

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

**GABRIEL JOBIM KLEIN**

**AUMENTO DE CONFIABILIDADE DE BALANÇAS DOSADORAS**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2019**

**GABRIEL JOBIM KLEIN**

**AUMENTO DE CONFIABILIDADE DE BALANÇAS DOSADORAS**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

**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**

### **AUMENTO DE CONFIABILIDADE DE BALANÇAS DOSADORAS**

por

**GABRIEL JOBIM KLEIN**

Esta monografia foi apresentada em 04 de outubro 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.

---

Marcelo Rodrigues, Dr.  
Professor Orientador - UTFPR

---

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

---

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

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

## RESUMO

KLEIN, Gabriel. **Aumento de Confiabilidade de Balanças Dosadoras**. 2019. 50 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

A Sinterização é a área de uma siderúrgica responsável por abastecer os altos fornos com *sinter*, produto metálico que possui características físico-químicas definidas e apropriadas para os altos fornos. O *sinter* é produzido através da conversão de minério de ferro (*sinter feed*) em um aglomerado de minério artificial, sinterizado sob elevada temperatura. Similar à produção de um bolo, a qualidade do *sinter* é diretamente relacionada com a precisão de dosagem das diversas matérias primas utilizadas, cuja vazão é em média 1000t/h. Na linha de mistura, onde é feita a dosagem, existem 12 balanças dosadoras. Buscando otimizar e direcionar recursos da melhor maneira possível, foi realizado um trabalho utilizando metodologias que incluem conceitos e técnicas de engenharia de confiabilidade, que resultou em redução de falhas nas balanças dosadoras e redução de desvios de qualidade.

**Palavras-chave:** Confiabilidade. Balanças dosadoras. Confiabilidade Humana. Otimização da Confiabilidade. Redução e direcionamento de custos.

## ABSTRACT

KLEIN, Gabriel. **Weighing Feeders Reliability Improvement**. 2019. 50 pages. Monography (Specialization in Reliability Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The Sinter Plant is responsible for sinter supply to the blast furnaces in a Steel Mill. *Sinter* is a metallic product, with well-defined physical and chemical properties suitable to the blast furnaces. The *sinter* is produced through conversion of iron ore (*sinter feed*) into artificial granulated agglomerate, sintered under high temperatures. Similar to producing a cake, the sinter quality is directly related to the dosage precision of several raw materials, which is at average 1000t/h. In the Mixing Line, where the dosage is performed, there are 12 weighing feeders. In order to reduce costs and better allocate resources, a work has been done using reliability engineering's concepts and techniques, resulting in reduction in both weighing feeder fail rate and quality deviations.

**Keywords:** Reliability. Weighing Feeders. Human Reliability. Reliability Optimization. Cost reduction. Resource allocation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Produção mundial de aço bruto (1950 – 2018).....	11
Figura 1.2 - Produção mundial de aço em 2018.....	12
Figura 1.3 – Produção brasileira de aço bruto (1970 – 2018).....	13
Figura 2.1 – Balança dosadora (principais componentes de campo).....	16
Figura 2.2 – Motor de uma balança dosadora.....	17
Figura 2.3 – Sensor de velocidade com roda dentada.....	17
Figura 2.4 – Célula de carga.....	18
Figura 2.5 – Mancal KWT.....	18
Figura 2.6 – Caixa de passagem de balança dosadora.....	19
Figura 2.7 – Estrutura mecânica de uma balança dosadora.....	19
Figura 2.8 – Auto-alinhador.....	20
Figura 2.9 – Rolete.....	20
Figura 2.10 – Correia de balança dosadora.....	21
Figura 2.11 – Bocal regulável.....	21
Figura 2.12 – Diagrama do bocal regulável.....	22
Figura 2.13 – Painel elétrico de uma balança dosadora.....	23
Figura 2.14 – Módulo eletrônico de pesagem Schenck Intecont Tersus.....	24
Figura 2.15 – Controlador Lógico Programável WEG modelo Clic2.....	24
Figura 2.16 – Inversor de Frequência Danfoss FC-360 440V.....	25
Figura 2.17 – Caixa de comando local de balança dosadora.....	26
Figura 2.18 – Raspador de correia.....	27
Figura 2.19 – Saias laterais.....	27
Figura 2.20 – Layout de uma balança dosadora.....	28
Figura 2.21 – Posição da célula de carga no rolete de pesagem.....	29
Figura 2.22 – Sinais de uma balança dosadora.....	29
Figura 3.1 – Distribuição Weibull.....	36
Figura 3.2 – PLC.....	368
Figura 4.1 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-101.....	40
Figura 4.2 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-102.....	41
Figura 4.3 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-103.....	41
Figura 4.4 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-104.....	42
Figura 4.5 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-105.....	42
Figura 4.6 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-106.....	43
Figura 4.7 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-107.....	43
Figura 4.8 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-108.....	44
Figura 4.9 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-109.....	44
Figura 4.10 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-110.....	45
Figura 4.11 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-111.....	45
Figura 4.12 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-112.....	46

Figura 4.13 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-113.....	46
Figura 4.14 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-114.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – 10 maiores produtores de aço bruto em 2018 .....	12
Tabela 4.1 – Balanças selecionadas (em cinza) .....	47

