco de dados são acessados os sistemas ou subsistemas e seus respectivos equipamentos. Dados como períodos de tempo (dia, mês, ano), motivo de parada (stop ou delay) podem ser configurados conforme a necessidade momentânea do usuário. A figura abaixo ilustra uma configuração como exemplo. Em destaque,

pode-se perceber que a produção de bobinas do LTQ foi interrompida (Tipo Parada = Stop), no dia 10/09/2017, as 20:54:00h, durante 4 min, devido a uma falha (Natureza “Elétrica”) pelo Motivo “Falha na Máquina de Cintar 3”, localizada no Conveyor /Walking Bean. Nessa ocasião, o turno que estava escalado era da equipe/letra “A”.

Figura 4.1: Tela de Acompanhamento de Produção do LTQ.

Mot	Tempo	Data Inicio	Data Final	Tipo Parada	Natureza	Descr	Natureza	Linha	Local	Agrupam	Descrição Motivo	Equipe
VQ	00:04:00	25/04/2017 08:47:00	25/04/2017 08:51:00	Stop	W	LOGÍSTICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		ATRASO NO DESPACHO DE BOBINA	A
VQ	00:05:00	05/01/2017 02:04:00	05/01/2017 02:09:00	Stop	W	LOGÍSTICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		ATRASO NO DESPACHO DE BOBINA	A
VM	00:20:00	30/09/2017 23:02:00	30/09/2017 23:22:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LB		CHAPA EXTRA GROSSA IMPREVISTA	C
LX	00:04:00	25/01/2017 02:37:00	25/01/2017 02:41:00	Stop	M	MECÂNICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NA MÁQUINA DE CINTAR 1	B
VQ	00:10:00	05/01/2017 20:45:00	05/01/2017 20:55:00	Stop	W	LOGÍSTICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		ATRASO NO DESPACHO DE BOBINA	A
VP	00:10:00	09/06/2017 03:44:00	09/06/2017 03:54:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NAS VIGAS CAMMIANTES 1	B
MC	00:05:00	30/06/2017 14:16:00	30/06/2017 14:21:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NO BARRAMENTO DOS CAR	B
LY	00:03:00	21/04/2017 00:40:00	21/04/2017 00:43:00	Stop	M	MECÂNICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NA MÁQUINA DE CINTAR 2	A
ME	00:04:00	22/09/2017 12:58:00	22/09/2017 13:02:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	D
MB	00:03:00	31/08/2017 20:12:00	31/08/2017 20:15:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NO CARRO DE TRANSPORT	D
LX	00:04:00	29/02/2017 13:32:00	29/02/2017 13:36:00	Stop	M	MECÂNICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NA MÁQUINA DE CINTAR 1	A
LS	00:03:00	13/01/2017 18:41:00	13/01/2017 18:44:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NO CARRO DE TRANSFERÊN	A
ME	00:09:00	17/07/2017 08:01:00	17/07/2017 08:10:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	B
MB	00:12:00	25/09/2017 17:32:00	25/09/2017 17:44:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NO CARRO DE TRANSPORT	A
VQ	00:04:00	13/06/2017 07:22:00	13/06/2017 07:26:00	Stop	W	LOGÍSTICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		ATRASO NO DESPACHO DE BOBINA	A
TE	00:19:00	02/09/2017 16:12:00	02/09/2017 16:31:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NO CORRETOR DE TELES	B
MD	00:05:00	24/08/2017 23:37:00	24/08/2017 23:42:00	Stop	M	MECÂNICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NAS VIGAS CAMMIANTES 1	B
MB	00:04:00	01/01/2017 20:03:00	01/01/2017 20:07:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NO CARRO DE TRANSPORT	D
ME	00:06:00	26/05/2017 05:40:00	26/05/2017 05:46:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	C
ML	00:04:00	10/09/2017 20:54:00	10/09/2017 20:58:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NA MÁQUINA DE CINTAR 3	A
ME	00:05:00	29/09/2017 11:35:00	29/09/2017 11:40:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	C
ME	00:03:00	16/07/2017 03:39:00	16/07/2017 03:42:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	D
ME	00:06:00	09/10/2017 16:31:00	09/10/2017 16:37:00	Stop	E	ELÉTRICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	D
VQ	00:05:00	09/01/2017 13:02:00	09/01/2017 13:07:00	Stop	W	LOGÍSTICA	LTQ	Conveyor / Walking Bean	LK		ATRASO NO DESPACHO DE BOBINA	D

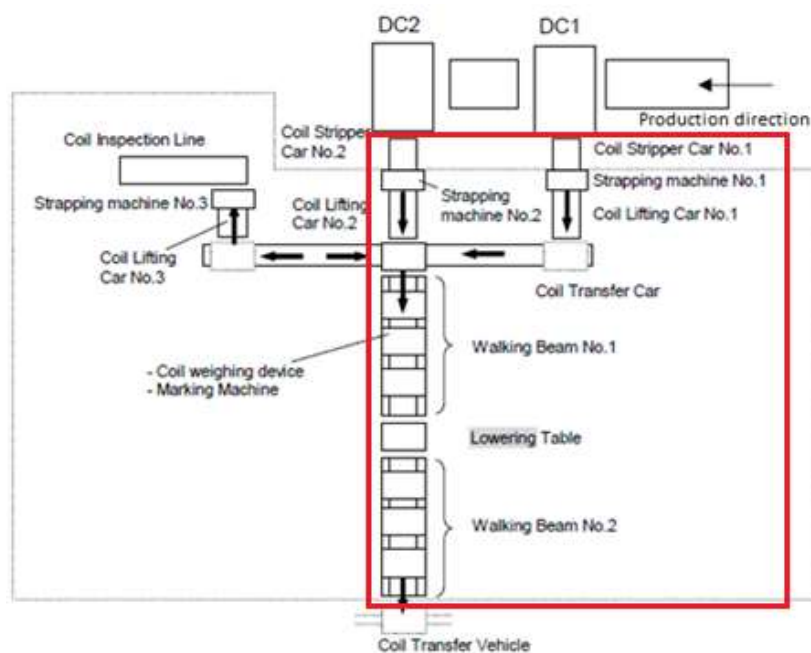
Fonte: Tela do AP – Sistema de Informação AMT

Esses dados são compilados e formam o banco de informações como mostrado acima, disponível para qualquer usuário cadastrado no sistema. Para que se sejam analisadas as informações apresentadas, faz-se necessário a exportação desses dados para aplicativos ou programas, como por exemplo, o Excel, que possibilita o reagrupamento e melhora a visualização dos dados de forma a apresentar a informação de interesse. Especialistas, normalmente engenheiros e técnicos, de cada subprocesso utilizam desse banco para encontrar os índices com baseiam a estrutura da análise de falhas, como MTBF e MTTR, que os levará a análise da confiabilidade do sistema de escoamento de bobinas, com recursos de softwares apropriados.

4.3 CONSIDERAÇÕES, PREMISSAS E SIMPLIFICAÇÕES

Após os dados serem exportados faz-se necessário formatá-los, objetivando prepará-los para que sejam utilizados nos adequados softwares de análise de confiabilidade. Para garantir a representatividade dos dados coletados, foram feitas entrevistas com os demais profissionais, especialistas, técnicos, operadores e supervisores de operação e de manutenção da área em estudo, sendo realizada uma análise qualitativa dos tempos de falhas e de reparo. Com base nas informações técnicas e nos dados do “AP” foi realizada uma análise crítica dos equipamentos que causam indisponibilidade no sistema e seus respectivos modos de falha.

Figura 4.2: Representação da área de escoamento de bobinas.



Fonte: Especificação Técnica da Área do Conveyor LTQ – Engenharia AMT

Os principais equipamentos na “linha de escoamento” e selecionados para esse estudo são conforme separados acima, mas não necessariamente na ordem ou sequência que são requeridos.

