

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

**ANDRÉ BRINGHENTI CORRÊA ROSA**

**ANÁLISE DE CONFIABILIDADE QUANTITATIVA DE UMA DESSULFURAÇÃO  
EM PANELA DE GUSA**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2019**

**ANDRÉ BRINGHENTI CORRÊA ROSA**

**ANÁLISE DE CONFIABILIDADE QUANTITATIVA DE UMA DESSULFURAÇÃO  
EM PANELA DE GUSA**

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

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano

**CURITIBA**

**2019**



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 DE CONFIABILIDADE QUANTITATIVA DE UMA DESSULFURAÇÃO EM  
PANELA DE GUSA

por

ANDRÉ BRINGHENTI CORRÊA ROSA

Esta monografia foi apresentada em 08 de novembro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Carlos Henrique Mariano, Dr.  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Wanderson Stael Paris, MSc  
Membro Titular da Banca - UTFPR

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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu saúde e sabedoria para realização deste trabalho.

Em especial minha esposa Larissa, que sempre me apoiou nas aulas e suportou minha ausência nos finais de semana.

A todos os colegas de trabalho que me auxiliaram na elaboração deste trabalho, com conhecimento e horas de trabalho. Obrigado Adriano, Morellato, Jhony, Fernando, Iran, Daniel, Carlos Eduardo, Gabriela, Lais e Severino, que sem o conhecimento dele, não seria possível este trabalho ficar completo.

Aos colegas de sala, onde ficamos unidos nessas longas horas de curso, com muito humor e parceria.

Aos meus gerentes Breno e Felipe, que me confiaram a oportunidade de realizar esta especialização.

E aos professores deste curso, que tiveram louvor na transmissão do conhecimento deles para nós.

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

## RESUMO

ROSA, André. ANÁLISE DE CONFIABILIDADE QUANTITATIVA DE UMA ESTAÇÃO DE DESSULFURAÇÃO EM PANELO DE GUSA, 2019. 55 páginas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019

A análise RAM de um processo produtivo completo ainda não é usual na indústria brasileira em geral, onde ainda se tem perdas produtivas e falhas catastróficas por não se aplicar recursos no local mais indicado. O Objetivo deste trabalho é identificar as principais causas que afetam diretamente na disponibilidade das estações de dessulfuração de gusa em Panela da Arcelormittal Tubarão KR “(Kambara Reactor)”, contemplando as duas estações e o Skimmer 03. Esta planta é original de 2007 e sua demanda operacional vem crescendo devido ao aumento da qualidade dos aços produzidos em Tubarão. A fonte de dados utilizada contempla os anos de 2016 a 2019, com os softwares de gestão da manutenção (SISMANA e SAP) e informações do boletim de produção, que serão analisados nos softwares BlockSim e Weibull++ identificando a confiabilidade atual do sistema de forma quantitativa, além das curvas de falhas características. Com os resultados, é possível atuar nas principais causas de parada da planta, que geram custos elevados de manutenção, perda de produção e sincronismo da aciaria.

**Palavras-chave:** Dessulfuração em Panela. Gusa Líquido. Kambara Reactor. RAM Analysis. Confiabilidade Qualitativa

## **ABSTRACT**

**ROSA, André, Qualitative Reliability Analysis at a Ladle Desulphurization Station.** 2019. 55 pages. Monograph (Reliability Engineer Specialization) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The RAM analysis of a complete production process is still not usual in Brazilian industry in general, where there are still productive losses and catastrophic failures due to the lack of resources in the most appropriate place. The objective of this work is to identify the main causes that directly affect the availability of the ladle desulphurisation stations at Arcelormittal Tubarão KR (Kambara Reactor), contemplating the two seasons and the Skimmer 03. This plant is original from 2007 and its operating demand has been increasing due to the increase in the quality of the steel produced in Tubarão. The data source used covers the years 2016 to 2019, with maintenance management software (SISMANA and SAP) and production bulletin information, which will be analyzed in the BlockSim and Weibull ++ softwares, identifying the current reliability of the system in a quantitative, beyond the characteristic fault curves. With the results, it is possible to act in the main causes of plant shutdown, which generate high costs of maintenance, loss of production and timing of the steelworks

**Keywords:** Ladle Desulphurisation. Pig Iron. Kambara Reactor. RAM Analysis. Qualitative Reliability

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Vista em Corte da planta de Dessulfuração em Panela de Gusa – KR .	16
Figura 2.1 - Comparação entre o Processo KR e o de Injeção em Panela .....	19
Figura 2.2 - Sistema de Sincronismo da Aciaria da Arcelormittal Tubarão .....	20
Figura 2.3 – Desenho técnico com vista Frontal e lateral do KR.....	20
Figura 3.1 – Variável de estado $X(t)$ e seus estados TAF .....	23
Figura 3.2 -Relação probabilidade de falha ( $F(x)$ ) e probabilidade de sobrevivência	25
Figura 3.3- Relação probabilidade de falha ( $F(x)$ ) e probabilidade de sobrevivência	26
Figura 3.4 - Representação de taxa de falha com distribuição exponencial .....	28
Figura 3.5 - Representação de PDF com distribuição Weibull .....	28
Figura 3.6 - Considerações sobre a Taxa de Falhas.....	29
Figura 4.1 - Metodologia adotada para desenvolvimento do projeto.....	31
Figura 4.2 - Objetivos do trabalho .....	32
Figura 4.3 - Registro de Anomalia , dados coletados no SISMANA.....	33
Figura 4.4 - Exemplo de dados coletados no SAP .....	34
Figura 4.5 - Exemplos de dados do Boletim de Produção .....	34
Figura 4.6 - Exemplo de diagrama de blocos realizado no projeto.....	35
Figura 4.7 - Custos por sistema. KR2 x KR1 x Área comum.....	36
Figura 4.8 - Bad Actors do KR2.....	36
Figura 4.9 - Bad Actors do KR1.....	37
Figura 4.10 - Bad Actors Área Comum .....	37
Figura 4.11 - Disponibilidade geral do sistema até 2020 - Diagrama FRED .....	38
Figura 4.12 - Principais Bad Actors do Sistema x Custo previsto de falhas até 2020 .....	39
Figura 4.13 – Vista Lateral do Raspador de Escória .....	40
Figura 4.14 - Vista Superior do raspador de escória .....	41
Figura 4.15 - Vista do Sistema de giro do Impeller.....	42
Figura 4.16 - Sistema de giro do Impeller .....	43
Figura 4.17 - Desenho técnico da vista lateral do Carro Basculante de Panela de gusa .....	44
Figura 4.18 - Vista da Panela de Gusa no Carro.....	45
Figura 4.19 - Exemplo de análise realizada no Orion.....	48
Figura 4.20 - Exemplo de análise realizada no Orion.....	48
Figura 4.21 - Exemplo de análise realizada no Orion.....	49
Figura 4.22 - Indicadores de MTBF dos equipamentos da gerência de manutenção da Aciaria. ....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Ações para os Bad Actors - Carro Basculante dos KR's.....	46
Tabela 4.2 - Ações para os Bad Actors – Travamento da Gaiola Impeller dos KR's .	46
Tabela 4.3 - Ações para os Bad Actors - Medidores de tração - Impeller do KR1 ....	47
Tabela 4.4 - Ações para os Bad Actors - Raspador de Escória dos KR's .....	47
Tabela 4.5 - Ações para os Bad Actors - Freios de Emergência dos KR's.....	47
Tabela 4.6 - Ações para os Bad Actors - Raspador de Escória do KR2 .....	47
Tabela 4.7 - Ações para os Bad Actors - Sala Elétrica Principal.....	47
Tabela 4.8 - Tabela de custo evitado comparativo entre a confiabilidade de 2016 a 2018 com a de abr/2019 a jul/2019 .....	51
Tabela 4.9 - Simulação de falhas esperadas nos sensores/limites de posição do carro KR1 antes das melhorias .....	52
Tabela 4.10 - Simulação de falhas esperadas nos sensores/limites de posição do carro KR1 após as melhorias .....	53



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CMMS Computerized Maintenance Management System

AMSAA Army Materiel Systems Analysis Activity

AMT ArcelorMittal Tubarão

DOE Delineamento de Experimentos

FMEA Failure Mode and Effects Analysis (Análise dos Modos de Falha e Efeitos)

FRED Failure Reporting, Evaluation and Display (Relatório de Falhas, Avaliação e Exibição)

FTA Fault Tree Analysis (Análise de Árvore de Falhas)

LDA I Life Data Analysis (Análise de Dados de Vida)

MCC Manutenção Centrada em Confiabilidade

MLE Análise de Regressão e Máxima Verossimilhança (MLE).

MTBF Tempo Médio Entre Falhas

PNHP Processo Não Homogêneo de Poisson

RCM Realibility Centered Maintanance (Manutenção Centrada em Confiabilidade)

RDB Reliability Block Diagram (Diagrama de Blocos de Confiabilidade)

RG Reliability Growth (Crescimento da Confiabilidade)

RGA Reliability Growth and Repairable Systems (Crescimento da Confiabilidade e Sistemas Reparáveis.)

SRA System Reliability Analysis (Análise de Confiabilidade de Sistemas)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	14
1.2	OBJETIVOS .....	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos .....	15
1.3	JUSTIFICATIVAS .....	15
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	16
<b>2</b>	<b>MANUTENÇÃO NOS ATIVOS DA ESTAÇÃO DE DESSULFURAÇÃO EM PANELA DA ACIARIA DA ARCELORMITTAL TUBARÃO .....</b>	<b>18</b>
2.1	A ARCELORMITTAL TUBARÃO E A ESTAÇÃO KR .....	18
2.2	O KR NO SINCRONISMO DE PRODUÇÃO .....	19
2.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO .....	20
<b>3</b>	<b>CONCEITOS DE ANÁLISE DE DADOS DE VIDA .....</b>	<b>22</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	22
3.2	ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE .....	22
3.3	ANALISE DE DADOS DE VIDA ( <i>LDA – LIFE DATA ANALYSIS</i> ).....	23
3.3.1	Tempo até a falha (TAF).....	23
3.3.2	DESCREVENDO CONFIABILIDADE .....	24
3.3.3	Taxa instantânea da falha e distribuição de tempos até a falha (FOGLIATTO, 2009). .....	25
3.3.4	ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE SISTEMAS.....	30
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA ANÁLISE RAM NO KR .....</b>	<b>31</b>
4.1	ESTRATIFICAÇÃO POR EQUIPAMENTO .....	35
4.1.1	RASPADOR DE ESCÓRIA (SKIMMER) .....	40
4.1.2	IMPELLER DO KR.....	41
4.1.3	CARRO BASCULANTE DE PANELA DE GUSA.....	44
4.1.4	SALA ELÉTRICA PRINCIPAL DO KR'S.....	45
4.2	– MEDIDAS DE CONTROLE SOBRE OS BAD ACTORS.....	45
4.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS 2019 – NOVA SIMULAÇÃO .....	49
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O mercado mundial de produção de aço vem sendo pressionado pela elevação dos preços de matérias primas, tais como carvão e minério, capacidade produtiva excedente a demanda, trazendo uma redução expressiva nas margens desta commodity. Este desafio afeta diretamente no processo de manutenção, que é pressionado para reduzir custos e ter um desempenho superior, maximizando a eficiência e vida dos ativos. Com esse foco, os estudos de confiabilidade qualitativa vieram a somar nas análises dos equipamentos, apontando os principais equipamentos que afetam no custo e disponibilidade, orientando a alta gestão da empresa na tomada de decisão para investimento.

Em busca de novos aços com alto valor agregado, a estação de dessulfuração em panela KR, que teve o início de operação em 30/11/2006 deixou de ser coadjuvante no processo da Arcelormittal Tubarão, para ser parada obrigatória, que mudou a condição de operação da planta para um patamar superior.

### 1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Devido sua importância direta no processo de produção de aços de alto valor agregado e mudança no patamar de operação, esse trabalho será focado na planta de dessulfuração em panela de gusa – KR para avaliação dos dados e modelamento RAM completa nos equipamentos que impactam diretamente na disponibilidade deste equipamento da Aciaria da Arcelormittal Tubarão, localizada no município da Serra, ES. O custo de Dessulfuração em torpedo, que é uma alternativa ao KR, além de limitar alguns tipos de aço, possui um custo superior em R\$ 12.000,00/h.

A confiabilidade dos dados é um desafio para o projeto, visto que existe muita informação incompleta que foi desconsiderada para efeito do modelamento. Foram utilizados dados do sistema CMMS antigo, SISMANA, SAP e do boletim de produção, onde as paradas de manutenção/operação são lançadas em caso de algo desvio do processo. A partir deste trabalho, poderão ser realizados novos estudos e tomada de decisão da estrutura para futuros investimentos de melhorias, além de eliminação de gargalos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver de forma prática uma análise quantitativa sobre os dados de manutenção dos equipamentos eletromecânicos dos KR's, para auxiliar a tomada de decisão assertiva da estrutura para buscar o ponto ótimo entre custo e confiabilidade da planta integrada ao processo produtivo da Arcelormittal Tubarão.

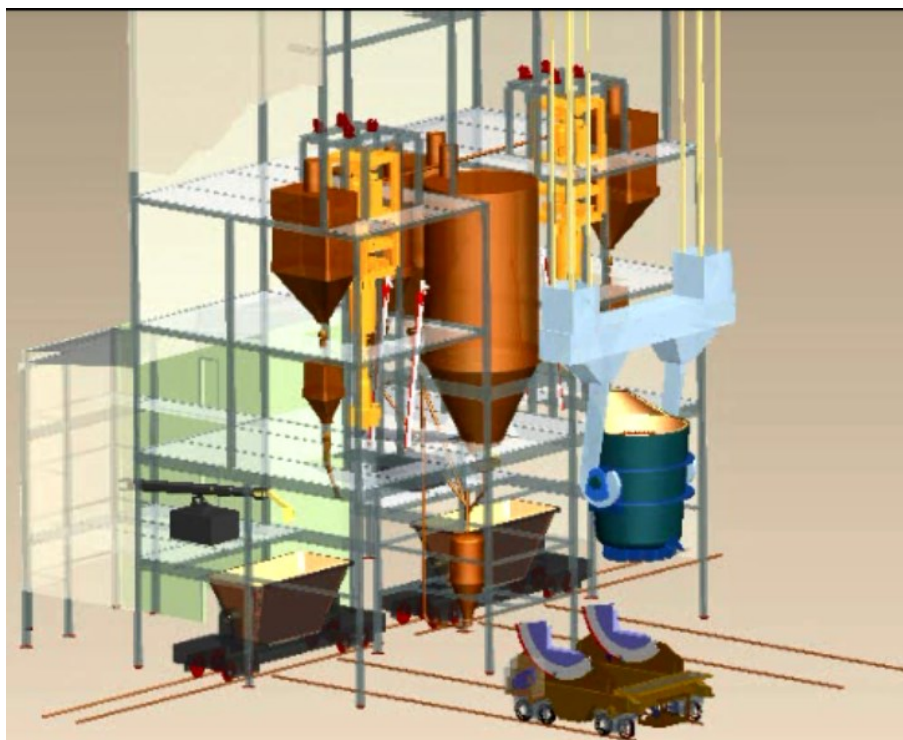
### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinação de indicadores nos KR's ;
- Encontrar a confiabilidade do Sistema do KR's;
- Organizar o processo de coleta, organização e validação dos dados de falhas dos itens foco da pesquisa;
- Correlacionar ações para o crescimento de confiabilidade com o processo de gerenciamento de manutenção;
- Aplicar a metodologia Análise RAM baseada nos dados estatísticos identificando os principais bad-actors que causam custo elevado de manutenção e baixa disponibilidade do sistema.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O processo de produção de aço requer um sincronismo perfeito, visando eficiência térmica e ritmo de produção. Desde o recebimento do gusa líquido proveniente dos altos fornos até a solidificação do aço no lingotamento contínuo, cada panela de aço tem o seu tempo pré-determinado. Em caso de alguma falha dos equipamentos críticos, é necessário reprogramar a produção, seja mudando o aço a ser fabricado, reduzindo o ritmo ou até mesmo parando a produção.