## LISTA DE SIGLAS

PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
CFW	<i>Continuous flow weigher</i>
PV	<i>Process variable</i>
SP	<i>Setpoint</i>
PID	<i>Proportional-Integral-Derivative</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	ASPECTOS GERAIS.....	11
1.2	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	14
1.3	OBJETIVOS .....	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos .....	14
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	15
<b>2</b>	<b>BALANÇAS DOSADORAS .....</b>	<b>16</b>
2.1	PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA BALANÇA DOSADORA .....	16
2.2	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	28
2.3	PRINCIPAIS FALHAS .....	30
2.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	32
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>33</b>
3.1	CONCEITOS BÁSICOS .....	33
3.1.1	Definições de falha, pane, defeito e erro .....	33
3.1.2	CONCEITO DE CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANTENABILIDADE .....	33
3.2	PARÂMETROS DA CONFIABILIDADE.....	35
3.2.1	Tipos de Amostras.....	35
3.2.2	Tipos de Dados.....	35
3.2.3	Distribuição Estatística e seus Parâmetros .....	36
3.2.4	Métodos para estimativa dos parâmetros das Distribuições Estatísticas ...	37
3.2.5	Programador Lógico Controlável (PLC).....	37
3.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	38
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>39</b>
4.1	DEFINIÇÃO DO ESCOPO .....	39
4.2	LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DOS DADOS .....	39
4.3	CÁLCULO DA CONFIABILIDADE .....	40
4.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	48
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	49
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

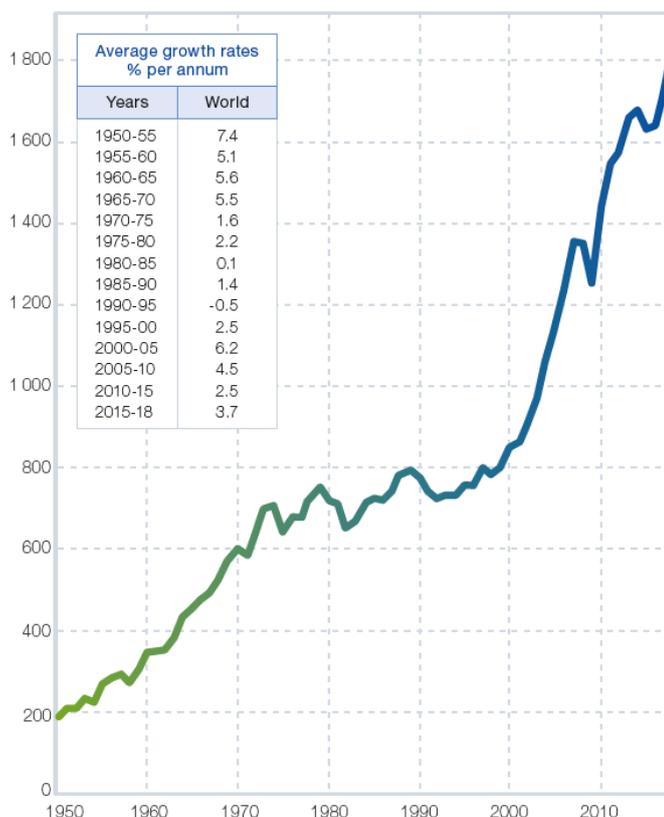
## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 ASPECTOS GERAIS

A produção de aço é um pilar extremamente importante para o funcionamento da economia, pois através desse insumo há um encadeamento de diversas cadeias produtivas, tendo em vista que a maior parte do que é produzido é absorvido por setores de base tais como construção civil e indústria de bens de consumo duráveis (eletrodomésticos, automóveis, etc.).

Sendo um produto de vital e crescente importância, é natural que o volume de produção mundial aumente conforme o passar das décadas. Como o gráfico mostra, após a queda referente à crise econômica mundial vivida em 2008, o mercado siderúrgico tem recobrado sua anterior taxa de crescimento, conforme Figura 1.1.

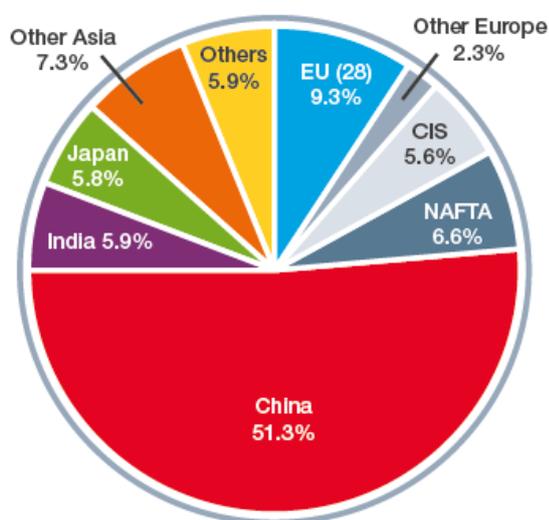
Figura 1.1 - Produção mundial de aço bruto (1950 – 2018)



Fonte: World Steel Association (2019)

A produção global de aço bruto atingiu 1,8 bilhão de toneladas em 2018, um crescimento de 4,6% se comparado ao ano anterior. Somente a Ásia produziu 1,2 bilhão de toneladas de aço bruto em 2018, crescimento de 5,6% em relação a 2017. A China, sozinha, respondeu por 928,3 milhões de toneladas, alta de 6,6% em igual comparação, conforme Figura 1.2 e conforme Tabela 1.1.