No processo normal de escoamento da produção de bobinas a configuração inicia-se pela extração da bobina do mandril respectivo de cada

bobinadeira. Nesse estudo consideraremos o início desse subprocesso pelo cintamento de bobinas realizados pelas máquinas de cintar 1 ou 2. A saber:

- *Strapping Machine* N° 1 – Máquina de Cintar N° 1
- *Strapping Machine* N° 2 – Máquina de Cintar N° 2
- *Coil Lifting Car* N° 1 – Carro de Elevação N° 1
- *Coil Lifting Car* N° 2 – Carro de Elevação N° 2
- *Coil Transfer Car* – Carro de Transferência de bobinas
- *Walking Beam* N° 1 – Viga Caminhante N°1
- *Marking Machine* – Máquina de Marcar
- *Lowering Table* – Mesa de Abaixamento
- *Walking Beam* N° 2 – Viga Caminhante N°2

Para esse estudo não foram desconsiderados os equipamentos da linha de inspeção de bobinas, por não serem “necessários” para o escoamento normal de bobinas. O principal objetivo da linha de inspeção é verificar, por amostragem, a qualidade superficial da bobina, para que defeitos de laminação sejam corrigidos ainda durante a instrução ou campanha programada. Quanto ao *Coil Transfer Vehicle* (12 carros automáticos de transporte de bobinas) fisicamente localizado no fim do sistema de escoamento (saída) considerou-se como outro sistema, e sua análise de confiabilidade poderá ser realizada e apresentada oportunamente. Para análise do sistema de escoamento foram considerados os equipamentos críticos que, em caso de falha, geram perdas parciais ou totais, retardando ou parando a produção. Em se tratando de perdas parciais, entenda-se como atrasos de até 3 minutos na produção. Esses atrasos, quando de forma sequencial para um mesmo equipamento, foram agrupados somando-se os “n” intervalos de até 3 minutos, sendo simplificados, dessa forma, em uma única falha.

Figura 4.3: Exemplo de simplificação dos dados de vida.

	A	B	C	K	L	M	N
1	Dados de falhas - Transfer Car - Jan a ago 2017						
2	Data	Horário inicial	Horário final	MTBF (HORA)	MTBF (MIN)	MTTR (MIN)	MTTR (HORA)
149	01/01/2017	16:30:00	16:34:00	46,42	2785	4	0,066667
150	08/01/2017	00:10:00	00:13:00	151,60	9096	3	0,05
151	13/01/2017	18:15:00	18:20:00	138,03	8282	5	0,083333
152	13/01/2017	18:41:00	18:44:00	0,35	21	3	0,05
153	13/01/2017	19:10:00	19:13:00	0,43	26	3	0,05
154	17/01/2017	07:29:00	07:33:00	84,27	5056	4	0,066667
155	22/01/2017	10:38:00	10:46:00	123,08	7385	8	0,133333
156	25/01/2017	16:41:00	16:46:00	77,92	4675	5	0,083333
157	28/01/2017	11:49:00	11:55:00	67,05	4023	6	0,1
158	05/02/2017	03:12:00	03:15:00	183,28	10997	3	0,05
159	11/02/2017	03:28:00	03:33:00	144,22	8653	5	0,083333
160	17/02/2017	09:32:00	09:38:00	149,98	8999	6	0,1
161	08/03/2017	14:13:00	15:07:00	460,58	27635	54	0,9
162	26/03/2017	15:45:00	15:48:00	432,63	25958	3	0,05
163	24/06/2017	20:26:00	20:29:00	2164,63	129878	3	0,05
164	29/06/2017	12:51:00	12:55:00	112,37	6742	4	0,066667
165	29/06/2017	12:57:00	13:00:00	0,03	2	3	0,05
166	03/07/2017	05:41:00	06:00:00	88,68	5321	19	0,316667
167	30/07/2017	03:42:00	03:46:00	645,70	38742	4	0,066667
168	22/08/2017	13:19:00	13:31:00	561,55	33693	12	0,2

Fonte: Arquivo próprio

A figura acima mostra os dados exportados do “AP” para o excel, no período de janeiro a agosto de 2017, relativos ao equipamento “Coil Transfer Car”. Esses dados foram agrupados e o MTBF e MTTR calculados. Utilizamos do intervalo entre falhas (MTBF) e a duração da falha ou tempo para reestabelecimento da função (MTTR) como dados de entrada nos softwares de análise de confiabilidade. Não foram considerados os tempos logísticos de transporte de sobressalentes separadamente, como muitas vezes citados por alguns autores.

4.3.1 USO DO SOFTWARE DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

A escolha de um ou mais softwares para cálculos e análises requeridas decorre quase que na totalidade da experiência de cada usuário, do recurso para acesso e da disponibilidade de licenças de uso. Nesse estudo aplicamos os dados de MTBF para cada equipamento do sistema no Weibull++, procurando encontrar os parâmetros que caracterizam seu modo de falha.

Posteriormente, através do BlockSim, modelamos o sistema, configuramos cada bloco com os parâmetros previamente encontrados e simulamos a confiabilidade, a disponibilidade e a manutenibilidade do sistema como um todo. Como exemplo, apresentaremos os dados e gráficos das análises para um determinado equipamento, o carro de transferência de bobinas (*coil transfer car*), mas deixamos entendido que esse mesmo método foi aplicado aos demais equipamentos desse sistema.

Figura 4.4: Carro de Transferência de Bobinas.

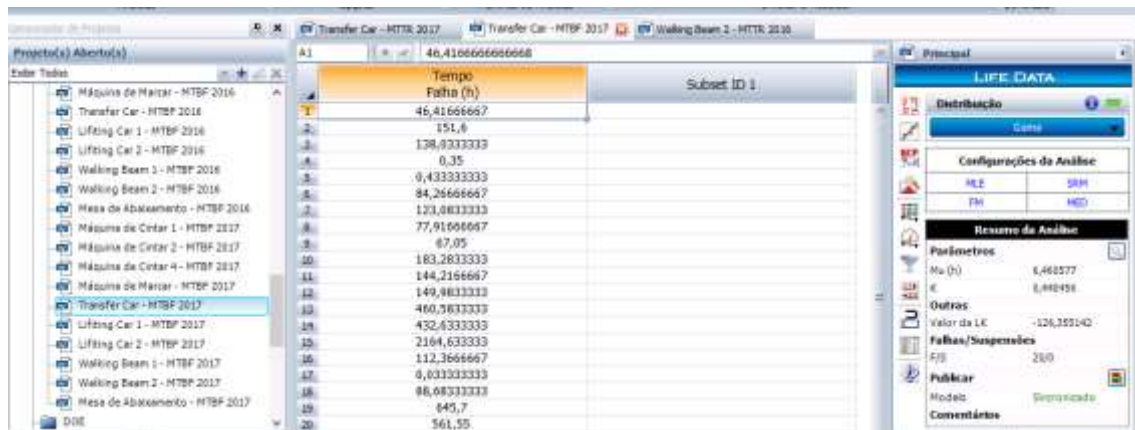


Fonte: Arquivo próprio

4.3.2 DADOS DE MTBF APLICADOS AO WEIBULL++

Uma vez extraídos os tempos de falha e sendo aplicadas as devidas considerações e simplificações, levamos esses dados, agora mais “refinados”, ao software de análise Weibull++, como ilustra a figura abaixo, para o carro de transferência de bobinas.