Figura 1.1 - Vista em Corte da planta de Dessulfuração em Panela de Gusa – KR



Fonte: Arcelormittal Tubarão (2019).

As estações de dessulfuração em panela da aciaria fazem a primeira etapa após o recebimento do gusa nas panelas de aço. Em caso de falha desse sistema, é necessário utilizar a dessulfuração em carro torpedo, que além do custo de produção superior, não permite a produção de aços com maior valor agregado. Como a demanda destes aços vem crescendo, os KR's, que antigamente em caso de falha, não afetavam muito a produção, começaram a se tornar críticos, restringindo a qualidade disponível.

Desta forma, pela mudança de cenário existente, se escolheu esta planta para realização do trabalho de confiabilidade qualitativa para garantir a disponibilidade do ativo.

#### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os dados obtidos vieram de três fontes de informação, sendo duas dos sistemas CMMS da AMT (Sismana e SAP) e um do boletim de produção, que é alimentado diariamente em caso de perda do tempo de sincronismo previsto no sistema. Foram

excluídos os dados sem data e sem informação relevante de falha/manutenção, para realização do trabalho da forma mais perto da realidade possível.

Para as análises, foram levantados os dados como tempo até a falha (TAF), assim como o histórico possível de suspensão dos equipamentos que foram mantidos. Após tratamento inicial dos dados, serão inseridos nos softwares BlockSim e Weibull++, da Reliasoft/Compass de modo a obter os gráficos e resultados, para orientar as principais ações que serão a entrega deste trabalho. Nesta planta também será realizado uma prova de conceito do programa APM Orion (Asset Performance Management), da Compass, que busca integrar informações do ativo, utilizando confiabilidade quantitativa, gestão de risco dentre outros para suportar a melhor tomada de decisão.

## **2. MANUTENÇÃO NOS ATIVOS DA ESTAÇÃO DE DESSULFURAÇÃO EM PANEIA DA ACIARIA DA ARCELORMITTAL TUBARÃO**

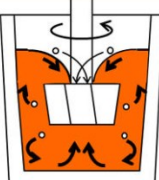
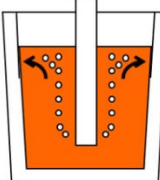
Neste capítulo será apresentada uma visão mais geral da planta da aciaria, mostrando como que ela se integra no processo produtivo da empresa, dando qualidade e sincronismo no processo produtivo.

### **2.1 A ARCELORMITTAL TUBARÃO E A ESTAÇÃO KR**

O Reator Kambara (KR) é um agitador mecânico de gusa na estação de dessulfuração. É caracterizado pela aceleração da reação de dessulfuração com a imersão e rotação do impeller dentro do gusa líquido, com subsequente mistura mecânica do metal com o agente dessulfurante. Como resultado, permite a redução da concentração do enxofre no gusa a níveis de baixo ppm utilizando apenas cal como agente dessulfurante, sem a necessidade de utilização de magnésio, reduzindo assim o custo desta etapa produtiva.

A etapa de dessulfuração é importante para o processo produtivo, visto que o enxofre no gusa vem dos altos-fornos e se não for removido, afetará diretamente na qualidade do aço. Na Arcelormittal Tubarão, além da estação KR, existe a dessulfuração em carro torpedo, porém além do custo produtivo ser mais elevado, não atinge os níveis baixos de enxofre igual no KR, limitando a produção de aços de alto valor agregado.

Figura 2.1 - Comparação entre o Processo KR e o de Injeção em Panela

	KR Process	Injection Process
Process Image		
De-S Agent Adding Method	Added Collectively at Initial Stage	Powder Injection from Lance
De-S Reaction Mechanism	Top Slag Mixing by Impeller	Injected Powder during Floating
De-S Agent Select Tolerance	Powder to Lump	Powder only
H/M Temp. Drop	Small	Large
Free Board Restriction	Smaller	Larger
High De-S Capacity	Very Good (S concentration: approx. 10 ppm)	Very Good (S concentration: approx. 10 ppm)
High Speed Processing Capacity	Very Good (Processing Time: approx. 10 mins)	Middle (Processing Time: approx. 10 mins)
De-S Agent	CaO (Unit Price: approx. 0.13USD/kg)	Mg+CaC2 (Unit Price: approx. 3.15USD/kg)
De-S operation cost index (in case of Indian steel maker)	55	100

Comparison of KR and conventional method (injection method)

Fonte – Nippon Steel (2019)

## 2.2 O KR NO SINCRONISMO DE PRODUÇÃO

A Arcelormittal Tubarão é uma usina integrada, e com isso, todo o processo de produção de aço é sincronizado desde o carregamento dos carros torpedos nos altos fornos até o lingotamento da placa nos contínuos. Em caso de parada não prevista de algum equipamento, todo o processo precisa ser reorganizado, causando transtornos operacionais e limitando a produção.

O KR como é a porta de entrada da matéria prima na aciaria, em caso de falha, impacta direto nesta sincronia. A recente demanda de produção de aços mais nobres fez com que esta estação mudasse a sua relevância no patamar operacional, sendo mais exigida e afetando diretamente o plano produtivo.

Os KR's possuem um tempo de tratamento de panela de 25 min e estão preparados para atender o fluxo de 7,5 milhões t/ano da empresa, atendendo uma carga de gusa entre 280 a 330t. Ele também possui uma estação de raspagem de escória auxiliar (SKIMMER 3) para dar ritmo de produção em caso de necessidade.





Este capítulo apresentou a importância da estação KR no processo produtivo de aço, equipamento que teve sua operação iniciada em 2007 junto com o projeto de expansão de produção para 7,5 milhões de toneladas de aço por ano.

### 3. CONCEITOS DE ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

#### 3.1 INTRODUÇÃO

De acordo com Leemis (1995) “a confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período.” O conceito de confiabilidade em sistemas técnicos vem sendo aplicado há pouco mais de 50 anos. O conceito foi utilizado com aplicação tecnológica 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 (FOGLIATTO E DUARTE, 2009). Durante a Segunda Guerra Mundial, engenheiros da equipe de von Braun trabalharam na Alemanha para desenvolvimento de mísseis V1. Após o fim da guerra foi registrado que os protótipos desenvolvidos falharam durante os testes, explodindo durante ou antes do voo. Foi contratado o matemático Robert Lusser para analisar o sistema operacional dos mísseis. A partir da análise foi proposta a lei da probabilidade de um produto com componentes em série, que estabelecia que a confiabilidade de um sistema em série é igual ao produto das confiabilidades de suas partes. Foi comprovado que sistemas em série com muitos componentes tendem a apresentar baixa confiabilidade e o efeito da melhoria de confiabilidade dos componentes individualmente sobre o sistema tende a ser pequeno.

Em 1963 surgiu nos Estados Unidos a primeira associação que reunia engenheiros de confiabilidade.

#### 3.2 ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

A engenharia de confiabilidade é o ramo da engenharia voltado para o estudo da confiabilidade de sistemas de forma geral, durante o ciclo de vida e pode ser tratada de forma qualitativa e/ou também de forma quantitativa.

A seguir estão relacionados alguns tipos de análises Quantitativas: LDA, RDA, RGA, RAM analysis, QALT analysis, DOE e FTA. As variáveis que vão quantificar a confiabilidade não podem ser definidas com exatidão, ou seja, são variáveis aleatórias, requerendo um tratamento estatístico.

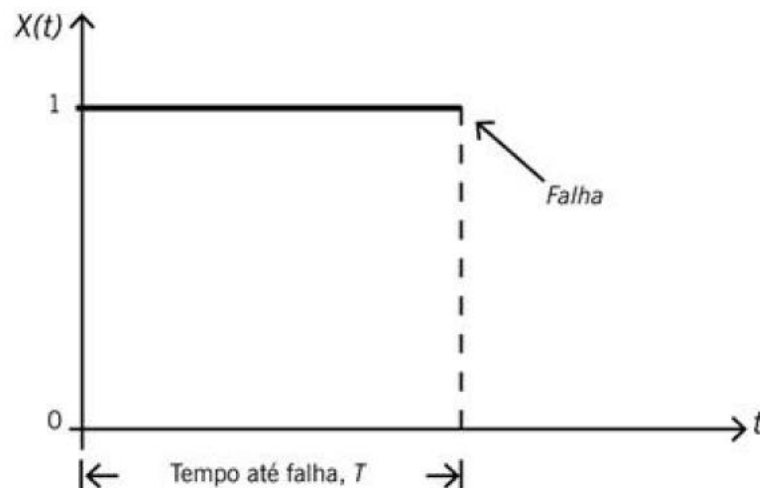
### 3.3 ANALISE DE DADOS DE VIDA (LDA – LIFE DATA ANALYSIS)

#### 3.3.1 Tempo até a falha (TAF)

O tempo até a falha consiste no tempo desde o momento em que a unidade é colocada em operação até a sua primeira falha.  $t=0$  é o início de operação do sistema. O tempo até a falha é definido com uma variável aleatória  $T$ .

Fogliatto, 2009 descreve que o estado da unidade em um tempo  $t$  pode ser descrito por uma variável de estado  $X(t)$ , que é uma variável aleatória definida por dois estados:  $X(t)=1$ , no caso de a unidade estar operacional no tempo  $t$ , e  $X(t) = 0$ , no caso de a unidade estar não-operacional no tempo  $t$ . Segue, na figura 3.1, a relação entre a variável de estado  $X(t)$  e o tempo até a falha  $T$ :

Figura 3.1 – Variável de estado  $X(t)$  e seus estados TAF



Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009)

Variável é usada para atribuição de valores correspondentes aos dados

observados. Os dados não são necessariamente numéricos, uma vez que podem dizer respeito a atributos qualitativos na população. As variáveis são definidas conforme categorias:

- Variável aleatória: assume valores fora do controle do observador;
- Variável aleatória Discreta: conjunto de variáveis quantitativas do grupo dos números inteiros naturais;
- Variável aleatória Contínua: conjunto de variáveis quantitativas do conjunto não enumerável. Refere-se a dados de mensuração.

Exemplo: diâmetro de peças e peso de recém-nascido;

Tempo até a falha nem sempre é medido de forma contínua, podendo ser valores discretos, como número de ciclos até a falha.

A função  $F(t)$  a probabilidade acumulada de falha (1) da unidade em uma missão de duração menor ou igual a  $t$ . A densidade da probabilidade é definida da seguinte forma (2) :

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u) du, t > 0 \quad (1)$$

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2)$$

Esta base teórica fundamenta a utilização das ferramentas de análise de confiabilidade.

### 3.3.2 Descrevendo Confiabilidade

A confiabilidade da unidade é definida como sua probabilidade acumulada de sucesso (FOGLIATTO, 2009). Assim em tempo  $t$ , a função de confiabilidade  $R(t)$  é:

$$N_0 = N_F(x) + N_S(x)$$

Assim:

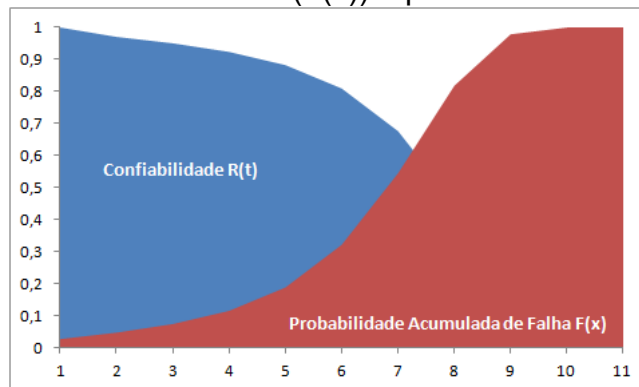
$$R(x) = NS(x)/N_0 \text{ e } F(x) = NF(x)/N_0$$

Onde  $R(x)$  é a Confiabilidade e  $F(x)$  é a Probabilidade Acumulada de Falha ou Não Confiabilidade. Assim, a função de confiabilidade  $R(t)$  informa a probabilidade de a unidade apresentar sucesso na operação (isto é, ausência de falhas) no intervalo de tempo  $(0, t)$  e estar operando no tempo  $t$ . A função confiabilidade  $R(t)$  é também conhecida como função de sobrevivência.