Figura 1.2 - Produção mundial de aço em 2018



Fonte: World Steel Association (2019)

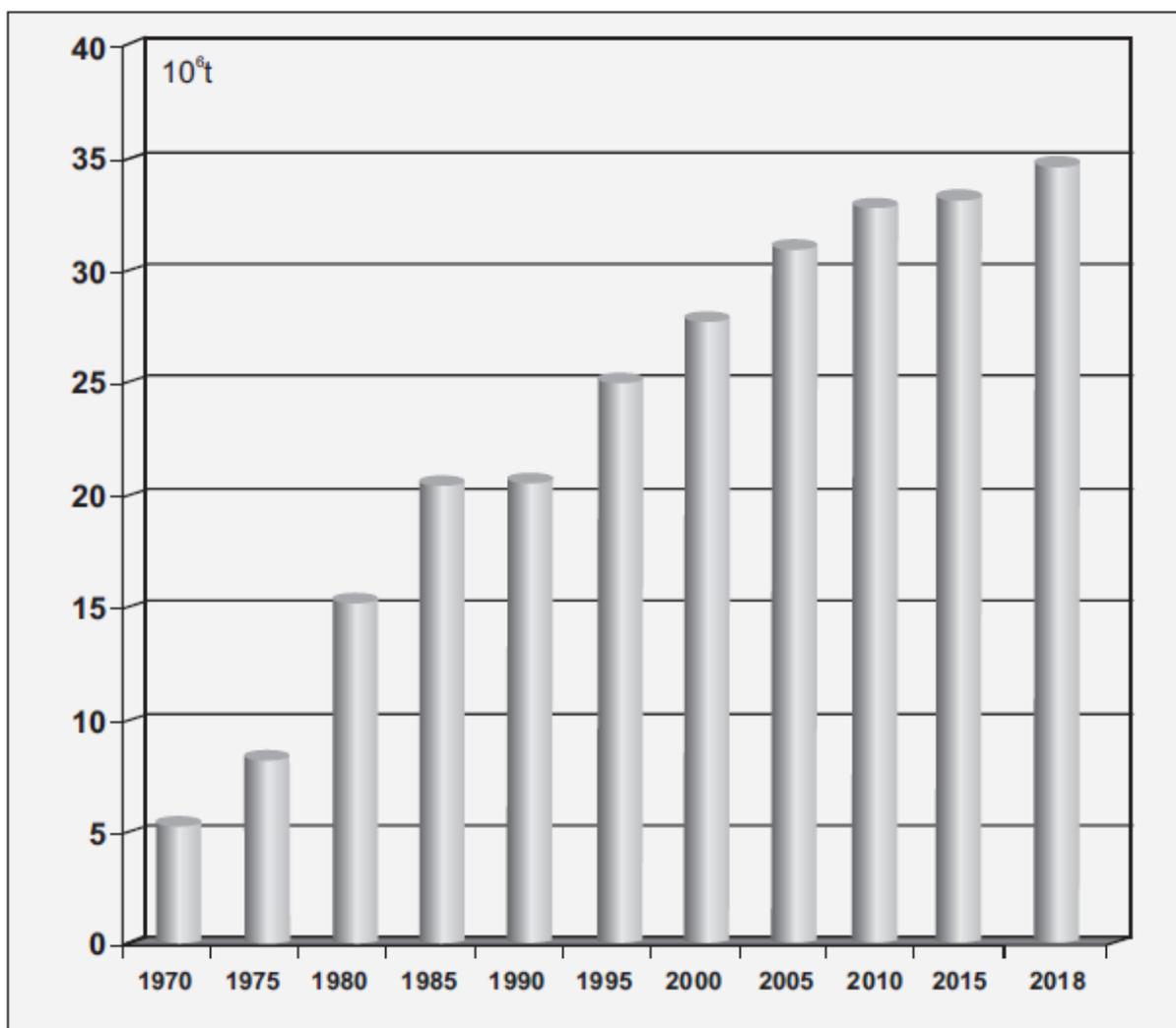
Tabela 1.1 – 10 maiores produtores de aço bruto em 2018

Country	2018		2017	
	Rank	Tonnage	Rank	Tonnage
China	1	928.3	1	870.9
India	2	106.5	3	101.5
Japan	3	104.3	2	104.7
United States	4	86.6	4	81.6
South Korea	5	72.5	6	71.0
Russia	6	71.7	5	71.5
Germany	7	42.4	7	43.3
Turkey	8	37.3	8	37.5
Brazil	9	34.9	9	34.5
Italy	10	24.5	10	24.1

Fonte: World Steel Association (2019)

Em 2018 o Brasil, segundo a *World Steel Association*, era o nono país no ranking mundial em volume de produção de aço, com um total de 34,9 milhões de toneladas produzidos no ano., conforme Figura 1.3.

Figura 1.3 – Produção brasileira de aço bruto (1970 – 2018)



Fonte: Instituto Aço Brasil (Setembro/2019)

Pelo gráfico acima, pode-se observar que a produção de aço brasileira tem se mantido estável e com poucas mudanças em comparação ao crescimento do cenário mundial. Enquanto a produção global cresceu 112,7% nos últimos dezoito anos, o crescimento brasileiro foi em torno de apenas 25,1%, fato que prova que o mercado siderúrgico tem se tornado cada vez mais competitivo.

Nesse panorama de intensa concorrência, a manutenção e gestão de ativos têm se mostrado fundamentalmente necessários para tornar o processo produtivo

mais confiável e contínuo. A análise de confiabilidade de um ativo está intuitivamente associada ao grau de certeza que se tem no bom funcionamento de um equipamento durante um longo período de tempo. Do ponto de vista de engenharia, por exemplo, é crucial poder garantir a confiabilidade de um produto ou sua melhoria. Para isso, são definidos conceitos, critérios e ferramentas para medir e identificar os elementos que afetam a confiabilidade, continuidade e disponibilidade do ativo, permitindo estabelecer métodos e ações para otimizar o processo produtivo.