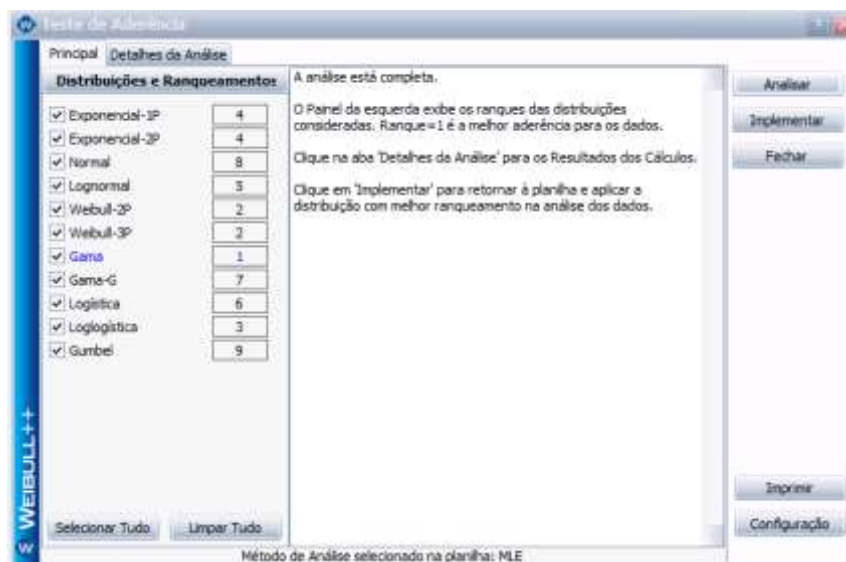
Figura 4.5: Dados de vida lançados no Weibull++.



Fonte: Arquivo próprio

Através do “teste de aderência” que é um ícone denominado “assistente de distribuição”, verifica-se qual a indicação da melhor distribuição para os referidos dados de vida. Nesse exemplo, a distribuição Gama foi a melhor posicionada no ranque, tendo, portanto a melhor aderência para os dados. Isso não significa que apenas ela poderia ser usada, ficando a critério do usuário, decidir por outra distribuição, como Weibull-3P (utilizada no estudo), por exemplo.

Figura 4.6: Teste de aderência para os dados de vida do Transfer Car.



Fonte: Arquivo próprio

Uma vez escolhida a distribuição mais adequada com a ação de “Plotar” o gráfico e parâmetros da distribuição são mostrados. Isso deve ser feito para cada equipamento de um sistema, porém podemos ter todas as curvas, se na configuração de múltiplos gráficos, como apresentadas na figura abaixo. Uma análise mais aprofundada de cada curva poderia ser parte de novos estudos, porém para o estudo corrente vamos nos prender a apresentar os resultados finais desse sistema.

Figura 4.7: Gráfico das curvas de Confiabilidade Vs. Tempo – 2016.



Fonte: Arquivo próprio

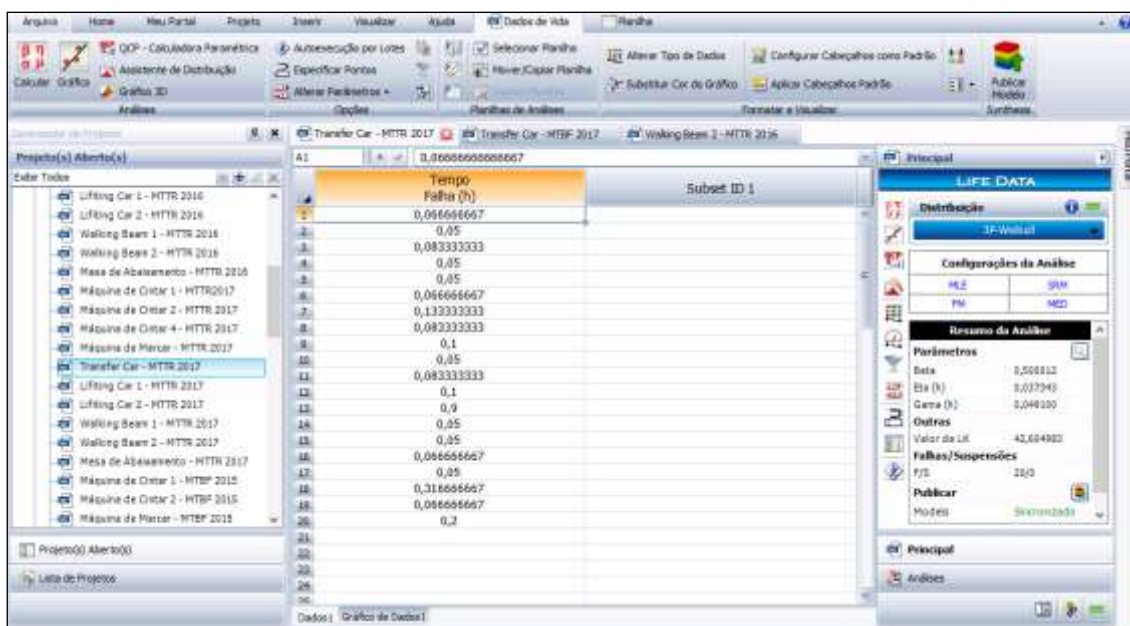
Interessante notar características diferentes para cada equipamento, mas notoriamente poderíamos separar em dois principais grupos de equipamentos, os eletromecânicos e os transportadores. O conjunto de equipamentos eletromecânicos deve conter as máquinas de cintar e de marcar com eletrônica embarcada, diversos modelos de sensores, cartões e controladores lógicos. Para os transportadores, devemos nos referir aos equipamentos mecânicos com acionamentos hidráulicos (*Lift Cars*, *Transfer Car*, *Mesa de Abaixamento* e *Walking Beam*), que transladam sobre trilhos e esses desgastam ao longo do tempo (indicativo de Beta bem maior que 1). Quanto ao primeiro grupo, há predominância de falhas aleatórias e muitas vezes com alta impacto em MTTR, principalmente por conta do diagnóstico da

falha, procurando entender a causa raiz, motivo pelo qual redundâncias para esse grupo são sempre desejáveis quando viáveis.

4.4 MODELAGEM EM RBD

A simulação no BlockSim tem como objetivo, a verificação dos resultados da disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade, em um período de tempo, e as especificam com base na modelagem definida para cada sistema, subsistema ou equipamentos, considerando as funções densidades de falha e reparo dos equipamentos. As simulações dos equipamentos supracitados ocorreram separadamente para avaliação das eficiências individuais de cada um, para posteriormente serem utilizados no modelo do sistema. Dessa forma pode-se verificar a influencia de cada equipamento para o sistema e conseqüentemente na produção. Utilizamos dos parâmetros retirados dos dados de MTTR para configurar cada bloco. No exemplo da figura abaixo mostramos os parâmetros para o carro de transferência de bobinas, mais precisamente na distribuição de Weibull-3P, os parâmetros Beta, Eta e Gama que configuraram o bloco do respectivo equipamento.

Figura 4.8: Diagrama de bloco dos equipamentos em 2016.

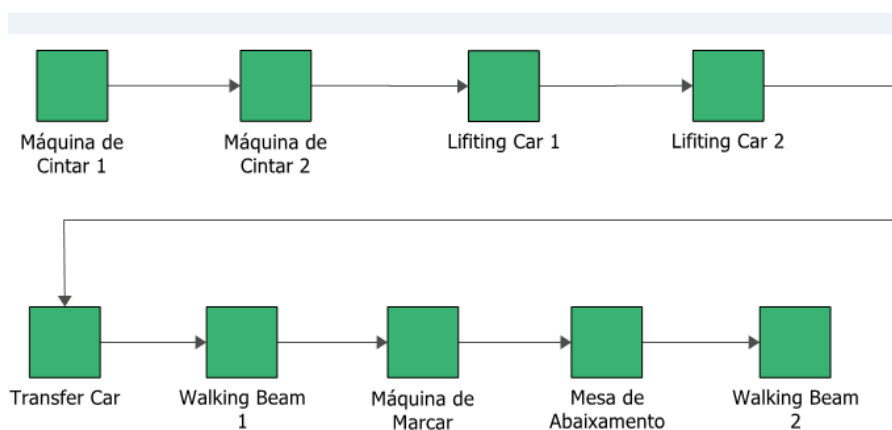


Fonte: Arquivo próprio

Com base nas premissas gerais, e segundo a metodologia do diagrama de blocos, o sistema de escoamento de bobinas foi modelado conforme mostra a figura abaixo (topologia até o ano 2016).