Conclui-se, portanto que:

$$R(x) + F(x) = 1$$

Figura 3.2 - Relação probabilidade de falha ( $F(x)$ ) e probabilidade de sobrevivência



Fonte: Adaptado de Reliasoft apresentação UTFPR (2018)

### 3.3.3 Taxa Instantânea da Falha e Distribuição de Tempos até a Falha.

Com a derivação da função de Probabilidade Acumulada de Falha  $F(x)$  ao longo do Período de Vida  $(x)$  tem-se a Função Densidade de Probabilidade de Falha  $f(x)$  (3) ou *Probability Density Function*, (PDF) sendo representado por:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{d(x)} = \frac{1}{N_0} x \frac{dNF(x)}{dx} = - \frac{dR(x)}{dx} = - \frac{1}{N_0} x \frac{dN_s(x)}{dx}$$

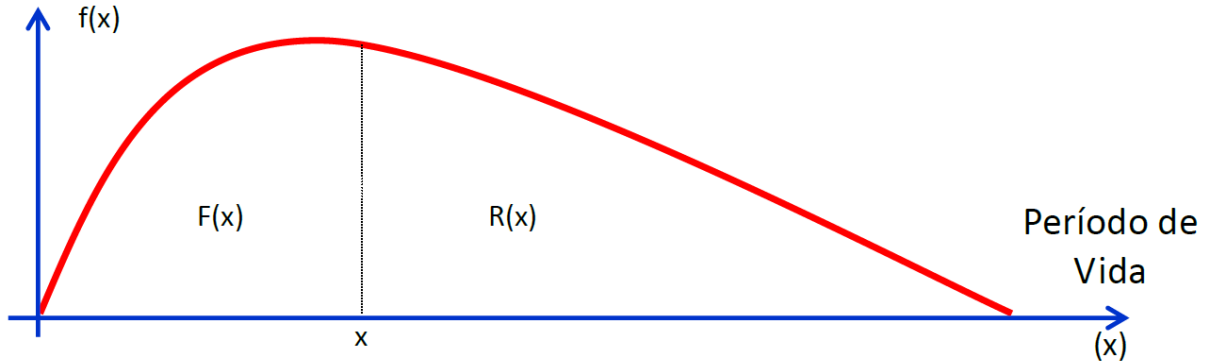
(3)

Integrando-se  $f(x)$ (4), ao longo do período de vida  $(x)$ , tem-se:

$$F(t) = \int_0^x f(x) dx$$

(4)

Figura 3.3 - Relação probabilidade de falha (F(x)) e probabilidade de sobrevivência



Fonte: adaptado de Reliasoft apresentação UTFPR (2018).

Considerando que a área da curva  $f(x)$  (5) deve ser unitária, a equação da Confiabilidade pode ser reescrita como:

$$R(t) = \int_x^{\infty} f(x) dx \quad (5)$$

A Taxa Instantânea de Falha (6) ou Probabilidade Condicional de Falha é dada por:

$$\lambda(x) = \frac{f(x)}{R(x)} \quad (6)$$

Ou(7),

$$\lambda(x) = \frac{\text{Número de Falhas por Unidade do Período de Vida}}{\text{Número de Itens Expostos à Falha}} \quad (7)$$

De acordo com Fogliatto e Duarte (2009), tempo até a falha de uma unidade entende-se o tempo transcorrido desde o momento em que a unidade é colocada em operação até a sua primeira falha. Tais tempos podem ser conhecidos através

do histórico de falhas do equipamento ou obtidos de verificações de desempenho do equipamento na área de operação ou em laboratório. As principais distribuições de probabilidade frequentemente utilizadas para descrever tempos até a falha de componentes e sistemas são: Exponencial, Weibull, Gama e Lognormal. A distribuição exponencial para os estudos de confiabilidade é única distribuição contínua com função de risco constante e destaca a simplicidade das expressões derivadas. Uma das propriedades da exponencial a ser destacada é para componentes sujeitos a cargas aleatórias ou choques de processo (Fogliatto, 2009).

Distribuição de Weibull (Rigoni, 2018) é uma das mais importantes na modelagem de confiabilidade devido a flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até a falha com comportamentos distintos. Na análise de tempos até a falha a suposição com distribuição de Weibull é um bom referencial de partida da análise. O parâmetro de forma define a função de risco. Quando  $\gamma < 1$  o risco é decrescente. Quando  $\gamma = 1$ , o risco é constante e a Weibull transforma-se na distribuição exponencial. Quando  $\gamma > 1$  o risco é crescente. A distribuição Weibull é atualmente a mais utilizada nas análises LDA e Engenharia de Confiabilidade, pois possui 3 parâmetros na sua forma completa e por isso modela uma grande variedade de modos ou comportamentos de falha.

- Síntese dos resultados (positivos e/ou negativos) do trabalho;
- As dificuldades encontradas;
- As soluções para as dificuldades encontradas;
- As conclusões resultantes deste processo;
- Os benefícios para a empresa/processo.

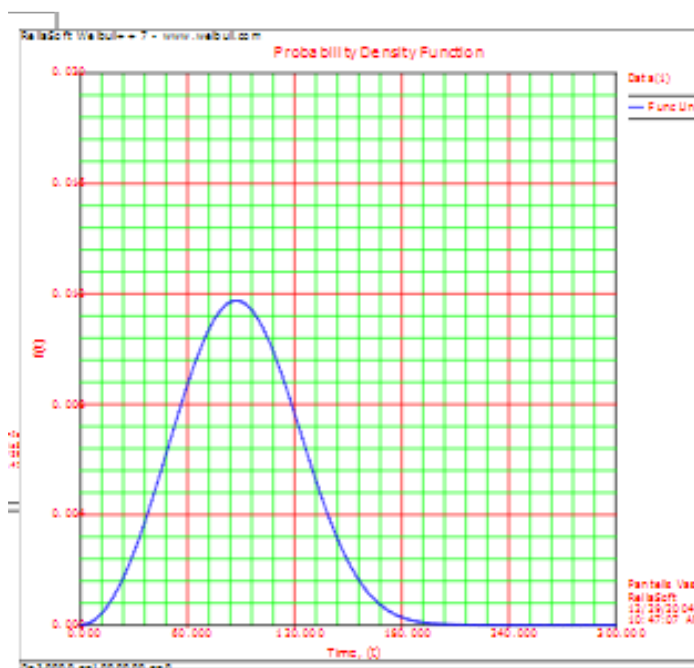


Figura 3.4 - Representação de taxa de falha com distribuição exponencial



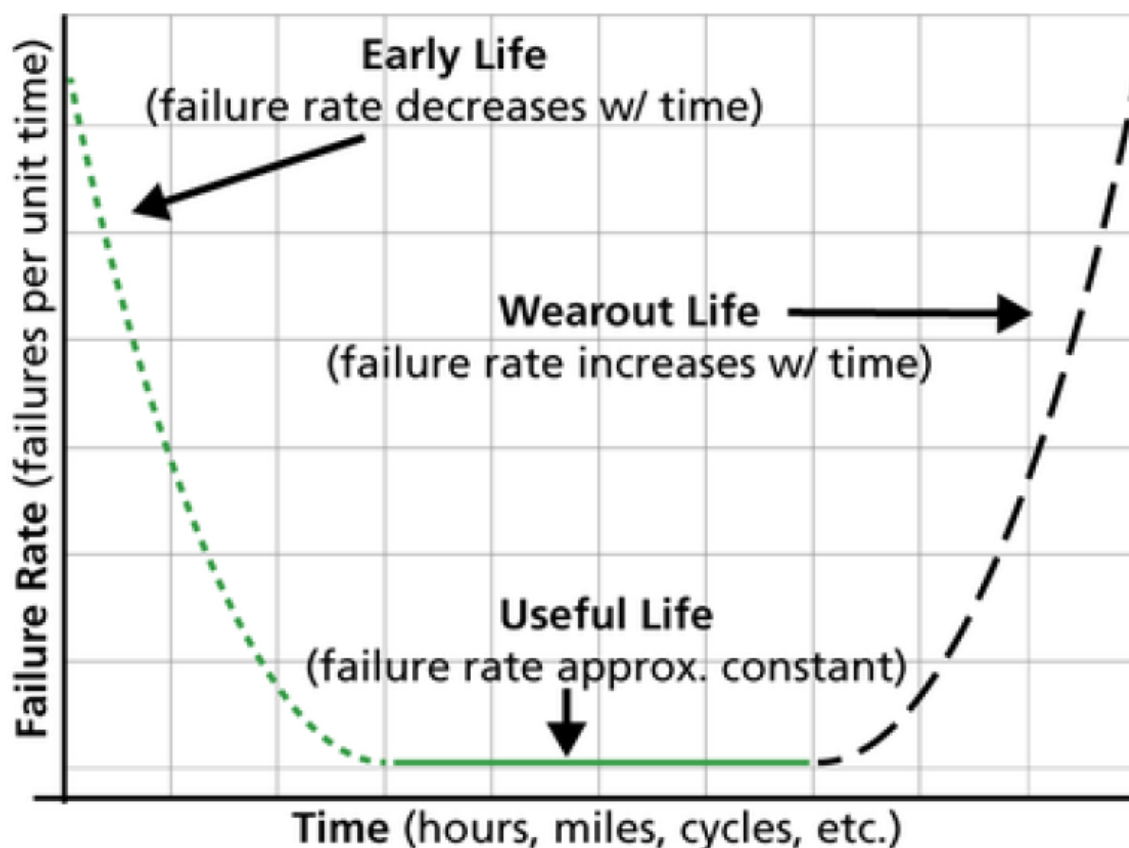
Fonte: Reliasoft apresentação UTFPR (2018)

Figura 3.5 - Representação de PDF com distribuição Weibull



Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009)

Figura 3.6 - Considerações sobre a Taxa de Falhas



Fonte: [http://www.reliawiki.org/index.php/Life\\_Distributions](http://www.reliawiki.org/index.php/Life_Distributions) (2019)

A distribuição Gama é generalizada da distribuição exponencial. Seja uma unidade exposta a uma série de choques que ocorrem conforme um processo homogêneo, com intensidade  $\gamma$ . O tempo até a falha  $T$  de uma unidade segue uma distribuição lognormal se  $Y = \ln(T)$  for normalmente atribuído (Fogliatto e Duarte, 2009). Esta distribuição é muito utilizada em modelagem de tempos de reparo de sistemas reparáveis. Observa-se que a função de risco da lognormal tem o formato invertido da curva da banheira, com o risco crescendo inicialmente e, após, decrescendo de forma assintótica ao eixo  $x$ .

As falhas prematuras (mortalidade infantil) são falhas em equipamentos recém montados ou saindo de manutenção. As falhas por desgaste (fim de vida útil ou fim de vida econômica) são falhas em equipamentos com tempo elevado de uso. As falhas aleatórias ocorrem devido situações não usuais ou por influência externa ao funcionamento do equipamento.

### 3.3.4 Análise da Confiabilidade de Sistemas

Para a Confiabilidade, um sistema não reparável é uma coleção de subsistemas ou componentes arranjados de maneira sequencial lógica, permitindo que o sistema cumpra sua função.

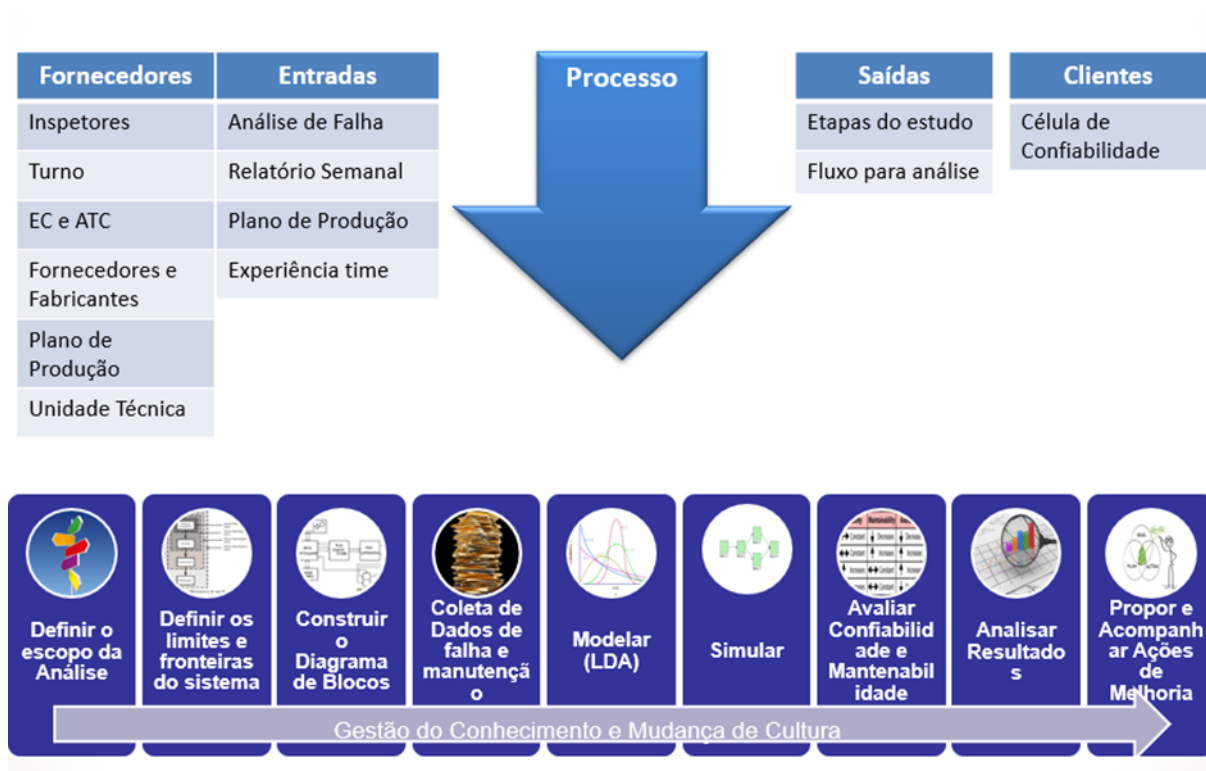
Um sistema reparável é uma coleção de subsistemas, equipamentos e itens ou componentes os quais possam ser reparados ou substituído a fim de permitir que este sistema possa restabelecer as funções principais após sua falha funcional.

Um *Reliability Block Diagram* (RDB) é um diagrama de blocos representando um sistema e podem estar configurados em série, paralelo simples, combinado, reserva (*standby*), compartilhado (*load share*) e paralelo alternado (revezamento).

#### 4. DESENVOLVIMENTO DA ANÁLISE RAM NO KR

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessário o envolvimento da equipe, desde seu corpo gerencial (sponsors do trabalho) quanto a base operacional. Foi realizada uma reunião de kick-off com os gestores e as equipes, onde o projeto foi apresentado e destacado como fundamental para a sustentabilidade operacional. Este evento foi importante para dar direção e força, além de ser o início para a mudança do mind-set dos envolvidos.