## 1.2 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

O estudo foi focado nas 14 balanças da linha de mistura da sinterização, pois qualquer desvio nessas balanças afeta a qualidade do sínter produzido.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Utilizar uma metodologia baseada em análise de dados históricos para determinação quantitativa da disponibilidade das principais balanças dosadoras da sinterização

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Esse trabalho deverá atender os seguintes objetivos específicos, para cumprimento do objetivo geral:

- Obter os dados de falha das balanças da linha de mistura.
- Calcular a confiabilidade de cada balança.
- Calcular as perdas financeiras com as falhas de cada balança.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Os altos fornos estão operando com baixo coke-rate devido à custo do coque. Com essa situação, os fornos são mais impactados por desvio de qualidade nas matérias primas, portanto é essencial que o sinter produzido na Sinterização seja de melhor qualidade possível.

Além da demanda de sinter de alta qualidade para os altos fornos, o cenário atual da siderurgia (baixas margens) e mineração (degradação da qualidade do minério), demandam redução de custos e soluções inovadoras.

#### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Utilização do software de manutenção da usina para levantamento do histórico de falhas das 10 balanças dosadoras no escopo do estudo.

Utilização do software Weibull++ da ReliaSoft para calcular a confiabilidade das balanças dosadoras, usando os dados extraídos do software de manutenção.

Utilização das planilhas da *Unidade Técnica* (metalurgia) para levantar o histórico de desvio da dosagem das 10 balanças, e assim permitir calcular as perdas financeiras geradas por cada balança.

Analisar os dados de perdas financeiras e de confiabilidade para definição das 8 balanças dosadoras (de um total de 10 balanças) a receberem os recursos para substituição dos equipamentos em fim de vida útil.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho divide-se em 5 capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma introdução do cenário siderúrgico, desafios, e o objetivo do trabalho. No segundo capítulo é detalhado o funcionamento de uma balança dosadora, e a função de cada componente, além de apresentar o tema principal do trabalho. No terceiro capítulo é apresentado o referencial teórico da engenharia de confiabilidade utilizada no estudo. No quarto capítulo demonstra o desenvolvimento dos estudos e cálculos, além dos resultados obtidos. No quinto capítulo, é apresentada as conclusões.

## 2 BALANÇAS DOSADORAS

As 14 balanças dosadoras da linha de mistura da sinterização que estão no escopo do projeto, foram fabricadas, fornecidas e comissionadas pela empresa Schenck, em 1997. Foram realizadas modernizações da parte elétrica em 2005 e 2018.

### 2.1 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA BALANÇA DOSADORA

Para entendermos o estudo e as ações, segue um breve descritivo dos principais componentes de uma balança dosadora, conforme Figura 2.1.

Figura 2.1 – Balança dosadora (principais componentes de campo)



Fonte: o autor (2019)

- (1) Motor, conforme Figura 2.2.

Função: Gira o tambor de acionamento da correia da balança, fazendo assim que o material estocado no silo desça na correia e seja transportado para a calha de descarga.

Figura 2.2 – Motor de uma balança dosadora

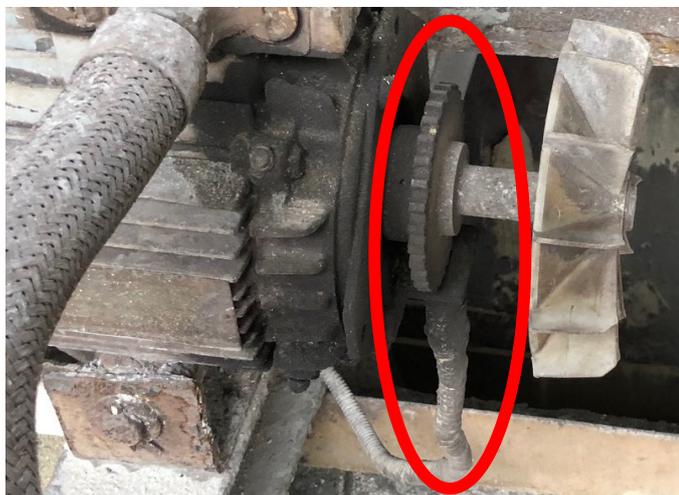


Fonte: o autor (2019)

- (2) Sensor de velocidade, conforme Figura 2.3.

Mede a velocidade de rotação do motor. Seu sinal de saída é ligado ao módulo de pesagem.

Figura 2.3 – Sensor de velocidade com roda dentada



Fonte: o autor (2019)

- (3) Células de carga e Ponte de Pesagem, conforme Figura 2.4.

Mede o peso em cima do rolete de pesagem. Seu sinal de saída é ligado ao módulo de pesagem. Na especificação da célula, é informado a capacidade e sensibilidade: Ex: CAP:100kg, SENS: 2,0mV por V na alimentação da célula (2mV/V).

Figura 2.4 – Célula de carga



Fonte: o autor (2019)

- (4) Ponte de pesagem, conforme Figura 2.5.

Mancal que transfere a força do rolete de pesagem para a célula de carga.

Figura 2.5 – Mancal KWT



Fonte: Schenck (2015)

- (5) Painel local de interligação, conforme Figura 2.6.

Recebe os fios dos componentes elétricos de campo, e os interliga com o cabo que vai para o módulo de pesagem (que usualmente fica em Sala Elétrica).