Os dados de cada equipamento simulados através da metodologia do BlockSim mostraram quantitativamente e qualitativamente o quanto o sistema de escoamento de bobinas pode impactar ou não a produção de bobinas em determinado período de tempo.

Figura 4.9: Diagrama de bloco dos equipamentos escoamento de bobinas.



Fonte: Arquivo próprio

A concepção do layout de escoamento de bobinas da ArcelorMittal Tubarão tem características pouco similares com outras empresas do grupo, onde a maioria consiste de duas ou mais vias paralelas e independentes, normalmente uma via para cada bobinadeira. As máquinas de cintamento automático foram posicionadas logo após a extração da bobina do mandril, estando suscetíveis a intempéries como alta temperatura, vapor d'água e vibrações, que foram em várias análises de falha, causa raiz de parada de produção.

Aumentar de produtividade no escoamento de bobinas significa transportar bobinas de maior peso a uma determinada velocidade, ou para bobinas de menores dimensões e conseqüentemente menor peso, deslocá-las a velocidades bem maiores. Para escoar toda a produção, fazem-se necessários eventuais ajustes nos tempos de ciclo de cada equipamento. Esse aumento, procurando maximizar a produção, realizado de forma empírica,

apesar de muitos benefícios e fundamental para a empresa, também mostrou que novas ações de manutenção seriam necessárias, como a revisão dos planos de inspeção e manutenção e trabalho em confiabilidade de sistemas. Aumentar a produção também significou um aumento de falhas e ou atrasos, fazendo dessa área “gargalo” para atingimento das metas operacionais. Aliada a isso também subiram os custos de manutenção e conseqüentemente o custo de produção. Aplicando-se varias metodologias qualitativas de análise de falhas e procurando baixar o UMSR de cada setor, chegou-se a conclusão que a atuação em equipamentos de menor disponibilidade deveria ser reforçada.

Um conceito importante para o estudo da disponibilidade de um sistema é o de manutenibilidade que é a probabilidade de um dado equipamento ser reparado em um período de tempo previsto. Isso irá impactar na disponibilidade do equipamento, que pode ser entendida como a probabilidade do equipamento estar disponível em um determinado tempo. Na verdade a disponibilidade é impactada não só pela manutenibilidade, mas pela confiabilidade dos equipamentos. Dessa forma, quanto maior a confiabilidade e a manutenibilidade, maior será a disponibilidade. As relações da manutenibilidade e confiabilidade com a disponibilidade são resumidas quadro a seguir:

Quadro 4.1 – Disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade.

Confiabilidade	Mantenabilidade	Disponibilidade
Aumenta	Aumenta	Aumenta
Constante	Aumenta	Aumenta
Constante	Diminui	Diminui
Aumenta	Constante	Aumenta
Diminui	Constante	Diminui
Diminui	Diminui	Diminui

Fonte: Eduardo Calixto (2008)

De maneira geral, a análise de um sistema deve levar em consideração a confiabilidade e a manutenibilidade, pois estas afetarão a disponibilidade do sistema. Por meio desta análise é possível identificar quais são os equipamentos críticos em termos de manutenção e falha, para que se possa

tomar a melhor decisão para gerar a maior disponibilidade a um menor custo. A tabela abaixo, com dados extraídos do BlockSim, mostra que as máquinas de cintar 1 e 2 tiveram a menor disponibilidade com alta criticidade de falha em 2016. Isso significa que falharam muito e, além disso, destinava-se um elevado tempo de reparo para alguns modos de falhas.

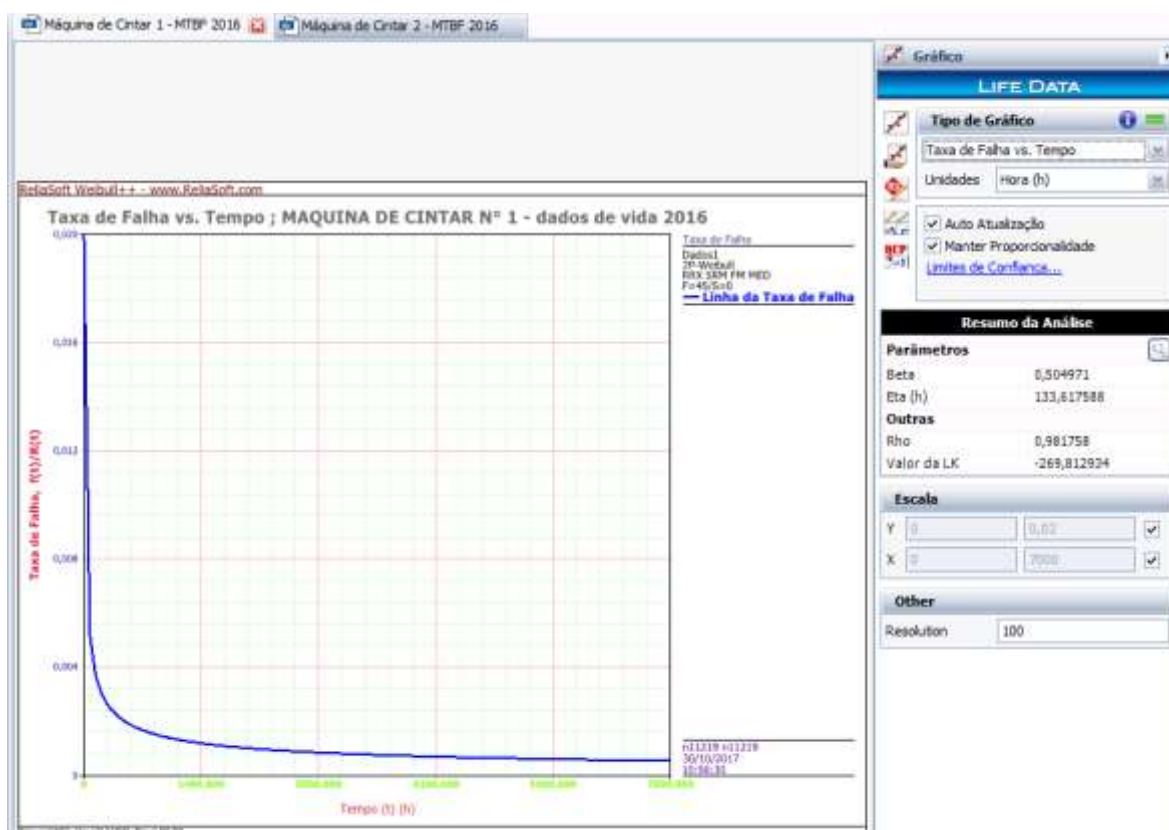
Tabela 4.1: Dados após análise no BlockSim – 2016.