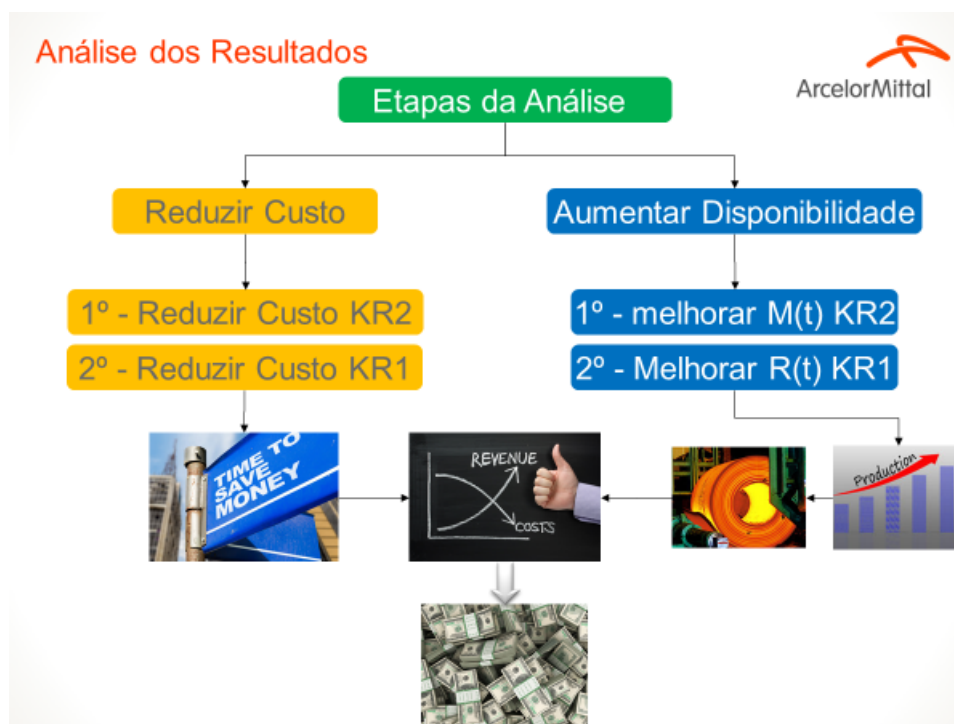
Figura 4.1 - Metodologia adotada para desenvolvimento do projeto



Fonte: O Autor (2018)

Após apresentação dos métodos, os objetivos do trabalho foram descritos conforme figura abaixo.

Figura 4.2 - Objetivos do trabalho



Fonte: O Autor (2018)

O escopo foi delimitado, considerando os equipamentos a partir do recebimento do material dessulfurante até a saída do processo. Ou seja, desde quando a panela é posicionada no carro de transferência basculante até a sua retirada, liberada para dar continuidade no processo. As datas do estudo foram concentradas no período de 01/01/2016 até 31/12/2018

Foi considerado fora do escopo as panelas de gusa e as pontes de carregamento, além do Skimmer 03, pois é auxiliar. Porém, as ações que serão realizadas para o Skimmer 01 e 02 serão replicadas no 03, visto que são equipamentos idênticos em sua construção e operação.


A equipe participante foi composta com a célula de confiabilidade da manutenção da aciaria, inspeção mecânica e elétrica, executantes, operadores, supervisores, turno de manutenção, engenheiro de confiabilidade da IIC e estagiários de ambas as áreas.

O processo de coleta de dados, foi realizada utilizando três fontes de informação, sendo elas:

- SISMANA (CMMS antigo, de 01/01/2016 a 30/06/2018)
- SAP (CMMS atual, 01/07/2018 a 31/12/2018)
- Boletim de Produção – 01/01/2016 a 31/12/2018)

Abaixo, um registro do SISMANA, CMMS que foi descontinuado em 2018.

Figura 4.3 - Registro de Anomalia, dados coletados no SISMANA

		<b>RELATÓRIO SIMPLIFICADO DE REGISTROS DE ANOMALIA</b>			
REAM - 0047	SISMANA - Módulo de Registro de Anomalias	Impresso em: 24/06/2019 às 15:07 Hs		1 / 38	
<b>Filtro:</b> Período: 01/01/2016 até 31/12/2016 Turno Includor: Todos Setor Resp. p/ Anomalia: Todos Tipo de Parada: Todos		<b>Status:</b> Todos Nº Turno: Todos Atendimento: Todos		<b>Localização:</b> U.O.: 07 - ACIARIA A.O.: 17 - KR ALA 1 E.Q.: Todas S.F.: Todas I.F.: Todas	
<b>Tipo de Anomalia:</b> <u>Setor de Manutenção</u>					
<b>Data:</b> 02/01/2016 Hora: 10:54 Nº: 0920-2016-2 Ind.Parada? Sem Parada Título: TRANSPORTE PARADO DEVIDO SILO CHEIO Item: 07.17.423.009.009 - SILO DE PÓ    ARMAZENAMENTO DE PÓ    SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO VENTILAÇÃO SECUNDÁRIA 04 KR ALA 1 ACIARIA		<b>Status:</b> Concluído		<b>Resp.:</b> 0920-Manut. Sist. Controle Ambiental <b>Espec.:</b> M	
<b>Data:</b> 04/01/2016 Hora: 16:01 Nº: 0920-2016-3 Ind.Parada? Sem Parada Título: TRANSPORTE PARADO DEVIDO Sonda de Nível atuada no ciclo filtro Item: 07.17.423.008.002 - CICLO FILTRO DO TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE PÓ    SISTEMA TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE PÓ    SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO VENTILAÇÃO SECUNDÁRIA 04 KR ALA 1 ACIARIA		<b>Status:</b> Concluído		<b>Resp.:</b> 0920-Manut. Sist. Controle Ambiental <b>Espec.:</b> M	
<b>Data:</b> 04/01/2016 Hora: 16:05 Nº: 0920-2016-4 Ind.Parada? Sem Parada Título: PASSAGEM DE AR DA VALVULA PARA O SILO Item: 07.17.423.008.004 - VÁLVULA ROTATIVA MVR-226 DESC. CICLO FILTRO TRANSP.PNEUM.PÓ.    SISTEMA TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE PÓ    SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO VENTILAÇÃO SECUNDÁRIA 04 KR ALA 1 ACIARIA		<b>Status:</b> Concluído		<b>Resp.:</b> 0920-Manut. Sist. Controle Ambiental <b>Espec.:</b> M	
<b>Data:</b> 08/01/2016 Hora: 11:00 Nº: 0415-2016-1 Ind.Parada? Sem Parada Título: TRINÇAS NO ACOPLAMENTO DE GIRO DO IMPELLER KR 01 Item: 07.17.446.001.007 - ACOPLAMENTO IMPELLER/EIXO    GIRO DO IMPELLER    SISTEMA DO IMPELLER KR-1 KR ALA 1 ACIARIA		<b>Status:</b> Pendente		<b>Resp.:</b> 0415-Manut. Eletromecânica de Pontes da Acária <b>Espec.:</b> M	

Fonte: Arcelormittal Tubarão (2018)

A figura 4.4 mostra um registro do SAP, o CMMS, que foi implantado a partir de julho de 2018 na Arcelormittal Tubarão.

Figura 4.4 - Exemplo de dados coletados no SAP

**Exibir ordens e operações: lista de ordens e operações**

S	Ordem	Texto breve	Oper	Txt.breve operação	CenTrabOp.
	900001911868	TROCA DO CABEÇOTE SKIMMER 02	0010	TROCA DO CABEÇOTE SKIMMER 02	STGEMT01
	900002407753	TROCA DO CABEÇOTE SKIMMER 02	0010	TROCA DO CABEÇOTE SKIMMER 02	STGEMT01
	900001753483	TROCA DO CABEÇOTE E PA DO SKIMMER KR02	0010	TROCA DO CABEÇOTE E PA DO SKIMMER KR02	STGEMT01
	900001517296	TROCA DO CABEÇOTE DO SKIMMER 02	0010	TROCA DO CABEÇOTE DO SKIMMER 02	STGEMT01
	900001874580	TROCA DO CABEÇOTE DO SKIMMER 01	0010	TROCA DO CABEÇOTE DO SKIMMER 01	STGEMT01
	900001531134	troca do cabeçote do raspador	0010	troca do cabeçote do raspador	STACMI01
	900001742434	TROCA DO CABEÇOTE ESKIMMER-02	0010	TROCA DO CABEÇOTE ESKIMMER-02	STGEMT01
	900002024457	troca do cabeçote do raspador	0010	troca do cabeçote do raspador	STACMI01
	900002105780	troca do cabeçote do raspador	0010	troca do cabeçote do raspador	STACMI01
	900001729666	TROCA DO CABEÇOTE	0010	TROCA DO CABEÇOTE	STGEMT01
	900001769124	TROCA DO CABEÇOTE	0010	TROCA DO CABEÇOTE	STGEMT01
	900001945616	TROCA DO CABEÇOTE	0010	TROCA DO CABEÇOTE	STGEMT01
	900002091668	TROCA DO CABEÇOTE	0010	TROCA DO CABEÇOTE	STGEMT01
	900001975262	troca de roda guia dianteira do raspador	0010	troca de roda guia dianteira do raspador	STGEMT01
	900001830343	troca de cabeçote	0010	troca de cabeçote	STACMI01
	900002062713	troca de cabeçote	0010	troca de cabeçote	STACMI01
	900002194995	troca de cabeçote	0010	troca de cabeçote	STACMI01
	900001376707	TROCA DA VALVULA DE SEGURANÇA	0010	TROCA DA VALVULA DE SEGURANÇA	STGEMT01
	900001783685	TROCA DA RODA GUIA DIANTEIRA FIXA.	0010	TROCA DA RODA GUIA DIANTEIRA FIXA.	STGEMT01
	900001874581	TROCA DA PÁ E DO CABEÇOTE DO SKIMMER 02	0010	TROCA DA PÁ E DO CABEÇOTE DO SKIMMER 02	STGEMT01
	900002354883	Troca da Pá e Cabeçote, Skimmer 02	0010	Troca da Pá e Cabeçote, Skimmer 02	STGEMT01
	900002132065	TROCA DA PÁ DO SKIMMMER 02	0010	TROCA DA PÁ DO SKIMMMER 02	STGEMT01
	900002431740	TROCA DA PÁ DO SKIMMER-01	0010	TROCA DA PÁ DO SKIMMER-01	STGEMT01
	900002047367	TROCA DA PÁ DO SKIMMER 01	0010	TROCA DA PÁ DO SKIMMER 01	STGEMT01
	900001783681	TROCA DA PÁ DO CABEÇOTE DO SKIMMER 02	0010	TROCA DA PÁ DO CABEÇOTE DO SKIMMER 02	STGEMT01
	900001695379	TROCA DA PÁ DO CABEÇOTE DO SKIMMER 01	0010	TROCA DA PÁ DO CABEÇOTE DO SKIMMER 01	STGEMT01

Fonte: Arcelormittal Tubarão (2018)

Por fim, dados provenientes do boletim de produção da AMT.

Figura 4.5 - Exemplos de dados do Boletim de Produção

Boletim da Produção - Processado em Jun 24 2019 08:45:08

Principal Produção Parada Janela Ajuda

Boletim da Produção - Parada Diária por Motivo

Filtro: Área KR 1 Dia 28/06/2018

Gráfico Dados

Parada Diária por Motivo da Área KR 1

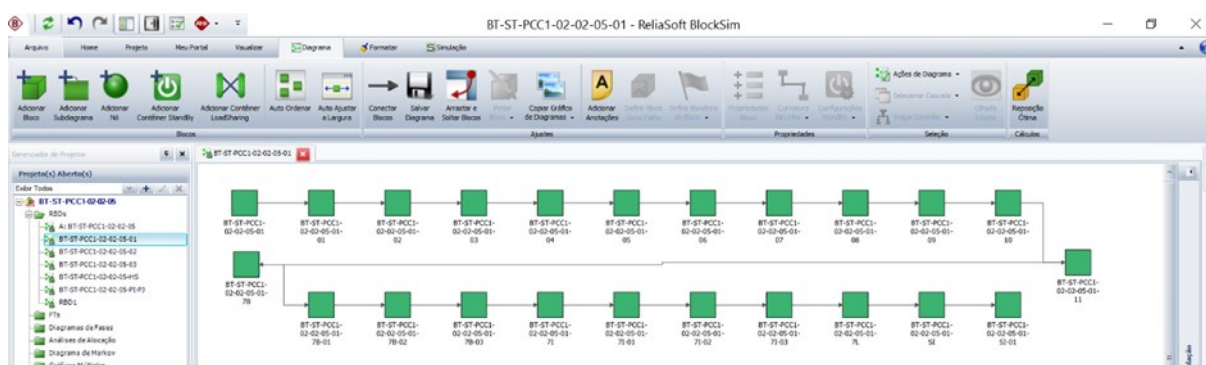
Data e Hora Início	Data e Hora Fim	Motivo	Descrição do Motivo	Natureza	Local	Tempo
28/06/18 00:21	28/06/18 00:22	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:01
28/06/18 00:22	28/06/18 00:35	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:13
28/06/18 00:46	28/06/18 00:47	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:01
28/06/18 01:06	28/06/18 01:08	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:02
28/06/18 01:13	28/06/18 01:37	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:24
28/06/18 02:01	28/06/18 02:07	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:06
28/06/18 02:37	28/06/18 02:45	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:08
28/06/18 02:56	28/06/18 02:59	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:03
28/06/18 03:14	28/06/18 03:15	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:01
28/06/18 03:29	28/06/18 03:44	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:15
28/06/18 04:07	28/06/18 04:08	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:01
28/06/18 04:51	28/06/18 04:52	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:01
28/06/18 06:14	28/06/18 06:21	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:07
28/06/18 06:31	28/06/18 06:33	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:02
28/06/18 06:44	28/06/18 06:45	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:01
28/06/18 07:14	28/06/18 07:17	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:03
28/06/18 07:55	28/06/18 07:56	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:01
28/06/18 07:56	28/06/18 07:58	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:02
28/06/18 08:13	28/06/18 08:16	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:03
28/06/18 08:26	28/06/18 08:36	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:10
28/06/18 08:41	28/06/18 08:42	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:01
28/06/18 09:02	28/06/18 09:08	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:06
28/06/18 09:18	28/06/18 09:19	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:01
28/06/18 09:24	28/06/18 09:25	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:01
28/06/18 09:46	28/06/18 09:48	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:02
28/06/18 09:58	28/06/18 10:03	NH	SINCRONISMO DA ACIARIA		KR 1	00:05
28/06/18 10:08	28/06/18 10:09	NZ	OUTRAS PARADAS DE OPERAÇÃO		KR 1	00:01

Fonte: Arcelormittal Tubarão (2018)

Após a coleta, teve-se um número inicial de 19000 dados, sendo que somente 4,5% foram utilizados (855 ao todo), devido a erros de lançamento, dados duplicados e falta de informações válidas. Para este processo de tratamento de dados, foi necessário reuniões periódicas com a equipe do projeto para ir eliminando o que não seria utilizado. Em alguns dados, foi utilizado a entrevista de confiabilidade para se determinar a periodicidade de alguns eventos, assim como seu tempo de reparo.

O modelamento das curvas de confiabilidade, assim como geração dos diagramas de blocos de confiabilidade foram realizados com apoio da ferramenta Orion, da Compass, dando agilidade na geração e análise.