Figura 2.6 – Caixa de passagem de balança dosadora



Fonte: o autor (2019)

- (6) Estrutura mecânica, conforme Figura 2.7.  
Estrutura que suporta os roletes, correia, célula de carga, etc.

Figura 2.7 – Estrutura mecânica de uma balança dosadora



Fonte: o autor (2019)

- (7) Auto-alinhador de correia, conforme Figura 2.8.

Mantém a correia alinhada e tensionada corretamente.

Figura 2.84 – Auto-alinhador



Fonte: o autor (2019)

- (8) Roletes, conforme Figura 2.9.

Rolos de transporte e de balança. Os roletes na área de pesagem (rolete de pesagem, 1 rolete antes e 1 rolete depois do rolete de pesagem) devem ser balanceados e com baixa excentricidade.

Figura 2.9 – Rolete



Fonte: o autor (2019)

- (9) Correia, conforme Figura 2.10.

Faz o transporte do material da boca do silo até a calha de descarga.

Figura 2.10 – Correia de balança dosadora



Fonte: o autor (2019)

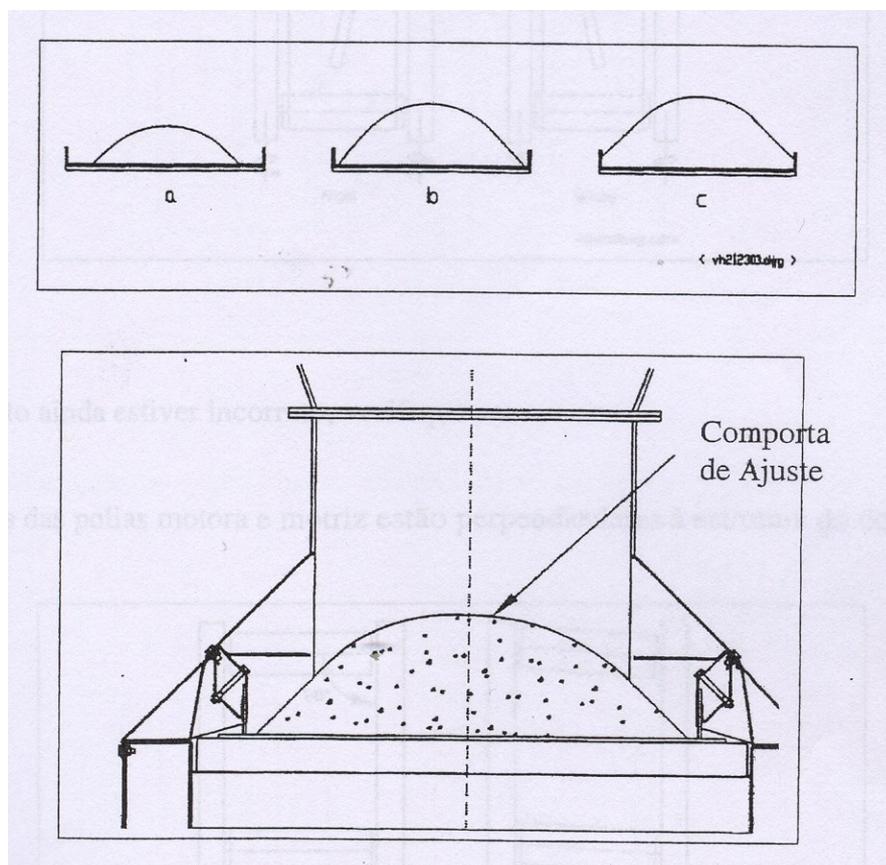
- (10) Bocal de carregamento da balança, conforme Figura 2.11 e Figura 2.12.  
Estrutura que guia o material do silo para a balança, e permite regular a altura da camada do material na correia.

Figura 2.11 – Bocal regulável



Fonte: o autor (2019)

Figura 5 – Diagrama do bocal regulável



Fonte: Manual de Manutenção de Balanças Dosadoras (2009)

Outros componentes de balanças dosadoras que não estão na Figura 2.1:

- Painel elétrico, conforme Figura 2.13.

Tipicamente posicionado dentro de uma sala elétrica, armazena os componentes elétricos da balança, tais como: Módulo eletrônico de pesagem, controlador, relés, disjuntores, cabo de comunicação etc.