Ranqueamento com base no BlockSim - 2016			
Disponibilidade		Criticidade de Falha	
Nome do Bloco	Disponibilidade	Nome do Bloco	RS FCI
Walking Beam 1	99,98%	Máquina de Cintar 1	42,89%
Mesa de Abaixamento	99,97%	Máquina de Cintar 2	36,30%
Walking Beam 2	99,97%	Máquina de Marcar	5,23%
Lifting Car 2	99,94%	Transfer Car	4,44%
Lifting Car 1	99,91%	Lifting Car 1	4,35%
Transfer Car	99,89%	Lifting Car 2	2,81%
Máquina de Marcar	99,88%	Walking Beam 1	1,67%
Máquina de Cintar 2	99,56%	Walking Beam 2	1,18%
Máquina de Cintar 1	99,53%	Mesa de Abaixamento	1,12%
N° de Falhas esperadas		Tempo de Parada por Criticidade	
Nome do Bloco	# Esperado Falhas	Nome do Bloco	RS DTCT
Máquina de Cintar 1	594,476712	Máquina de Cintar 1	34,69%
Máquina de Cintar 2	503,150685	Máquina de Cintar 2	32,37%
Máquina de Marcar	73,641096	Máquina de Marcar	8,96%
Transfer Car	61,558904	Transfer Car	7,94%
Lifting Car 1	60,260274	Lifting Car 1	6,31%
Lifting Car 2	39,016438	Lifting Car 2	4,15%
Walking Beam 1	23,145205	Walking Beam 2	2,06%
Walking Beam 2	16,40274	Mesa de Abaixamento	1,87%
Mesa de Abaixamento	15,479452	Walking Beam 1	1,65%
Tempo Indisponível		Tempo Disponível	
Nome do Bloco	Tempo Indisponível do Bloco (h)	Nome do Bloco	Tempo Disponível do Bloco (h)
Máquina de Cintar 1	40,964807	Walking Beam 1	8758,053178
Máquina de Cintar 2	38,232577	Mesa de Abaixamento	8757,795
Máquina de Marcar	10,586413	Walking Beam 2	8757,561428
Transfer Car	9,381615	Lifting Car 2	8755,10452
Lifting Car 1	7,44936	Lifting Car 1	8752,55064
Lifting Car 2	4,89548	Transfer Car	8750,618385
Walking Beam 2	2,438572	Máquina de Marcar	8749,413587
Mesa de Abaixamento	2,205	Máquina de Cintar 2	8721,767423
Walking Beam 1	1,946822	Máquina de Cintar 1	8719,035193

Fonte: Arquivo Próprio – Relatório BlockSim do estudo corrente.

Um dos modos de falha conhecidos por meio de análise qualitativa como o FMEA, comprova fielmente os parâmetros e afirmações supracitadas; realizar a troca do motor pneumático do cabeçote de cintamento em manutenção corretiva não programada. Esse serviço requer *know how* específico e são gastos inevitáveis tempos elevados para desmonte de todo o cabeçote e reajustes após troca. Note no gráfico abaixo os parâmetros da máquina de cintar nº1, com dados de vida de 2016, como exemplo.

Figura 4.10: Parâmetros da máquina de cintar nº1 com dados de vida de 2016.

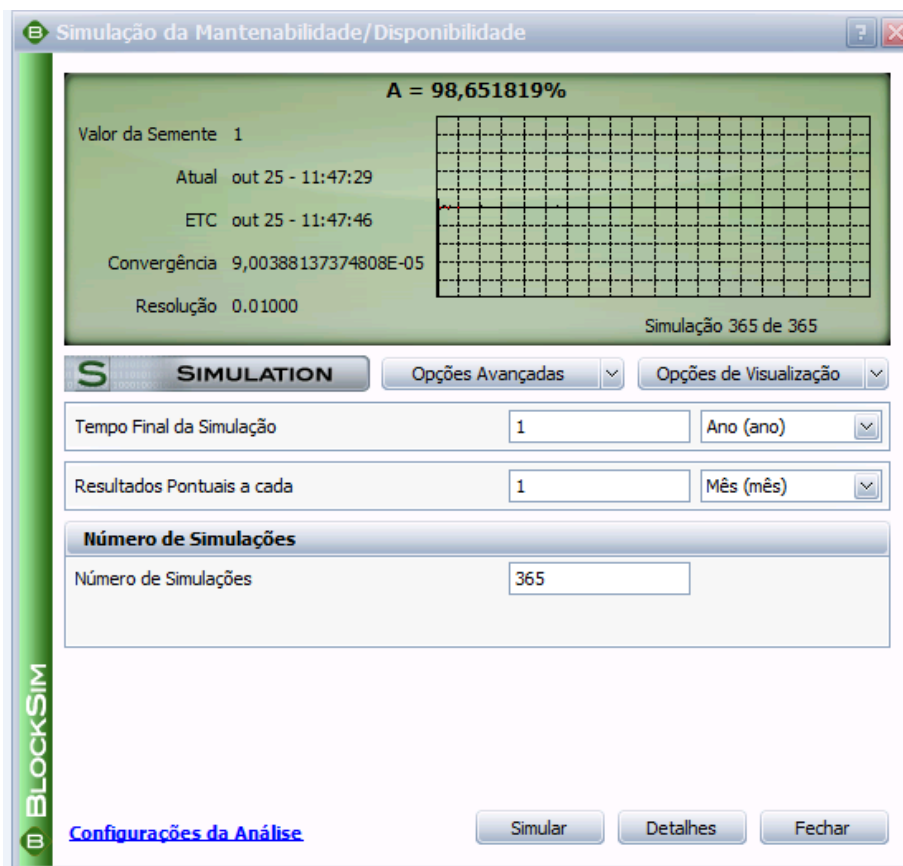


Fonte: Arquivo próprio – Análise do estudo corrente

Particularmente para o parâmetro de forma $\beta = 0,504971$ (nesse caso menor que 1), indica que o equipamento está com a taxa de falha decrescente. Este cenário é típico da chamada “mortalidade infantil”, indicando que o produto falha logo no seu período de “nascimento” ou pós-reparo. Sobre a influência de cada modelo calculado através do BlockSim, a disponibilidade

total do sistema em 2016 para os equipamentos envolvidos foi de 98,65%, conforme mostra a figura do relatório de simulação abaixo.

Figura 4.11: Resultado da Disponibilidade do Sistema em 2016.



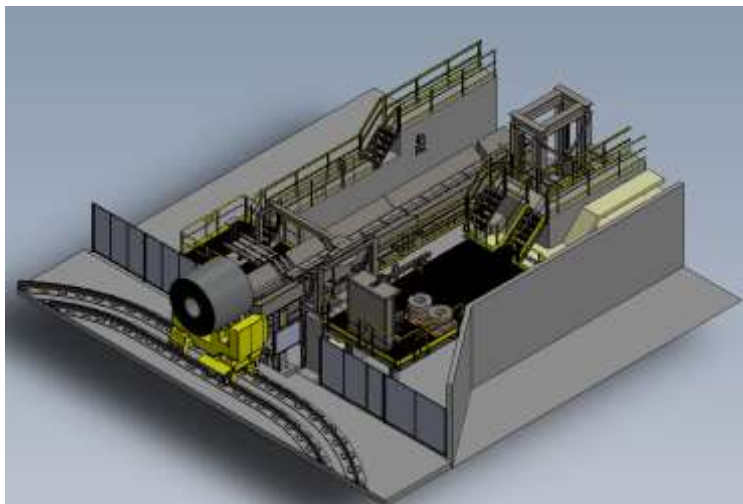
Fonte: Arquivo Próprio – Resultado do estudo corrente BlockSim.

Isso significa que esse sistema impactava em perdas operacionais em 1,35% do tempo útil de produção de bobinas, que representa o índice de UMSR desse setor. Esse índice já considera as paradas programadas de manutenção e operação, setups, paradas por falta de placas para laminação etc. A meta de UMSR para o ano de 2016 para esse setor era de apenas 0,76%. Visto que 91,8% do índice de trabalho correspondia a 4,1MMt/ano, a diferença de 0,59% em relação a meta, representava aproximadamente 23 mil toneladas por ano de lucro cessante de bobinas.