Figura 4.6 - Exemplo de diagrama de blocos realizado no projeto



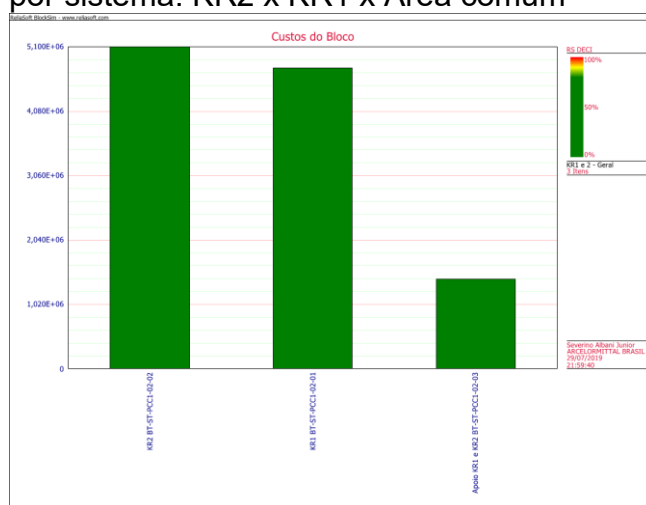
Fonte: O Autor (2019)

#### 4.1 ESTRATIFICAÇÃO POR EQUIPAMENTO

Após análise dos dados tratados, com as respectivas curvas de falha, foi montado o diagrama de blocos para cada item funcional dos equipamentos no Blocksim e simulado qual seria a expectativa de falha até o final de 2020, avaliando os principais os blocos que possuem o maior impacto no custo para o sistema. Segue abaixo os gráficos da análise.



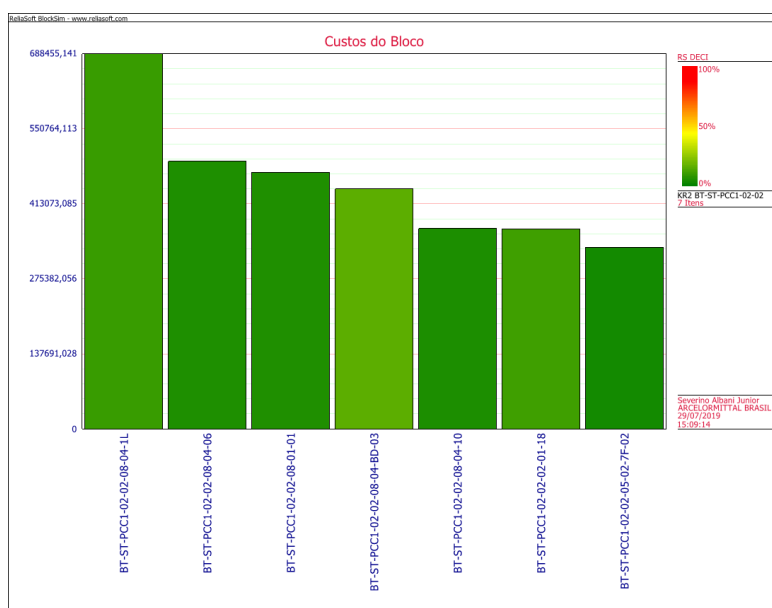
Figura 4.7 - Custos por sistema. KR2 x KR1 x Área comum



Fonte: O autor (2019)

Com isso, houve uma divisão entre os principais itens que impactaram diretamente em cada sistema.

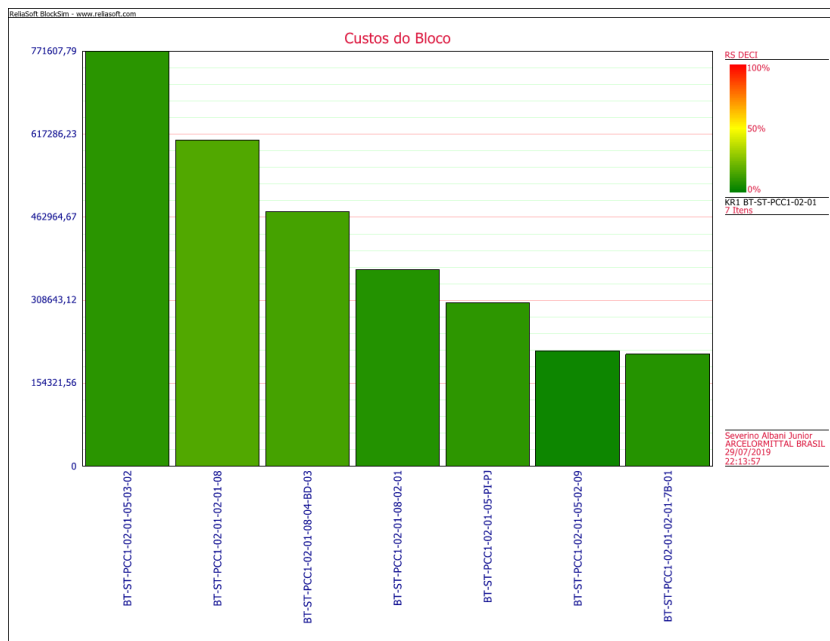
Figura 4.8 - Bad Actors do KR2



Fonte: O autor (2019)

Após o detalhamento dos itens mais relevantes no KR2, o mesmo foi feito para o KR1.

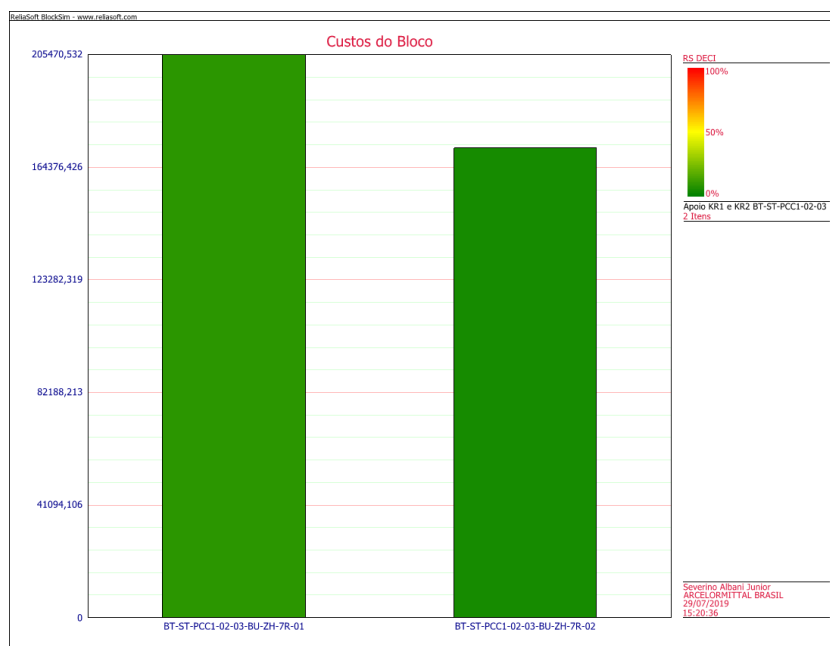
Figura 4.9 - Bad Actors do KR1



Fonte: O Autor (2019)

Por fim, um detalhamento da área comum das duas estações.

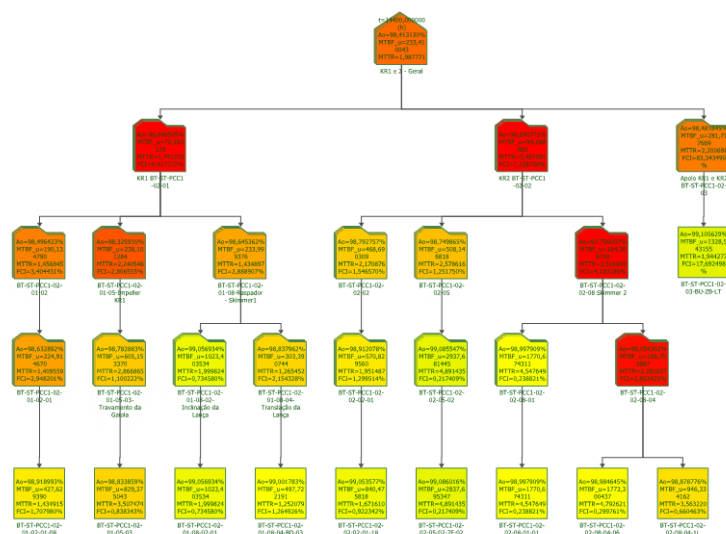
Figura 4.10 - Bad Actors Área Comum



Fonte: O autor (2019)

Após a análise separada de cada área, pode-se avaliar utilizando a o modo de exibição FRED, dentro da ferramenta do Blocksim, quais os blocos que afetam mais a disponibilidade.

Figura 4.11 - Disponibilidade geral do sistema até 2020 - Diagrama FRED



Fonte: O Autor (2019)

Com a simulação até 2020, foi possível determinar os principais equipamentos que impactam mais no custo operacional dos KR's, podendo-se realizar um plano de ação direcionado a mitigação destes. O custo operacional estimado até 2020 devido apenas as estas falhas que mais impactaram é de R\$ 5.027.140,65, detalhado na figura abaixo.

Figura 4.12 - Principais Bad Actors do Sistema x Custo previsto de falhas até 2020

Nome do Bloco	Descrição	KR	RS FCI	RS DTCI	Disp. Média (Todos Eventos)	# Esperado Falhas	Quantidade de MCs	Tempo Indisponível da MC (h)	Quantidade de MPs	Tempo Indisponível MP (h)	R\$ MC Diversos	Custo Total
BT-ST-PCC1-02-01-02	CARRO BASCULANTE DO KR 1	KR1	3,40%	1,81%	98,50%	75	75	109	9	108		R\$1.366.202,26
BT-ST-PCC1-02-01-02-01	TRANSLAÇÃO DO CARRO	KR1	2,95%	1,67%	98,63%	63	63	89	9	108		R\$1.121.420,87
BT-ST-PCC1-02-01-02-01-08	SENSORES/LIMITES DE POSIÇÃO DO CARRO	KR1	1,71%	1,36%	98,92%	33	33	48	9	108	R\$582.980,31	R\$609.275,64
BT-ST-PCC1-02-01-05	IMPELLER DO KR 1	KR1	2,81%	11,15%	98,33%	59	59	133	9	108		R\$1.858.040,42
BT-ST-PCC1-02-01-05-03	TRAVAMENTO DA GAIOLA	KR1	1,10%	3,22%	98,78%	24	24	67	9	108		R\$888.773,46
BT-ST-PCC1-02-01-05-03-07	CLAMP Nº05 (INFERIOR)	KR1	0,84%	1,14%	98,83%	17	17	60	9	108	R\$734.116,17	R\$762.407,13
BT-ST-PCC1-02-01-05-PI	INSTRUMENTAÇÃO DE PROCESSO	KR1	0,84%	1,20%	99,09%	18	18	23	9	108		R\$303.792,79
BT-ST-PCC1-02-01-05-PI-PJ	MEDIDORES DE TRAÇÃO	KR1	0,84%	1,20%	99,09%	18	18	23	9	108	R\$281.521,12	R\$303.792,79
BT-ST-PCC1-02-01-08	RASPADOR DE ESCORIA (SKIMMER) DO KR 1	KR1	2,89%	6,20%	98,65%	61	61	87	9	108		R\$1.190.075,93
BT-ST-PCC1-02-01-08-02	INCLINAÇÃO DA LANÇA	KR1	0,73%	1,19%	99,06%	14	14	28	9	108		R\$363.034,17
BT-ST-PCC1-02-01-08-02-01	TUBULAÇÃO / FLEXÍVEIS HIDRÁULICOS	KR1	0,73%	1,19%	99,06%	14	14	28	9	108	R\$339.973,68	R\$363.034,17
BT-ST-PCC1-02-01-08-04-BD-03	ESTRUTURA DA PÁ	KR1	1,26%	1,23%	99,00%	29	29	36	9	108	R\$437.424,54	R\$461.778,16
BT-ST-PCC1-02-02-02	CARRO BASCULANTE DO KR 2	KR2	1,55%	4,87%	98,79%	30	30	66	9	108		R\$926.983,90
BT-ST-PCC1-02-02-02-01	TRANSLAÇÃO DO CARRO	KR2	1,30%	3,33%	98,91%	25	25	49	9	108		R\$676.483,82
BT-ST-PCC1-02-02-02-01-18	SENSORES/LIMITES DE POSIÇÃO DO CARRO	KR2	0,92%	0,96%	99,05%	17	17	28	9	108	R\$346.015,45	R\$369.154,56
BT-ST-PCC1-02-02-05	IMPELLER DO KR 2	KR2	1,25%	5,70%	98,75%	28	28	72	9	108		R\$1.023.919,58
BT-ST-PCC1-02-02-05-02	ICAMENTO DO IMPELLER	KR2	0,22%	1,69%	99,09%	5	5	24	9	108		R\$330.683,22
BT-ST-PCC1-02-02-05-02-7F-02	FREIOS DE EMERGÊNCIA	KR2	0,22%	0,90%	99,09%	5	5	24	9	108	R\$289.772,68	R\$312.150,42
BT-ST-PCC1-02-02-08	RASPADOR DE ESCORIA (SKIMMER) DO KR 2	KR2	4,18%	7,68%	97,76%	86	86	216	9	108		R\$2.846.258,91
BT-ST-PCC1-02-02-08-01	ELEVAÇÃO DO CONJUNTO	KR2	0,24%	0,88%	99,00%	8	8	37	9	108		R\$471.013,01
BT-ST-PCC1-02-02-08-01-01	ARTICULAÇÃO INFERIOR	KR2	0,24%	0,88%	99,00%	8	8	37	9	108	R\$446.570,21	R\$471.013,01
BT-ST-PCC1-02-02-08-04	TRANSLAÇÃO DA LANÇA	KR2	3,85%	6,09%	98,05%	76	76	173	9	108		R\$2.271.881,05
BT-ST-PCC1-02-02-08-04-06	TENSIONADOR TRASEIRO	KR2	0,30%	0,84%	98,98%	8	8	39	9	108	R\$469.866,13	R\$494.620,03
BT-ST-PCC1-02-03-BU-ZH	SALA ELÉTRICA PRINCIPAL	APOIO	57,60%	33,27%	99,47%	35	35	76	0	0		R\$939.594,15
BT-ST-PCC1-02-03-BU-ZH-7R	CENTROS DE CONTROLE DE MOTOR	APOIO	33,80%	17,37%	99,72%	21	21	40	0	0		R\$490.608,84
BT-ST-PCC1-02-03-BU-ZH-7R-01	CCM AG01 440V	APOIO	7,93%	7,64%	99,88%	5	5	17	0	0	R\$212.967,02	R\$215.811,00
BT-ST-PCC1-02-03-BU-ZH-7R-02	CCM AG02 440V	APOIO	4,38%	6,08%	99,90%	3	3	14	0	0		R\$171.824,27

Fonte: O Autor (2019)

Os itens com maior relevância estudados, são:

- Sensores/Limites de Posição do Carro – KR1 e KR2;
- Clamp do travamento da gaiola do Impeller – KR1;
- Medidores de tração – Impeller do KR01;
- Tubulação/Flexíveis Hidráulicos – Skimmer 01;
- Estrutura da pá – Skimmer 01 e 02;
- Freios de Emergência – KR2;
- Articulação Inferior – Skimmer 02;
- Tensionador traseiro – Skimmer 02;
- Corrente dupla – Skimmer 02;
- CCM AG01 e 02 – Sala Elétrica principal;

Por conta das plantas dos KR's serem iguais, iremos detalhar os equipamentos de forma agrupada, ilustrando o que cada item deste no equipamento.