Figura 2.13 – Painel elétrico de uma balança dosadora

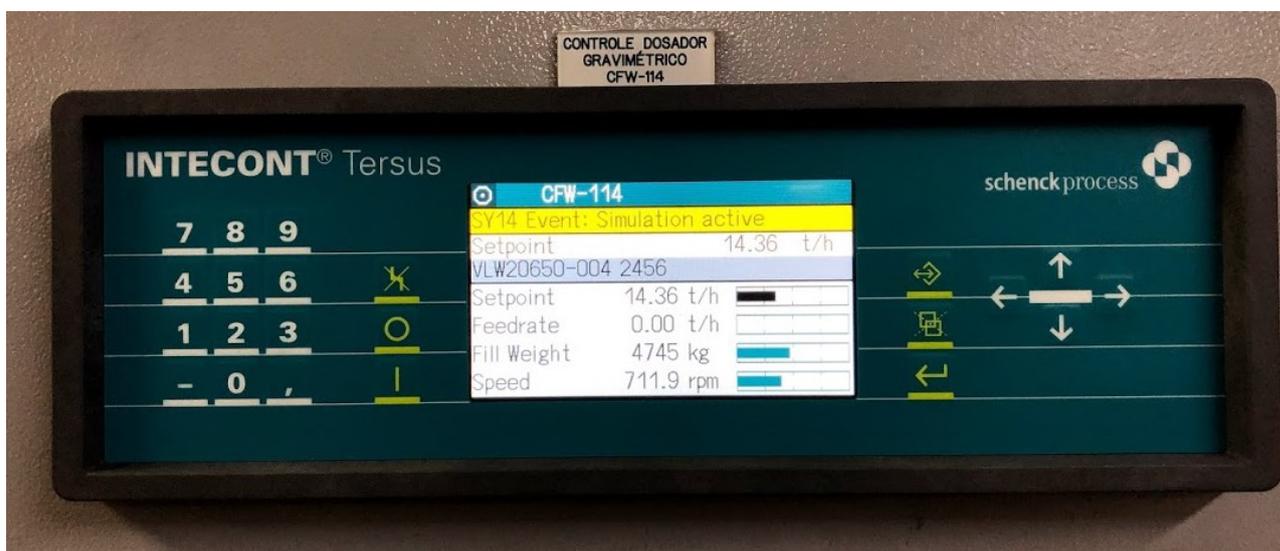


Fonte: o autor (2019)

- Módulo eletrônico de pesagem, conforme Figura 2.14.

Módulo que controla a balança dosadora. Em termos gerais, recebe o setpoint de vazão (SP) do PLC da planta (normalmente via rede), o sinal das células de carga (sinal em mV relativo ao peso), e o sinal do sensor de velocidade do motor. Com o peso e velocidade, o módulo consegue calcular a vazão real (PV). Utilizando um controlador PID, o módulo ajusta a saída analógica 4 a 20mA que vai para o inversor de frequência para controlar a velocidade da correia, buscando manter  $PV=SP$ .

Figura 2.14 – Módulo eletrônico de pesagem Schenck Intecon Tersus

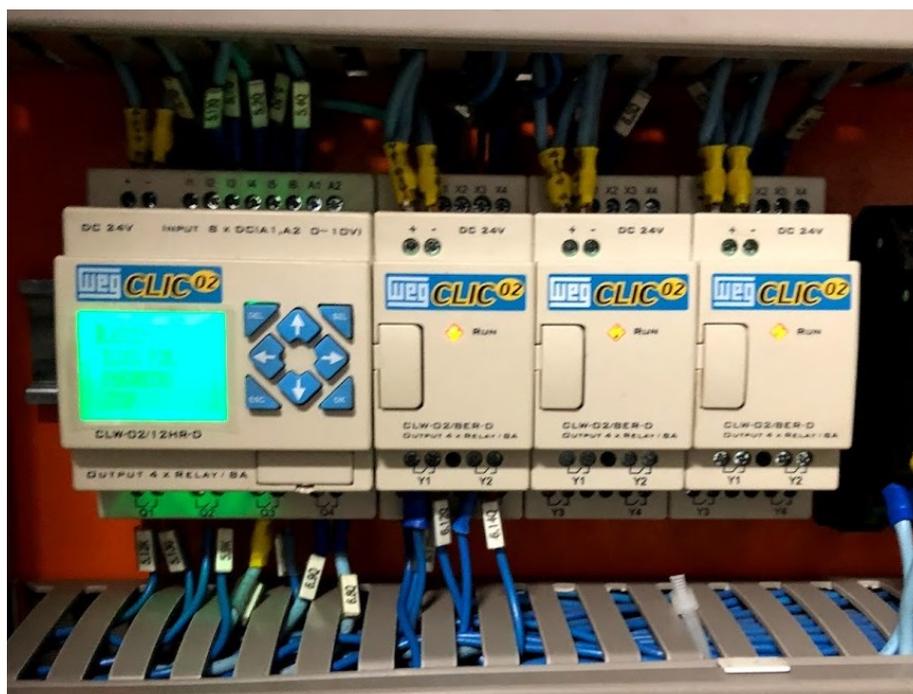


Fonte: o autor (2019)

- Controlador, conforme Figura 2.15.

Recebe os cabos do painel de controle local, e faz o controle da origem do comando da balança (módulo+PLC ou painel de comando local).

Figura 2.15 – Controlador Lógico Programável WEG modelo Clic2



Fonte: o autor (2019)

- Inversor de frequência, conforme Figura 2.16.

Controla a velocidade do motor da correia da balança conforme solicitação do módulo de pesagem. Possui diagnóstico de falha para PLC, e parametrização específica para cada motor.

Figura 6 – Inversor de Frequência Danfoss FC-360 440Vac



Fonte: o autor (2019)

- Painel local de controle, conforme Figura 2.17.

O painel local de comando é utilizado para testar a balança e auxiliar nas movimentações necessárias durante calibração. Seu funcionamento independe do funcionamento do módulo de pesagem. Os comandos são enviados direto para o inversor de frequência.

Figura 7 – Caixa de comando local de balança dosadora



Fonte: o autor (2019)

#### Comandos:

- “AUT-LOCAL” - Seleciona modo de comando automático (pelo PLC / Supervisório) ou local, que possibilita rodar a balança usando os outros botões.
  - “DESL – 0 – LIGA” – Liga a balança (só funciona em modo local).
  - “AJUSTE VELOCIDADE” – Potenciômetro que ajusta a velocidade da balança em modo local.
- 
- Raspador, conforme Figura 2.18.

Responsável por manter a correia limpa. Devido ao tipo de material ou umidade, ocasionalmente o material pode impregnar na correia no ponto de descarga.