O principal impacto de não se ter uma contingência para os casos de falha das máquinas 1 e 2 que mitigasse essas perdas. Com a expectativa de maximização da produção para 4,5MMt/ano até 2020, o já informado projeto de

uma terceira máquina de cintamento que pudesse ser redundante das demais foi aprovado. Essa nova máquina serviria de contingência como standby online, em caso de falha das máquinas 1 e/ou 2. Esse projeto nos levaria a um novo rearranjo físico, ficando a nova máquina denominada Máquina de Cintar n° 4, uma vez que já existia uma máquina de cintar n° 3 – máquina não automática na linha de inspeção. Com a aquisição e montagem da máquina de cintar n° 4 (MC4) na 3° posição do walking Beam n° 2 (WB2), novas estratégias de operação foram consideradas procurando evitar falhas ocultas. Esse tipo de falha normalmente ocorre quando um ativo em stand by é requerido e falha simultaneamente.

Figura 4.12: Local de Instalação da MC4 – 2017.



Fonte: Relatório de Engenharia – AMT/2016

O novo modelo a ser simulado consiste de ter a redundância das máquinas 1 e 2 através da máquina 4. A figura 4.13 abaixo mostra o diagrama de blocos para a distribuição de equipamentos a partir de janeiro de 2017. A principal alteração consiste em colocar as máquinas 1 e 2 em paralelo com a máquina 4, que passou a ficar em modo *cold standby*.

Figura 4.13: Diagrama de bloco dos equipamentos em 2017.



Fonte: Arquivo Próprio – Resultado do estudo corrente BlockSim.

Após a primeira tratativa para aumento da confiabilidade da área de escoamento inserindo a MC4 no sistema e, vencido o período de amadurecimento operacional e ajustes do novo equipamento, passamos a considerar um novo ciclo/período de acompanhamento. A tabela da figura abaixo apresenta os índices atualizados em 2017.

Tabela 4.2: Dados após análise no BlockSim – 2017.

Ranqueamento com base no BlockSim - 2017			
Disponibilidade		Criticidade de Falha	
Nome do Bloco	Disponibilidade	Nome do Bloco	RS FCI
Mesa de Abaixamento	99,99%	Lifting Car 2	24,57%
Walking Beam 1	99,99%	Máquina de Marcar	22,48%
Transfer Car	99,95%	Lifting Car 1	19,15%
Máquina de Cintar 4	99,91%	Walking Beam 2	17,68%
Walking Beam 2	99,91%	Transfer Car	11,10%
Lifting Car 2	99,90%	Walking Beam 1	4,25%
Máquina de Marcar	99,90%	Mesa de Abaixamento	0,77%
Lifting Car 1	99,90%	Máquina de Cintar 4	0,00%
Máquina de Cintar 2	99,74%	Máquina de Cintar 2	0,00%
Máquina de Cintar 1	99,74%	Máquina de Cintar 1	0,00%
Nº de Falhas esperadas		Tempo de Parada por Criticidade	
Nome do Bloco	# Esperado Falhas	Nome do Bloco	RS DTCl
Máquina de Cintar 1	293,156164	Lifting Car 1	22,71%
Máquina de Cintar 2	275,027397	Máquina de Marcar	22,28%
Lifting Car 2	70,753425	Lifting Car 2	21,07%
Máquina de Marcar	64,720548	Walking Beam 2	20,25%
Máquina de Cintar 4	61,136986	Transfer Car	9,91%
Lifting Car 1	55,175342	Walking Beam 1	2,34%
Walking Beam 2	50,906849	Mesa de Abaixamento	1,44%
Transfer Car	31,950685	Máquina de Cintar 4	0,00%
Walking Beam 1	12,249315	SB_Switch	0,00%
Mesa de Abaixamento	2,210959	Máquina de Cintar 2	0,00%

Fonte: Arquivo Próprio – Resultado do estudo corrente BlockSim.

Como pode ser visto apesar dos índices apontarem falhas nas máquinas de cintar, inclusive na nova máquina MC4, a criticidade de falhas para o conjunto “máquinas de cintar” não são significativos para disponibilidade, devido à redundância. Conforme o relatório de disponibilidade realizado a partir da simulação no BlockSim, apenas nos casos de falhas simultâneas das máquinas 1 e 4 ou 2 e 4, algum impacto poderia ocorrer.

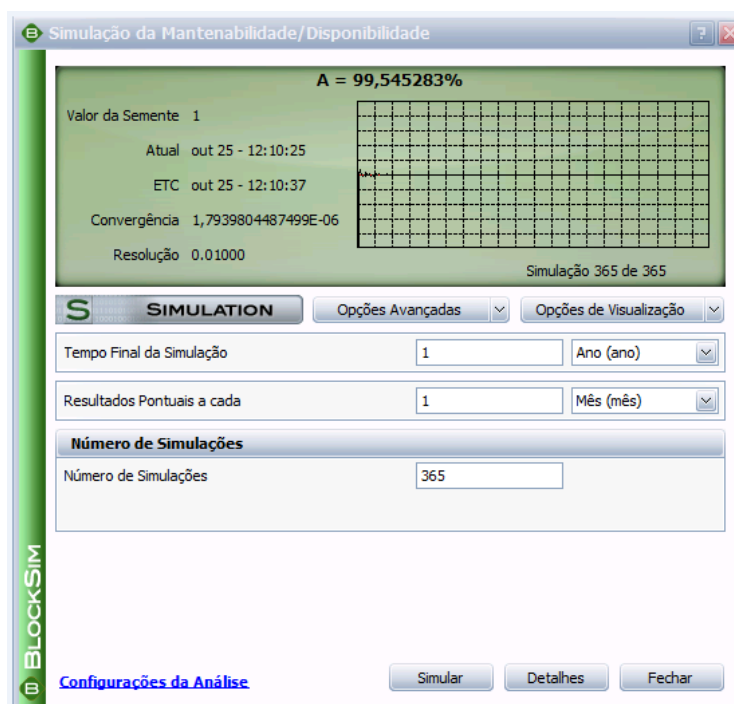
Tabela 4.3: Simulação da Disponibilidade – Máquinas de Cintar - 2017.

Ranqueamento da Disponibilidade do Bloco	
Nome do Bloco	Disponibilidade
SB	100,00%
SB_Switch	100,00%
Máquina de Cintar 4	99,91%
Máquina de Cintar 2	99,76%
Máquina de Cintar 1	99,72%

Fonte: o Autor (2017).

Dessa forma o novo índice de disponibilidade para o período apurado passou a ser de 99,54%, cerca de 0,30% positivo em relação a meta de UMSR para esse setor que permaneceu em 0,76% em 2017.

Figura 4.14: Simulação da Manutenibilidade / Disponibilidade - dados 2017.



Fonte: o Autor (2017).

A figura acima mostra a disponibilidade calculada para a nova topologia com dados de tempo final da simulação para um (1) ano. O novo índice mostra um aumento da confiabilidade do sistema e por consequência aumento da disponibilidade inicial de 98,65% para atual em 99,54%.