#### 4.1.1 RASPADOR DE ESCÓRIA (SKIMMER)

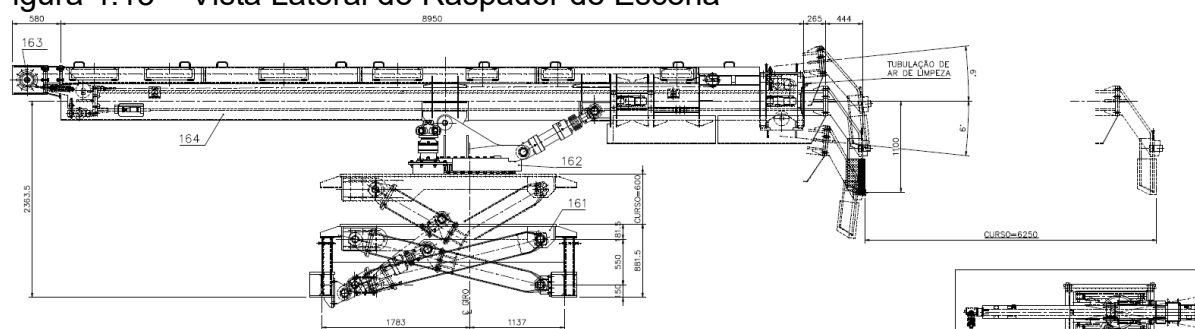
O raspador de escória tem como sua função de retirar a escória sobrenadante no banho de gusa antes e após o processo de dessulfuração. Tem o movimento de translação, giro, inclinação e elevação da lança. Em caso de falha, interrompe a produção na estação do KR por questões de logística operacional, visto que é possível utilizar o Skimmer 03.

Seus movimentos são realizados por força hidráulica, seja nos cilindros ou nos motores hidráulicos para giro e translação da lança.

É um equipamento operado de forma remota da sala de operação, por câmeras e por manetes.

A parte mais exposta ao processo é a ponta da lança, aonde se encontra o cabeçote de fixação e a pá do skimmer, que entra em contato direto com o gusa, realizando a limpeza mecânica.

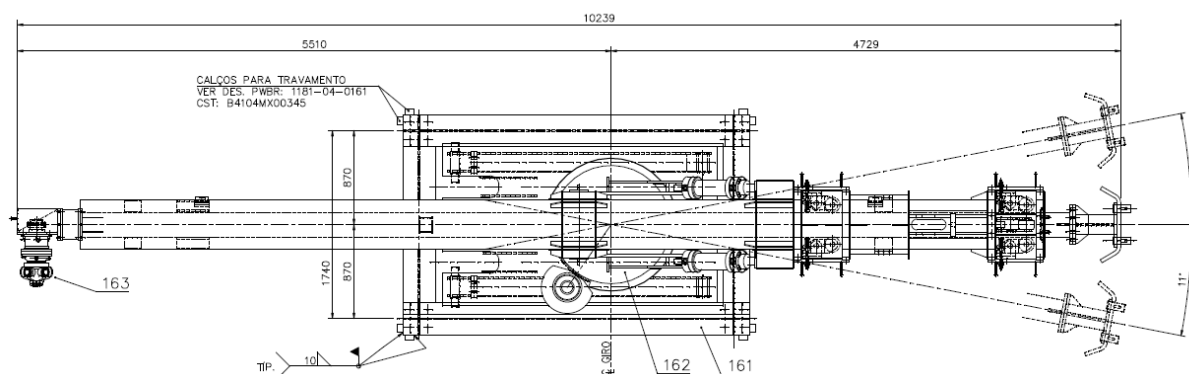
Figura 4.13 – Vista Lateral do Raspador de Escória



Fonte: Arcelormittal Tubarão (2019)

Segue abaixo a vista superior do equipamento, de acordo com seu desenho técnico.

Figura 4.14 - Vista Superior do raspador de escória



Fonte: Arcelormittal Tubarão (2019)

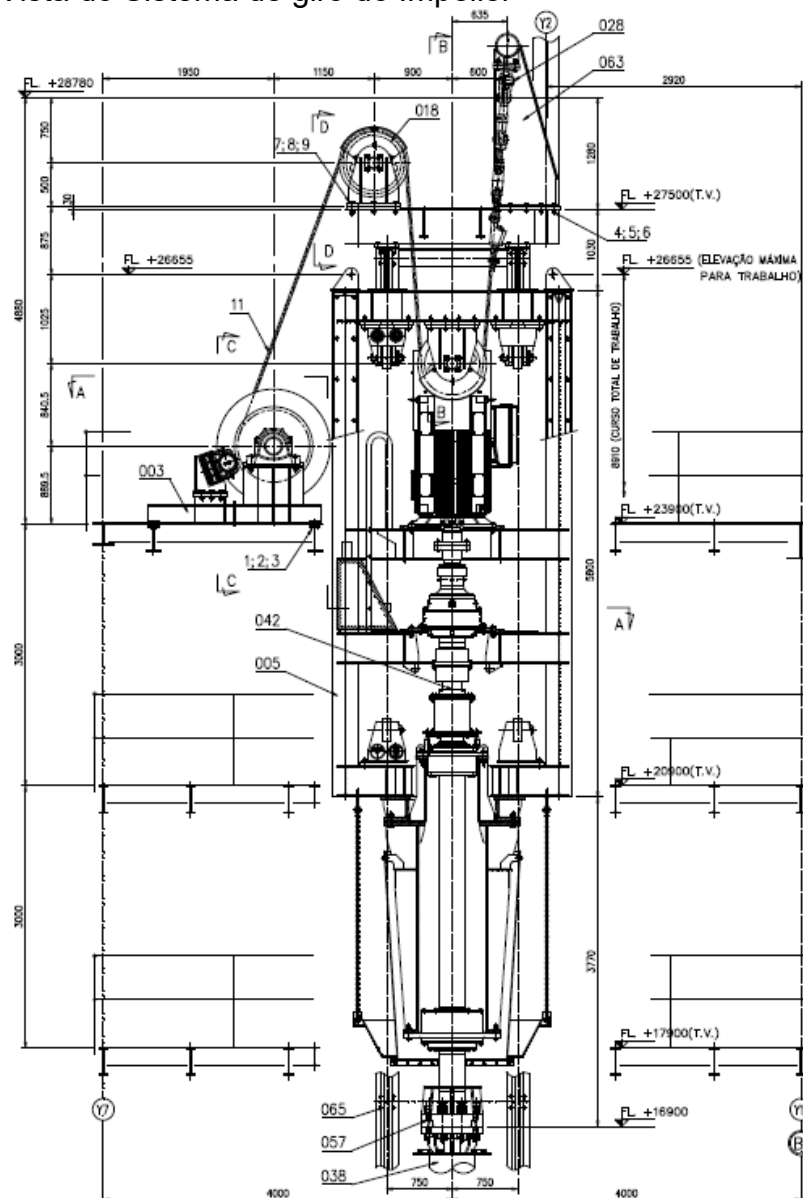
Os itens que mais impactaram no custo dos Skimmers foram as tubulações/flexíveis hidráulicos, que são responsáveis por toda a movimentação e força do sistema. A estrutura da pá, engloba toda a parte do movimento da raspagem, onde se tem os rolos guias, correntes, esticadores e a pá propriamente dita. A Articulação é responsável pela movimentação vertical do equipamento.

#### 4.1.2 IMPELLER DO KR

O Sistema do Impeller do KR tem como sua função realizar a mistura do material dessulfurante no gusa, com movimento mecânico. Consiste numa gaiola móvel, içada por cabos de aço, estrutura de fixação, motor de giro, redutor, acoplamento e o impeller propriamente dito, que é refratário e entra em contato com o banho. Em caso de falha, interrompe a produção na estação do KR.

Seu giro é realizado pelo acionamento do motor principal, onde tem sua velocidade variável de acordo com a necessidade do processo. O içamento é feito por motor, redutor ligado a um dromo do cabo de aço de elevação. Sua altura é controlada pelo operador, para permitir o controle do processo e manobras de set-up operacional. Existe ação de motor elétrico, Sistema hidráulico de lubrificação do redutor e de acionamento dos clamps de travamento, rodas guias e Sistema de frenagem.

Figura 4.15 - Vista do Sistema de giro do Impeller



Fonte: Arcelormittal Tubarão (2019)

A seguir, uma foto do sistema de giro do impeller.

Figura 4.16 - Sistema de giro do Impeller



Fonte: O Autor (2019)

Os medidores de tração do impeller servem para detectar cabo frouxo ou tensionado na planta, de forma a proteger o sistema de içamento em caso de alguma anormalidade. Os Clamps fazem a fixação/absorção da vibração entre a gaiola e a planta, principalmente quando se há algum desbalanceamento no

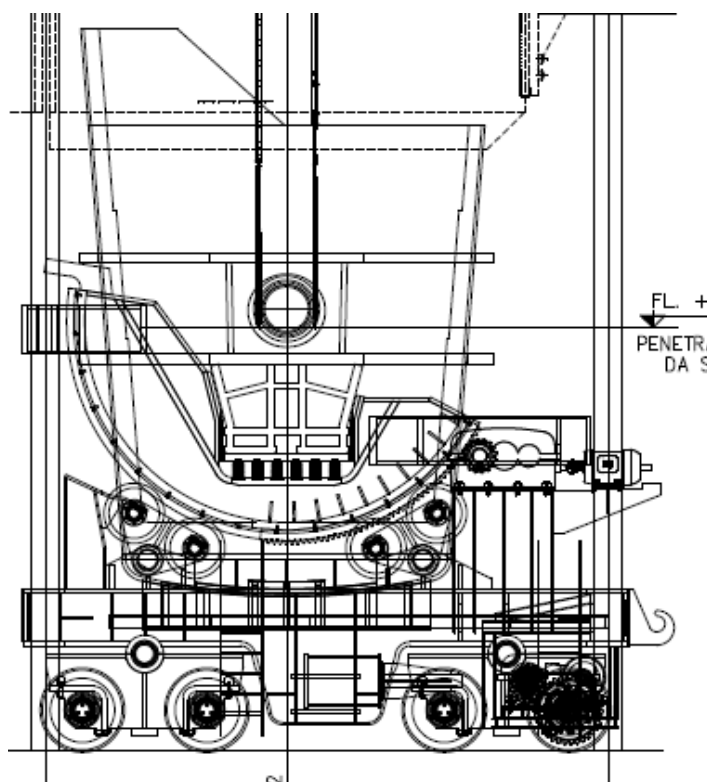


Impeller. Os freios de emergência ficam junto ao dromo de içamento da gaiola, entrando em ação em caso de falha do freio principal.

#### 4.1.3 CARRO BASCULANTE DE PANELA DE GUSA

O carro basculante é onde o processo se inicia no KR, com o recebimento da panela de gusa. Ele tem função de deslocamento da panela da região do recebimento até a de tratamento de gusa, aonde ele apoia a panela para a raspagem de escória pelo Skimmer e para o tratamento com o Impeller. Em caso de falha, interrompe a produção do KR.

Figura 4.17 - Desenho técnico da vista lateral do Carro Basculante de Panela de gusa



Fonte: Arcelormittal Tubarão (2019)

A seguir, uma foto do carro acima, com uma panela de gusa no processo de produção de aço.

Figura 4.18 - Vista da Panela de Gusa no Carro



Fonte: O Autor (2019)

Os sensores/limites de posição do carro são necessários para informar a posição, se está disponível para o tratamento do gusa ou se está apto a receber a panela. Também engloba a posição do basculamento da panela, sendo fundamental para o funcionamento seguro da planta.

#### 4.1.4 SALA ELÉTRICA PRINCIPAL DO KR'S

É responsável por todo o controle de energia dos equipamentos, e o local onde os drives de comando estão localizados.

#### 4.2 MEDIDAS DE CONTROLE SOBRE OS BAD ACTORS

Utilizando os métodos de análise de falha que foram desenvolvidas no período de estudo do trabalho, chegamos a diversos planos de ação para cada um dos bad actors. Como as plantas são idênticas, os planos foram expandidos para ambas estações, visando padronização e ganho de confiabilidade. Nas tabelas abaixo, temos o plano de ações previstas para cada tipo de equipamento da estação de tratamento, ilustrados nas fotos e desenhos acima, para redução do número de falhas.