Figura 2.18 – Raspador de correia

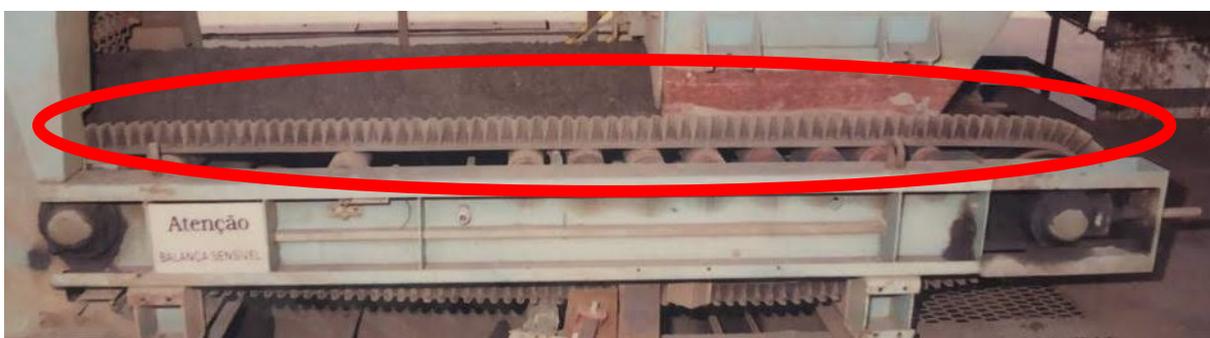


Fonte: o autor (2019)

- Saia lateral, conforme Figura 2.19.

Evita que material saia da correia e afete o mancal de pesagem ou suje a área. Importante para o cenário atual de contenção de despesas causadas por queda de material.

Figura 8 – Saias laterais



Fonte: Manual de Manutenção de Balanças Dosadoras (2009)

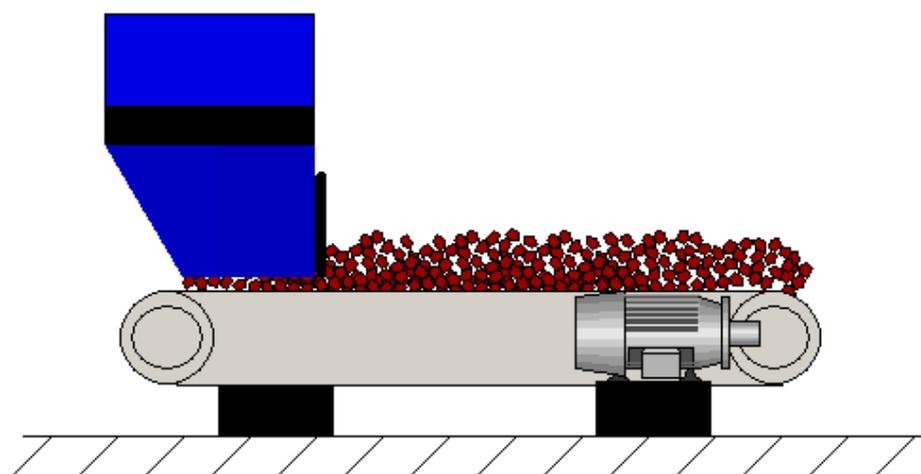
## 2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A balança dosadora é projetada para controlar a vazão de material sobre a correia, mantendo constante a vazão em sua descarga.

Mediante a uma solicitação de trabalho (Set Point) a balança irá verificar a carga sobre a célula e aumentará ou diminuirá a velocidade para atingir a vazão solicitada.

Para um bom funcionamento da balança, o fluxo de entrada de material na balança deve ser o mais constante possível, evitando grandes oscilações, conforme Figura 2.20.

Figura 2.20 – Layout de uma balança dosadora



Fonte: Manual de Manutenção de Balanças Dosadoras (2009)

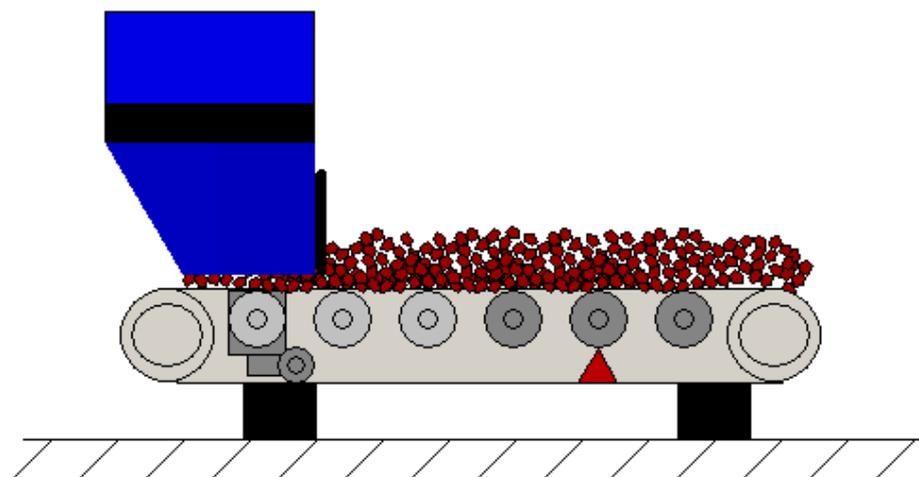
O Material é extraído diretamente da tremonha instalada sobre o silo.

Um mecanismo regula a camada de material, garantindo uma carga uniforme sobre a correia.

O Material transportado pela correia passa pela ponte de pesagem situada sob a correia, próximo a extremidade de descarga.