4.5 JUSTIFICATIVA DE INVESTIMENTOS

Decidir pelo investimento mais lucrativo ou por aquele que oferece a maior rentabilidade financeira é atividade 1 do mundo dos negócios corporativos. Dado que os recursos são limitados, destiná-los à garantia do sucesso é a única opção de acerto. As incertezas estão sempre presentes e com elas o risco do negócio é fator importante que deve ser considerado quando se deseja definir a melhor estratégia. Um dos fatores decisórios pode ser o *payback*, que é o período de tempo necessário para que uma série de recebimentos iguais ou variáveis do fluxo de caixa garanta a recuperação total do valor inicial, ou seja, do investimento. A TIR (taxa interna de retorno) é utilizada na avaliação comparativa de projetos de investimentos, sendo comparada a TMA (taxa mínima de atratividade), a saber:

Se a $TIR > TMA$, o projeto é economicamente atrativo, onde a expectativa dos ganhos desejados deverá ser ainda maior;

Se a $TIR = TMA$, o projeto é ainda economicamente atrativo, porém indiferente;

Se a $TIR < TMA$, o projeto é economicamente atrativo inviável;

A vida econômica de um equipamento depende principalmente de três fatores:

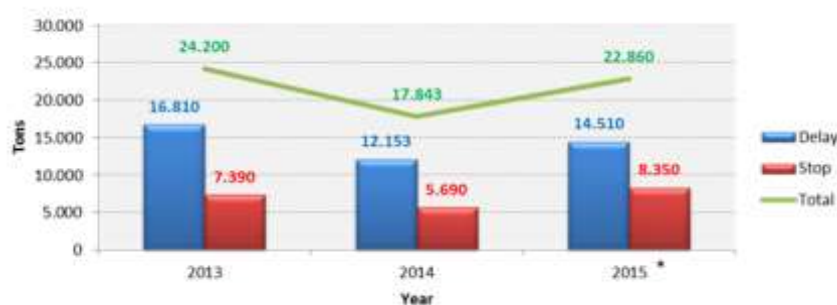
1. Degradação física – Perda do valor do serviço proporcionado, aumento dos custos de manutenção e operação.
2. Obsolescência tecnológica – inadequação das características operacionais, alto risco na operação, não atendimento a requisitos ambientais, ausência de peças sobressalentes.

3. Viabilidade do negócio (excesso ou insuficiência de capacidade) – Solicitações crescem ou diminuem e torna-se economicamente viável substituir o equipamento.

Para os fatores supracitados, dois dos equipamentos eletromecânicos do sistema de escoamento de bobinas encaixam-se perfeitamente no fator 1, com aumento de custos de manutenção, principalmente. São eles, as máquinas de cintar 1 e 2. Apesar de equipamentos reparáveis, a frequência com que são levados à manutenção nem sempre os deixa “as good as new” principalmente devido ao “fator de restauração menor que 1”, impactado por erro ou deslize humano, reposição de peças não originais e/ou a falta delas no momento da troca. Ainda recaem sobre elas, o fator 3, viabilidade do negocio, uma vez que demandas crescentes de produção tornaram viável, não a substituição, mas a redundância desses equipamentos. Todavia nem sempre será possível a redundância, muitas vezes por limitação física da específica área do processo, que apontaria para grandes alterações, inviabilizando o reprojeto. Cabe aqui a indicação de acompanhamento para outro equipamento eletromecânico, a máquina de marcar, que provavelmente atingirá o fator 2 em alguns poucos anos.

Com base em dados de produção, o acumulado de perdas em toneladas de bobinas oscilava em função da demanda de mercado, mas em momento algum deixou de ser significativo, sendo o principal motivo para início de estudo que levou ao reprojeto em questão.

Gráfico 4.1: Dados de perdas em toneladas de bobinas. 2013 – 2015.

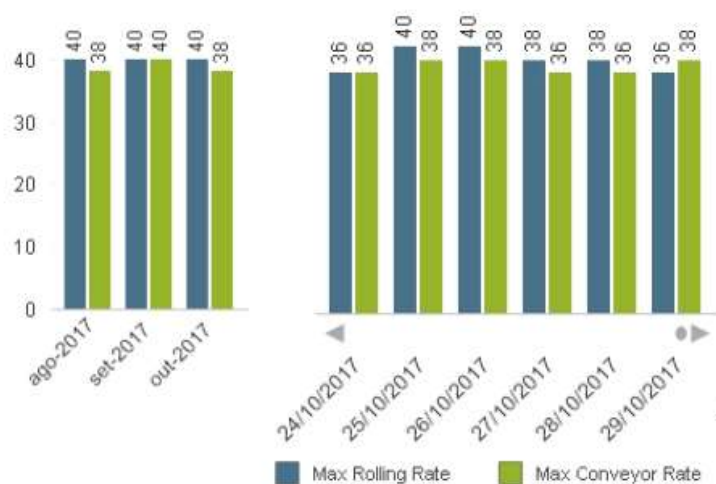


Fonte: Relatórios gerais - AMT

Suportados pelos dados de vida das máquinas de cintar em anos anteriores, como pode ser visto no gráfico acima, com um aumento crescente da produção e com embasamento econômico – financeiro, a proposta de aquisição de uma nova máquina foi lançada. As premissas iniciais para a aprovação do investimento seguiram os tramites para aquisição de novo ativo, sendo principalmente alavancada pela demanda de permitir o aumento da produção do LTQ em 16,4k t/a, minimizando o tempo de inatividade e gargalo do subsistema, escoamento de bobinas, devido a problemas de cintamento.

Instalar uma nova máquina de automática sobre o Walking Beam N°2, tornando-a uma opção de redundância para as máquinas de cintar já instaladas ganhou prioridade e aprovação no Capex. Os cálculos estimados se basearam em uma margem de contribuição diferencial média (Bobina - Placa) de U\$ 25,00 por tonelada, onde o Ebitda deveria atingir U\$ 253k por ano, com taxa interna de retorno, TIR de 41,8% e 3,9 anos *payback*. O projeto foi aprovado para investimento em torno de U\$ 672k, no ano de 2016.

Gráfico 4.2: Taxa de escoamento de bobinas de aço LTQ (b/h) – 2017.



Fonte: Relatório diário da operação LTQ.

4.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O capítulo finalizado retrata como a metodologia da análise de confiabilidade para um sistema de escoamento de bobinas foi aplicada pegando como exemplo um dos seus principais equipamentos, o carro de transferência. Mostra a exportação dos dados de vida desse equipamento e as considerações adotadas para input no Weibull ++. Com o uso do software, parâmetros como β e η se tornam explícitos e podem ser aplicados agora para o bloco respectivo a cada equipamento. Em seguida o BlockSim mostra, com alto grau de confiança, o modelamento do sistema e ordena quantitativamente os resultados. O ranqueamento desses blocos mostra qual equipamento apresentava menor disponibilidade validando a expectativa de serem as máquinas de cintar 1 e na sequência a máquina de cintar 2 para o ano de 2016. Continuamente ao estudo apresenta as ações de reestabelecimento das condições necessárias para escoamento total da produção com aquisição de uma nova máquina que viria a ser standby das duas originais. Com a instalação da nova máquina e com tempo adequado para aquisição de novos dados de vida um novo modelo RBD demonstra a confiabilidade do sistema para o ano de 2017. Essa confiabilidade é derivada da confiabilidade dos blocos que representam cada equipamento e mostram que apesar das máquinas de cintar apenas terem ligeiramente melhorado seus índices de disponibilidade, a redundância da nova máquina atingiu a disponibilidade necessária para retirar o processo de escoamento da condição de “gargalo” da produção. O capítulo é finalizado mostrando o atual índice de UMSR desse sistema e nos fornece dados para cálculo do impacto financeiro, que veremos conclusivamente, a seguir, no capítulo final.

CAPÍTULO 5

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez que aplicadas as metodologias propostas e encontrados os resultados que demonstram a realidade do objeto de estudo, significa afirmar termos alcançado a eficácia do método, das ações de sinergia entre operação, manutenção e engenharias e da confiança do sistema de aquisição de dados. Esses últimos, como já mencionados anteriormente, são aspectos fundamentais para o sucesso de um projeto de análise de confiabilidade de um sistema. Fato adicional é a utilização de softwares específicos, com capacidade de processar e tratar dados, poupar tempo e mitigar erros.