Tabela 4.1 - Ações para os Bad Actors - Carro Basculante dos KRs

SENSORES/LIMITES DE POSIÇÃO DO CARRO - TRANSLAÇÃO DO CARRO - CARRO BASCULANTE DO KR 1		Status
1	Prolongamento da canoa do sensor de posição do CBPG	OK
2	Substituição do cabo de alimentação	OK
3	Reposicionamento dos sensores de basculamento e posição do carro	OK
4	Desenvolver novo modelo de sensor mais robusto para aplicação	2020

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 4.2 - Ações para os Bad Actors – Travamento da Gaiola Impeller dos KRs

CLAMP Nº05 (INFERIOR) - TRAVAMENTO DA GAIOLA - IMPELLER DO KR 1		Status
1	Reprojetar material da ponta da haste de travamento a gaiola e da guia	2020
2	Orientar/Conscientizar operação para evitar sobrecarga no acumulador (Eng. de Confiabilidade)	2020
3	Avaliar instalação de sensores de posição dos clamps	2020
4	Gabarito de posicionamento do eixo para reparo nas pás de refratamento	Ok
5	Verificação da centralização do eixo antes do refratamento – Tecnofire	Ok
6	Controle de vibração do molde de refratamento	Ok
7	Limpeza dos flanges de fixação do impeller com o eixo de acionamento do giro, para evitar o desbalanceamento do conjunto por falta de centralização na fixação	Ok
8	Eliminado a necessidade de realizar pintura no flange do impeller, gerava calço impedindo o assentamento dos flanges.	Ok
9	Modificado o limite de rotação do conjunto no sistema supervisorio (máximo 150 rpm, operava com 20% a mais)	Ok
10	Ajuste da folga da chaveta do acoplamento do KR eliminando calço ( em andamento)	2020
11	Fabricado duas novas estruturas de impeller, descartando duas unidades que operavam de forma crítica, estrutura avariada	Ok
12	Avaliar instalação de sensores de amplitude/vibração da gaiola	2020
13	Reestabelecimento do sistema de cabo frouxo/tensionado	2020

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 4.3 - Ações para os Bad Actors - Medidores de tração - Impeller do KR1

MEDIDORES DE TRAÇÃO - IMPELLER KR1		Status
1	Alterada lógica de içamento do impeller para movimentação da gaiola apenas após recuo completo dos clamps	OK

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 4.4 - Ações para os Bad Actors - Raspador de Escória dos KR's

INCLINAÇÃO DA LANÇA-"RASPADOR DE ESCORIA (SKIMMER) DO KR 1		Status
1	Controle de vida e substituição da pá, reduzindo a ocorrência de peso excessivo, vindo a travar o rolete inferior	OK
2	Orientação para não limpar a pá do skimmer na panela de gusa, minimizando os choques	OK
3	Substituição do limite de fim de curso por laser, evitando impactos no batente da lança e por consequência pular dente da corrente	OK
4	Melhoria no sistema de lubrificação do rolete do inferior, e aumento da frequência de lubrificação	OK
5	Alteração da graxa utilizada no rolete, para maior severidade	OK
6	Avaliação da qualidade de fornecimento da corrente de translação da lança ( má qualidade)	OK
7	Padronização e eliminação da folga do esticador de corrente	OK
8	Desenvolvimento de célula de carga para detecção de peso da pá ( a instalar)	2020
9	Substituição da estrutura de elevação do SK2 ( a realizar)	2020
10	Substituição da mesa do Skimmer por modelo reforçado (SK1)	OK
11	Implementação da lógica de aceleração e desaceleração da translação da lança	OK
12	Instalação de sensores de parada do giro do Skimmer	OK
13	Relocação do motor hidráulico de translação da lança – evitar impactos contra estrutura	OK
14	Novo modelo de cabeçote de sustentação da pá do SK. ( a instalar)	2020

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 4.5 - Ações para os Bad Actors - Freios de Emergência dos KR's

FREIOS DE EMERGÊNCIA - IÇAMENTO DO IMPELLER - IMPELLER DO KR 2		Status
1	Reestabelecido manutenção	Ok
2	Instalar novo projeto de adequação do freio de emergência	2020

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 4.6 - Ações para os Bad Actors - Raspador de Escória do KR2

ARTICULAÇÃO INFERIOR - ELEVAÇÃO DO CONJUNTO - RASPADOR DE ESCORIA (SKIMMER) DO KR 2		Status
1	Realizar substituição da mesa de articulação do Skimmer 02	2020

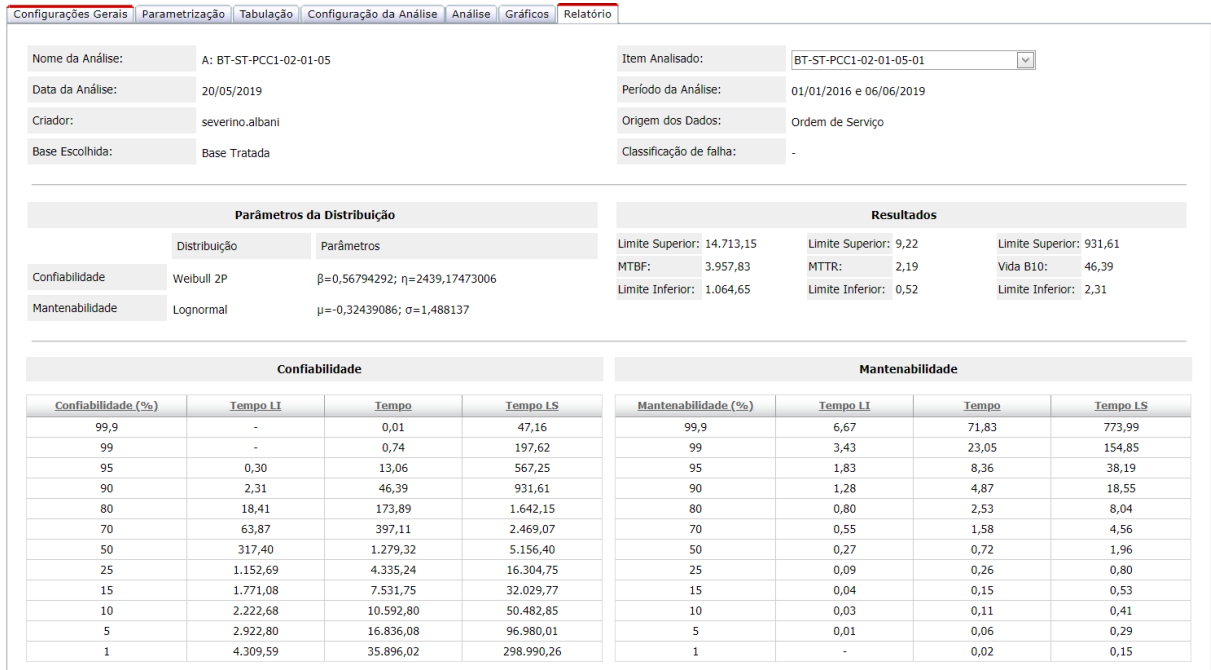
Fonte: O Autor (2019)

Tabela 4.7 - Ações para os Bad Actors - Sala Elétrica Principal

CENTROS DE CONTROLE DE MOTOR - SALA ELÉTRICA PRINCIPAL		Status
1	Substituição do Drive do KR1 por novo modelo	ok
2	Aquisição de drive sobressalente para o KR2	ok
3	Manutenção dos circuitos eletrônicos no laboratório	ok

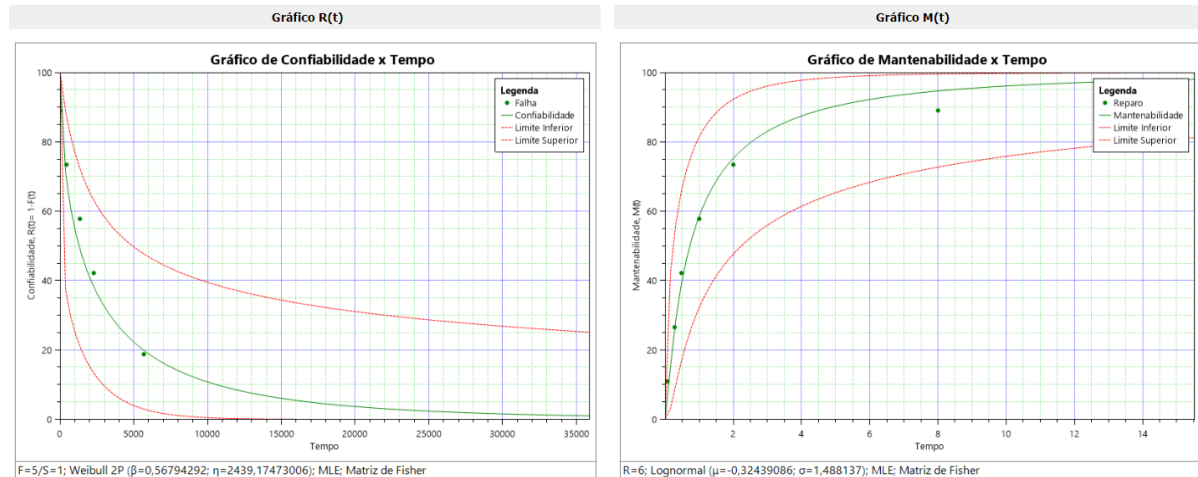
Fonte: O Autor (2019)

Figura 4.19 - Exemplo de análise realizada no Orion



Fonte: O Autor (2019)

Figura 4.20 - Exemplo de análise realizada no Orion



Fonte: O Autor (2019)

Figura 4.21 - Exemplo de análise realizada no Orion

Weibull 2P		Lognormal	
<b>Comportamento</b>	Variabilidade muito alta, taxa de falha decrescente e desvio padrão >> média.	<b>Variabilidade das Equipes de Manutenção</b>	Variabilidade muito alta e desvio padrão >> TMR.
<b>Característica da Falha</b>	Falha prematura / mortalidade infantil.	<b>Característica da Manutenção</b>	Os tempos de reparo apresentam uma variabilidade muito alta em torno do TMR.
<b>Causa da Falha</b>	Possibilidade de problemas de controle de qualidade, e/ou erro de instalação ou montagem, e/ou carga excessiva aplicada, e/ou erro na apropriação do registro (problema nos dados), e/ou ruptura devido a altos esforços, etc..	<b>Observação</b>	Uma grande quantidade de falhas apresenta altos tempos de reparo. Equipe muito heterogênea. Certa quantidade com pequeno tempo de reparo, outra quantidade com tempo de reparo em torno do valor modal, e uma grande quantidade com altos tempos de reparo.
<b>Ação Recomendada</b>	Realizar estudo para analisar porque alguns itens falham com pouco tempo de operação e outros falham com tempo conforme esperado.	<b>Ação Recomendada</b>	Necessário um forte treinamento para todas as equipes de manutenção e modificação de procedimentos para a retirada de falhas, uso de ferramental, equipamentos de teste, diagnose,... visando a redução da alta variabilidade dos tempos de reparo.

Probabilidade de Falha nas próximas 24 horas / 1 dia		Probabilidade de Falha Futura	
<b>Data da última falha:</b>	22/12/2018	<b>Data futura:</b>	20/09/2019
<b>Tempo em operação desde a última falha (dias):</b>	241	<b>Tempo de operação adicional (dias):</b>	30
<b>Probabilidade de Falha Condicional:</b>	0,38 %	<b>Probabilidade de falha condicional:</b>	10,63 %
<b>Status:</b>	Aceitável	<b>Status:</b>	Aceitável

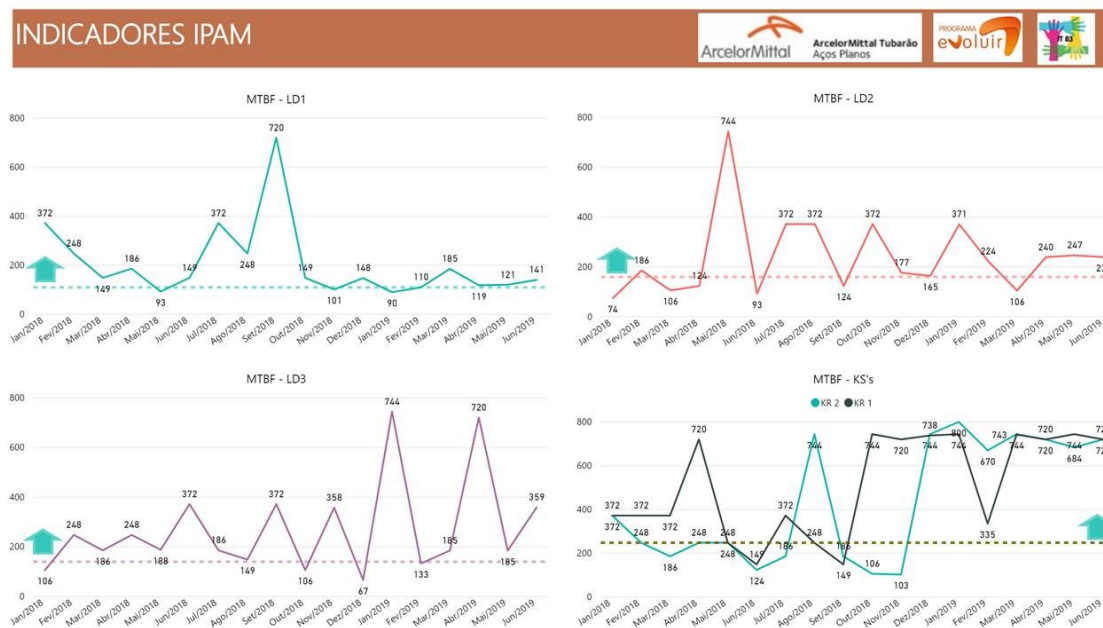
Seleção Datas=Data da Indisponibilidade e Data da Disponibilidade; Opções Análise=Individuais (Em todos os níveis) - Analisa item(s) selecionados individualmente; Início Análise=Iniciar Análise na Primeira Falha; Unidade de Tempo=Horas; Manutenção Preventiva=Tratar preventiva como Suspensão; Método Análise=Máxima Verossimilhança (MLE); Intervalos de Confiança=Bilateral; Método do Intervalo Confiança=Utilizar Matriz de Fisher; Nível de Confiança (%)=90,00%; Tipo de Nível de Confiança=-; Criticidade=C

Fonte: O Autor (2019)

### 4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS 2019 – NOVA SIMULAÇÃO

No fim de março de 2019, grande parte (29 de 42, 69%) dos planos de ação descritos acima haviam sido concretizados, sendo estes estimulados pela realização deste trabalho. Diante deste cenário, e com um sensível aumento do MTBF das estações KR1 e KR2, onde se resultou em índices de disponibilidade acima das expectativas dos anos de 2016 a 2018, decidiu-se realizar uma análise do comportamento dos bad-actors e refazer a simulação considerando a base estatística de 01 de abril de 2019 a 31 de julho de 2019.

Figura 4.22 - Indicadores de MTBF dos equipamentos da gerência de manutenção da Aciaria.



Fonte: O Autor (2019)

Nota-se que a partir do mês de março, quando as ações acima foram finalizadas, houve-se uma estabilidade grande na planta. Considerando estes novos dados, temos um resultado comparativo entre o cenário anterior e o atual.