Como visto no decorrer do estudo, dois particulares grupos de equipamentos foram aqui caracterizados por seus parâmetros de dados de vida e realmente apresentam entre eles, similares modos de falha. Ao vermos os resultados após análise RBD, fica bastante claro que equipamentos eletromecânicos impactam índices, como o UMSR, exponencialmente mais que os equipamentos mecânicos hidráulicos para o sistema em estudo. Referindo-nos especificamente as máquinas de cintamento nota-se, entre elas, similaridade nos gráficos de confiabilidade e conseqüentemente nos valores finais de disponibilidade e criticidade de falha, por exemplo. Pode-se inferir que a confiabilidade máxima dessas duas máquinas foi alcançada para esse nível de produção e período de análise, e que qualquer tentativa de crescimento de confiabilidade para cada um desses equipamentos demandaria uma energia financeira muito maior que a solução adotada, a redundância. Sabe-se que o crescimento da confiabilidade é a melhora positiva dos parâmetros de confiabilidade nos períodos futuros, devido à mudança no projeto (como realizado), de um produto, equipamento ou em um processo. O crescimento ocorre a partir de ações corretivas e/ou preventivas baseadas na experiência adquirida ao longo do tempo ou durante a vida (utilização) dos equipamentos e/ou linhas de produção.

Para que esse estudo voltasse com resultados esclarecedores e com base para nortear decisões futuras, algumas barreiras tiveram que ser

vencidas, principalmente quanto à relutância em simplificar e agrupar dados de vida para input nos softwares de análise, entendimento e discussões dos colaboradores quanto à distribuição lógica dos blocos no RBD e a dificuldade do autor em descrever todo o processo aplicado a todos os equipamentos analisados. Quanto as simplificações dos dados de tempos de falha coube ao item 1.3 do capítulo 4 descrever a melhor opção encontrada, uma vez que para paradas de produção intrinsecamente subentende-se perda de função de algum equipamento. Contudo, conforme descrito anteriormente, os “n” atrasos causados por diversos motivos, sem necessariamente parar a produção em sua totalidade, necessitam sim de uma tratativa especial, para que não se cometa o erro da omissão desse impacto. As apresentações e discussões prévias com especialistas de diversas áreas quanto à distribuição dos blocos RBD, em particular aos blocos em série das máquinas de cintar 1 e 2 e *lift car* 1 e 2, foram contornadas após o consenso de que qualquer um desses quatro equipamentos em falha limita a produção a 60% da capacidade total. A terceira, e talvez a maior das barreiras, ainda esteja por ser vencida; descrever a análise e demonstrar todas as curvas dos equipamentos desse sistema como se previa inicialmente. Até o momento apresentamos algumas curvas de equipamentos específicos, procurando utilizar como exemplos os de maior criticidade, ficando oportunamente a continuidade ou a complementação dessa tarefa.

5.1 CONCLUSÕES

A disponibilidade atual do sistema de escoamento de bobinas, analiticamente calculada para o período de 2017 em 99,54% representa uma perda de 0,46% no índice de controle de UMSR. Visto todo o sistema de produção de bobinas ter como meta o índice de 8,2% e especificamente o sistema de escoamento de bobinas, 0,76%, corrige-se a informação para ganho de 0,30% em produção após a redundância das máquinas de cintar. Não mensurado, mas de forma qualitativa acredita-se que o a melhoria dos resultados também estão voltados para aprendizados adquiridos pelos operadores e pelo pessoal da manutenção, uma vez que através do uso e da convivência com o equipamento, se tornam mais familiarizados com o mesmo.

Quanto ao crescimento da confiabilidade apenas podemos confirmar o melhor desempenho do sistema em termos de disponibilidade, sendo mantidas as confiabilidades das máquinas de cintar nos mesmos patamares de períodos anteriores. Teriam elas atingindo valores máximos de confiabilidade?

Traduzindo os índices supracitados em benefícios financeiros para a empresa deve-se sempre ter em mente que se, o cenário atual não tem agregado efetivo valor ao produto como no passado, a maximização da produção com redução e alocação de custos de forma apropriada garantem a sustentabilidade do negocio somadas as ações estratégicas do corpo diretor.

Assim as ações de melhoria em equipamentos críticos para aumento da disponibilidade de um sistema devem ser sempre sazonalmente enumeradas e priorizadas, verificadas sua viabilidade econômica e alinhadas com um factível aumento de produção.

Sabe-se que a vida econômica de um equipamento depende principalmente de 3 fatores:

1. Degradação física – Perda do valor do serviço proporcionado, aumento dos custos de manutenção e operação.
2. Obsolescência tecnológica – inadequação das características operacionais, alto risco na operação, não atendimento a requisitos ambientais, ausência de peças sobressalentes.

3. Viabilidade do negócio (excesso ou insuficiência de capacidade) – Solicitações de produção geralmente crescem e torna-se economicamente viável substituir o equipamento.

Para o caso estudado, a justificativa de investimento provou-se viável principalmente em função dos fatores 1 e 3 supracitados. No caso, não houve a substituição do ativo, e sim, reprojeto do sistema em função da redundância implantada. Cabe a continuação do estudo corrente visto apontamentos de outros equipamentos, como a máquina de marcar, que como sabido deverá entrar em obsolescência nos próximos 5 anos, tempo esse já sinalizado para novo aumento de produção do LTQ, deslumbrando 4,7MMt/ano. Visto, principalmente, as condições da economia nacional, essa será mais uma grande oportunidade de aplicarmos os conceitos e metodologias que são capazes de prever fatores que mitigam custos de manutenção e de produção.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se complementar ou iniciar novas análises de confiabilidade para cada equipamento do sistema de escoamento. Com a inclusão e concentração de dados de custos de manutenção (material e serviço) no SAP PM (*Plant Maintenance*) em 2017, pode-se apresentar valores futuros de gastos e consumos estimando-se melhor os orçamentos anuais com base na probabilidade versus custo dos ativos reparáveis.

Esse trabalho poderá ser aplicado em sistemas limites e, por sua vez, modelar cada equipamento no nível do componente, tratando dessa forma cada modo de falha definindo as ações de reparo com foco no crescimento da confiabilidade.

REFERÊNCIAS

BARRINGER, H. Paul; Monroe, T.R. **How to Justify Machinery Improvements Using Reliability Engineering Principles**. In: 1999 Pump Symposium Sponsored by Texas A&M Turbo Lab. Houston: TX, 1999.

CALIXTO, Eduardo; BRETAS, Rogerio. **Análise RAM+L: Um Estudo Integrado de Várias Unidades de Produção de uma Refinaria**. 23º Congresso Brasileiro de Manutenção, ABRAMAN, 2008.

RAUSAND, Marvin; HOYLAND, Arnljot. **System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications**. Editor Wiley-Interscience, 2º Edição, 2003.

RIGONI, Emerson. **Metodologia para implantação da Manutenção Centrada em Confiabilidade**: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em conhecimento e Lógica Fuzzy. 2009. Tese (doutorado) em engenharia mecânica – UFSC Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009.

SILVEIRA, Cristiano B. **Confiabilidade e disponibilidade de máquinas: um exemplo prático**. Disponível em: <<http://www.citisystems.com.br/confiabilidade-disponibilidade-maquinas/>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

XAVIER, Rodolfo W. S; DA SILVA, Maurício C. F. **Soluções Práticas para uma Boa Análise de Custos do Ciclo de Vida de Ativos**. 29º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos, ABRAMAN, 2014.

DA SILVA, Pedro A. C. **Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos**, Rio de Janeiro, Mar. 2013. Disponível em <<http://www.abraman.org.br/noticias/diretor-explica-a-importancia-da-aplicacao-da-engenharia-da-confiabilidade>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

Instituto Aço Brasil, site 2017. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

ArcelorMittal, site 2017. Disponível em: <<http://tubarao.arcelormittal.com/produtos/laminados-quente/index.asp>>. Acesso em: 10 out. 2017

Reliasoft Corporation, site 2017. Disponível em: <<http://www.reliasoft.com.br/index.html>>. Acesso em: 07 mar. 2017.