Tabela 4.8 - Tabela de custo evitado comparativo entre a confiabilidade de 2016 a 2018 com a de abr/2019 a jul/2019

Nome do Bloco	Descrição	KR	RS FCI	RS DTCL	Disp. Média (Todos Eventos)	# Esperado Falhas	Quantidade de MCs	Tempo Indisponível da MC (h)	Quantidade de MPs	Tempo Indisponível MP (h)	R\$ MC Diversos
BT-ST-PCC1-02-01-02	CARRO BASCULANTE DO KR 1	KR1	3,40%	1,81%	98,50%	75	75	109	9	108	
BT-ST-PCC1-02-01-02-01	TRANSLAÇÃO DO CARRO	KR1	2,95%	1,67%	98,63%	63	63	89	9	108	
BT-ST-PCC1-02-01-02-01-08	SENSORES/LIMITES DE POSIÇÃO DO CARRO	KR1	1,71%	1,36%	98,92%	33	33	48	9	108	R\$582.980,31
	Depois das melhorias		100,00%	100,00%	0,99853	14,902	14,902	21,16355	9	108	R\$258.131,77
									Resultado		R\$351.143,87
BT-ST-PCC1-02-01-05	IMPELLER DO KR 1	KR1	2,81%	11,15%	98,33%	59	59	133	9	108	
BT-ST-PCC1-02-01-05-03	TRAVAMENTO DA GAIOLA	KR1	1,10%	3,22%	98,78%	24	24	67	9	108	
BT-ST-PCC1-02-01-05-03-07	CLAMP Nº05 (INFERIOR)	KR1	0,84%	1,14%	98,83%	17	17	60	9	108	R\$734.116,17
	Depois das melhorias		0,00%	0,00%	0,999845	2		2,235251	9	108	R\$27.627,44
									Resultado		R\$734.779,69
BT-ST-PCC1-02-01-05-PI	INSTRUMENTAÇÃO DE PROCESSO	KR1	0,84%	1,20%	99,09%	18	18	23	9	108	
BT-ST-PCC1-02-01-05-PI-PJ	MEDIDORES DE TRAÇÃO	KR1	0,84%	1,20%	99,09%	18	18	23	9	108	R\$281.521,12
	Depois das melhorias		100,00%	100,00%	0,999686	4	4	4,528042	9	108	R\$55.228,53
									Resultado		R\$226.292,59
BT-ST-PCC1-02-01-08	RASPADOR DE ESCORIA (SKIMMER) DO KR 1	KR1	2,89%	6,20%	98,65%	61	61	87	9	108	
BT-ST-PCC1-02-01-08-02	INCLINAÇÃO DA LANÇA	KR1	0,73%	1,19%	99,06%	14	14	28	9	108	
BT-ST-PCC1-02-01-08-02-01	TUBULAÇÃO / FLEXÍVEIS HIDRÁULICOS	KR1	0,73%	1,19%	99,06%	14	14	28	9	108	R\$339.973,68
	Depois das melhorias		100,00%	100,00%	0,999455	4	4	7,850112	9	108	R\$95.747,81
									Resultado		R\$244.225,87
BT-ST-PCC1-02-01-08-04-BD-03	ESTRUTURA DA PÁ	KR1	1,26%	1,23%	99,00%	29	29	36	9	108	R\$437.424,54
	Depois das melhorias		100,00%	100,00%	0,999046	11,372	11,372	13,73817	9	108	R\$167.564,42
									Resultado		R\$269.860,12
BT-ST-PCC1-02-02-02	CARRO BASCULANTE DO KR 2	KR2	1,55%	4,87%	98,79%	30	30	66	9	108	
BT-ST-PCC1-02-02-02-01	TRANSLAÇÃO DO CARRO	KR2	1,30%	3,33%	98,91%	25	25	49	9	108	
BT-ST-PCC1-02-02-02-01-18	SENSORES/LIMITES DE POSIÇÃO DO CARRO	KR2	0,92%	0,96%	99,05%	17	17	28	9	108	R\$346.015,45
	Depois das melhorias		100,00%	100,00%	0,9994	5,268	5,268	8,641049	9	108	R\$105.394,87
									Resultado		R\$240.620,58
BT-ST-PCC1-02-02-05	IMPELLER DO KR 2	KR2	1,25%	5,70%	98,75%	28	28	72	9	108	
BT-ST-PCC1-02-02-05-02	ICAMENTO DO IMPELLER	KR2	0,22%	1,69%	99,09%	5	5	24	9	108	
BT-ST-PCC1-02-02-05-02-7F-02	FREIOS DE EMERGÊNCIA	KR2	0,22%	0,90%	99,09%	5	5	24	9	108	R\$289.772,68
	Depois das melhorias		100,00%	100,00%	0,998662	4	4	19,26794	9	108	R\$235.011,09
									Resultado		R\$54.761,59
BT-ST-PCC1-02-02-08	RASPADOR DE ESCORIA (SKIMMER) DO KR 2	KR2	4,18%	7,68%	97,76%	86	86	216	9	108	
BT-ST-PCC1-02-02-08-01	ELEVAÇÃO DO CONJUNTO	KR2	0,24%	0,88%	99,00%	8	8	37	9	108	
BT-ST-PCC1-02-02-08-01-01	ARTICULAÇÃO INFERIOR	KR2	0,24%	0,88%	99,00%	8	8	37	9	108	R\$446.570,21
	Depois das melhorias		100,00%	100,00%	0,998115	5,954	5,954	27,14861	9	108	R\$331.131,56
									Resultado		R\$115.438,65
BT-ST-PCC1-02-02-08-04	TRANSLAÇÃO DA LANÇA	KR2	3,85%	6,09%	98,05%	76	76	173	9	108	
BT-ST-PCC1-02-02-08-04-06	TENÇIONADOR TRASEIRO	KR2	0,30%	0,84%	98,98%	8	8	39	9	108	R\$469.866,13
	Depois das melhorias		100,00%	100,00%	0,998699	4	4	18,72936	9	108	R\$228.441,96
									Resultado		R\$241.424,17
BT-ST-PCC1-02-03-BU-ZH	SALA ELÉTRICA PRINCIPAL	APOIO	57,60%	33,27%	99,47%	35	35	76	0	0	
BT-ST-PCC1-02-03-BU-ZH-7R	CENTROS DE CONTROLE DE MOTOR	APOIO	33,80%	17,37%	99,72%	21	21	40	0	0	
BT-ST-PCC1-02-03-BU-ZH-7R-01	CCM AG01 440V	APOIO	7,93%	7,64%	99,88%	5	5	17	0	0	R\$212.967,02
	Depois das melhorias		100,00%	100,00%	0,999539	2	2	6,633894	9	18	R\$80.913,61
									Resultado		R\$132.053,41

Fonte: O Autor (2019)



Tabela 4.9 - Simulação de falhas esperadas nos sensores/limites de posição do carro KR1 antes das melhorias

<b>Visão Geral do Sistema</b>	
<b>Geral</b>	
Disponibilidade Média (Todos Eventos):	0,989024
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	0,001152
Disponibilidade Média (sem MP, OC e Inspeção):	0,996618
Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 14200 h:	1
Confiabilidade em 14200 h:	0
Tempo Disponível (h):	14044,13849
Tempo Indisponível Total (h):	155,861512
<b>Unidades</b>	
<b>Resumo das Métricas</b>	
TMAPF (h):	450,473623
MTBF (Tempo Total) (h):	420,865442
MTBF (Tempo de Funcionamento) (h):	416,245954
MTBE (Tempo Total) (h):	332,350325
MTBE (Tempo de Funcionamento) (h):	328,702394
MTTM (h):	3,647931
MTTR (h):	1,423518
<b>Resumo do Tempo de Inatividade</b>	
Espera o Tempo de Inatividade (h):	0
Tempo Indisponível Crítico (h):	-
<b>Resumo da Contagem do Evento</b>	
<b>Falhas do Sistema</b>	
Quantidade Esperada de Falhas:	33,74
Desvio Padrão (Quantidade de Falhas):	10,695662
<b>Ações de MC</b>	
Quantidade de MCs:	33,74
Tempo Indisponível da MC (h):	48,029512
<b>Inspeções</b>	
Quantidade de Inspeções:	0
Tempo Indisponível da Inspeção (h):	0
<b>Ações de MP</b>	
Quantidade de MPs:	8,986
Tempo Indisponível MP (h):	107,832
<b>Ações de OC</b>	
Quantidade de OCs:	0
Tempo Indisponível da OC (h):	0
<b>Gatilhos de Mudança de Estado</b>	
Quantidade de Eventos OFF por Gatilho:	0
<b>Total</b>	
Total de Eventos:	42,726
<b>Resumo de Custo</b>	
<b>Custos de Oportunidade</b>	
Custos da OnCondition (Total):	R\$0,00
<b>Custo Total</b>	
Custo Total do Sistema:	R\$612.142,98
<b>Receita</b>	
Receita Total:	R\$0,00
<b>Resumo da Análise de Produção</b>	
<b>Produção</b>	
Produção Total:	N/D
<b>Unidades da Produção</b>	
Capacidade Máxima:	N/D
Utilização Real:	N/D

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 4.10 - Simulação de falhas esperadas nos sensores/limites de posição do carro KR1 após as melhorias

<b>Visão Geral do Sistema</b>	
<b>Geral</b>	
Disponibilidade Média (Todos Eventos):	0,99853
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	0,000334
Disponibilidade Média (sem MP, OC e Inspeção):	0,99853
Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 14400 h:	0,998
Confiabilidade em 14400 h:	0
Tempo Disponível (h):	14378,83645
Tempo Indisponível Total (h):	21,163546
<b>Unidades</b>	
<b>Resumo das Métricas</b>	
TMAPF (h):	936,125698
MTBF (Tempo Total) (h):	966,313247
MTBF (Tempo de Funcionamento) (h):	964,893065
MTBE (Tempo Total) (h):	966,313247
MTBE (Tempo de Funcionamento) (h):	964,893065
MTTM (h):	1,420182
MTTR (h):	1,420182
<b>Resumo do Tempo de Inatividade</b>	
Espera o Tempo de Inatividade (h):	0
Tempo Indisponível Crítico (h):	-
<b>Resumo da Contagem do Evento</b>	
<b>Falhas do Sistema</b>	
Quantidade Esperada de Falhas:	14,902
Desvio Padrão (Quantidade de Falhas):	1,909893
<b>Ações de MC</b>	
Quantidade de MCs:	14,902
Tempo Indisponível da MC (h):	21,163546
<b>Inspeções</b>	
Quantidade de Inspeções:	0
Tempo Indisponível da Inspeção (h):	0
<b>Ações de MP</b>	
Quantidade de MPs:	0
Tempo Indisponível MP (h):	0
<b>Ações de OC</b>	
Quantidade de OCs:	0
Tempo Indisponível da OC (h):	0
<b>Gatilhos de Mudança de Estado</b>	
Quantidade de Eventos OFF por Gatilho:	0
<b>Total</b>	
Total de Eventos:	14,902
<b>Resumo de Custo</b>	
<b>Custos de Oportunidade</b>	
Custos da OnCondition (Total):	R.\$0,00
<b>Custo Total</b>	
Custo Total do Sistema:	R.\$261.578,89
<b>Receita</b>	
Receita Total:	R.\$0,00
<b>Resumo da Análise de Produção</b>	
<b>Produção</b>	
Produção Total:	N/D
<b>Unidades da Produção</b>	
Capacidade Máxima:	N/D
Utilização Real:	N/D

Fonte: O Autor (2019)

Acima, tem-se o exemplo de um dos bad-actors, após simulação com os dados de confiabilidade atualizados. Tem-se uma redução de falhas estimadas de 33,74 para 14,9, o que resulta em uma redução de custo total do sistema de R\$ 350.604,09 apenas com a melhoria neste item.

Ampliando o ganho com os dados atualizados para os itens de maior relevância, a redução de custos estimada relacionada a melhoria de confiabilidade é de R\$ 2.610.600,54 reais até o final de 2020.

## 5. CONCLUSÃO

Após a análise RAM desta estação do KR, foi possível mostrar que equipamentos antes não tão relevantes, impactam no custo do processo produtivo de forma bastante elevada, sendo uma poderosa ferramenta para direcionamento de estudos de melhoria nos equipamentos e conscientização das equipes de manutenção, operação e alta gestão. Com apenas 70% das ações até então propostas, tem-se um ganho estimado superior a R\$ 2,6 milhões, que pode ser revertido em mais investimentos visando melhorar ainda mais a eficiência do equipamento.

A abordagem de uma estação completa é bem desafiadora, pois requer um esforço elevado para se chegar ao resultado. Porém, a partir da mesma, mostra-se que o aprofundamento maior no estudo por equipamento, pode gerar ganhos financeiros ainda muito maiores, sem considerar os ganhos intangíveis de estabilidade de produção, eliminação de restrições de aços críticos e bem estar das equipes.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados positivos que tivemos nesta análise quantitativa das estações de Dessulfuração em Panela, vale a pena reavaliar os itens críticos que não tiveram uma redução significativa do impacto, com análises dedicadas usando ferramentas como RCM e FMEA, revisitando este trabalho no final de 2020 para avaliar se ações foram perenes e que de fato trouxeram um ganho sustentável para a planta.

Como aumento da confiabilidade do sistema, pode-se visitar a política de sobressalentes da planta, assim como os planos de manutenção, inspeção e paradas programadas, de forma a otimizar o ponto ótimo entre os custos de manutenção x operacionais.

## REFERÊNCIAS

FOGLIATTO, Flávio Sanson. Confiabilidade e manutenção industrial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

DUARTE, José Luis Ribeiro. Confiabilidade e manutenção industrial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

LEEMIS, L. Reliability: probabilistic models and statistical methods. Nova York: Prentice-Hall, 1995.

RIGONI, Emerson, Manutenção Centrada na Confiabilidade, Material Didático Disciplina Manutenção Centrada na Confiabilidade e LDA, Especialização em Engenharia da Confiabilidade Turma Vitória E. Santo, 2017.

RELIASOFT. Parametric Recurrent Event Data Analysis Example. Disponível em: <http://www.reliasoft.com/Weibull/examples/rc9/index.htm>. Acesso em 14 jun. 2019.

RELIASOFT. The Weibull Distribution. Disponível em: [http://reliawiki.org/index.php/The\\_Weibull\\_Distribution](http://reliawiki.org/index.php/The_Weibull_Distribution). Acesso em: 14 jun. 2019.

RELIAWIKI. Recurrent Event Data Analysis. Disponível em: [http://reliawiki.org/index.php/Recurrent\\_Event\\_Data\\_Analysis#Parametric\\_Recurrent\\_Event\\_Data\\_Analysis](http://reliawiki.org/index.php/Recurrent_Event_Data_Analysis#Parametric_Recurrent_Event_Data_Analysis). Acesso em 14 jun. 2019.

WEIBULL ++, Versão 11. Tucson, AZ, USA, Reliasoft Corporation, 2018.

BLOCKSIM, 2018, Tucson, AZ, USA, Reliasoft Corporation, 2018

ORION eAPI, Reliability Business Inteligence, Reliasoft Brasil, 2019

NIPPON STEEL, Hot Metal pretreatment facility. Disponível em [https://www.eng.nipponsteel.com/english/whatwedo/steelplants/steelmaking/hot\\_met\\_al\\_pretreatment\\_facility/](https://www.eng.nipponsteel.com/english/whatwedo/steelplants/steelmaking/hot_met_al_pretreatment_facility/)