A ponte de pesagem é limitada pelos roletes adjacentes, anterior e posterior ao rolete de pesagem, conforme Figura 2.21.

Figura 2.21 – Posição da célula de carga no rolete de pesagem

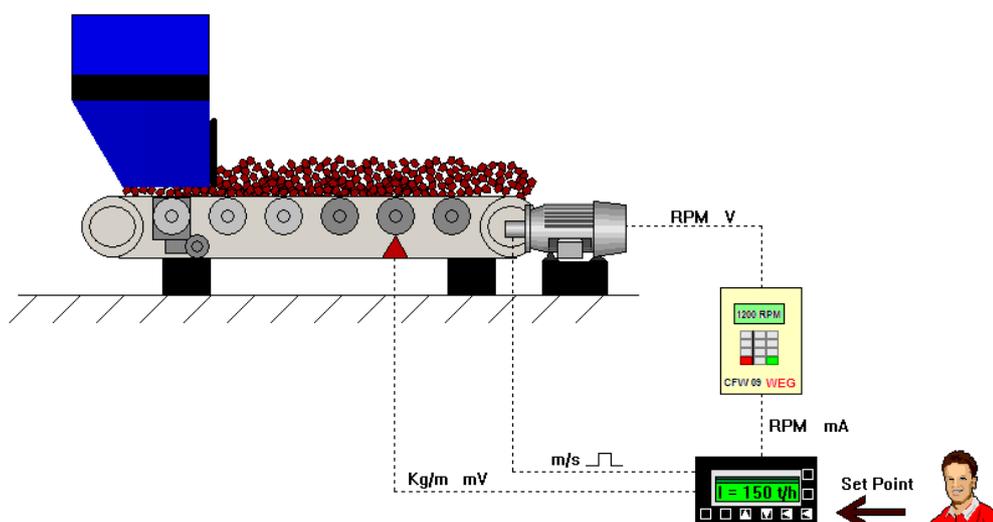


Fonte: Manual de Manutenção de Balanças Dosadoras (2009)

O Rolete de pesagem exerce a força a ser transmitida para a Célula de Carga. Esta, sendo um transdutor mecânico/elétrico, produz um sinal proporcional ao esforço mecânico e o envia para a unidade eletrônica que amplifica e converte em sinal digital registrando-o como carga.

A zona de influência é a região da correia onde a camada de material realmente afeta a célula de carga. Este sinal é registrado no módulo como a letra Q, e a velocidade da correia é registrado no módulo como a letra V.

Figura 2.22 – Sinais de uma balança dosadora



Fonte: Manual de Manutenção de Balanças Dosadoras (2009)

O módulo de posse desses dois sinais (Q e V) faz a multiplicação e obtém a vazão real ou o fluxo real sendo:  $I=Q*V$ , conforme Figura 2.22.

A vazão real é comparada ao SP – Valor ajustado pelo operador – e em função da variação encontrada, o módulo envia um sinal ao inversor de frequência para que este aumente ou diminua a rotação do motor, conseqüentemente aumentando ou diminuindo a velocidade da correia para manter o fluxo real constante e igual ao SP (similar a um controlador PID).

### 2.3 PRINCIPAIS FALHAS

Para cada componente da balança, foram mapeadas as falhas que mais ocorrem e afetam a dosagem.

- Motor
  1. Queima devido a ventilação ineficiente.
  2. Rompimento cabo alimentação.
  
- Sensor de velocidade
  1. Quebra devido a acúmulo de material.
  2. Rompimento do cabo devido a acúmulo de material.
  
- Células de carga
  1. Cisalhamento ou deformação da célula devido a esforço além do limite.
  2. Queima devido à manutenção mecânica sem preparação.
  3. Má fixação.
  
- Ponte de pesagem
  1. Má fixação.
  
- Painel local de interligação
  1. Acúmulo de material.

- Painel local de controle
  1. Acúmulo de material.
  
- Inversor de frequência
  1. Queima devido à ventilação ineficiente.
  
- Módulo eletrônico de pesagem
  1. Má fixação do cabo de rede com o PLC.
  2. Queima devido à ventilação ineficiente.
  3. Obsolescência.
  
- Estrutura mecânica
  1. Corrosão elevada
  2. Perda de alinhamento e esquadrejamento.
  
- Auto alinhador de correia
  1. Desalinhamento.
  
- Roletes
  1. Roletes da ponte de pesagem sem elevação em relação aos demais roletes.
  2. Roletes da ponte de pesagem não são roletes especiais de carga.
  
- Correia
  1. Correia indevida para aplicação (dureza indevida).
  2. Rasgos ou danos nas bordas da correia.
  
- Bocal de carregamento da balança
  1. Chapa ajustadora travada devido à acúmulo de material.

## 2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi feita uma explicação do princípio de funcionamento, principais componentes e falhas das balanças dosadoras, para facilitar o entendimento do estudo realizado.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo apresenta o referencial teórico utilizado no projeto desenvolvido.

#### 3.1 CONCEITOS BÁSICOS

##### 3.1.1 Definições de falha, pane, defeito e erro

A definição de falha, pane, defeito e erro, conforme a norma NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994), é descrita abaixo:

- Falha: Término da capacidade de um item de desempenhar a função requerida.
- Pane: Estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção preventiva ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos.
- Defeito: Qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos.
- Erro: Diferença entre um valor ou uma condição observada ou medida e a correspondente condição ou valor verdadeiro especificado ou teórico.

##### 3.1.2 CONCEITO DE CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANTENABILIDADE

A norma NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994), define os termos relacionados com a confiabilidade e manutenibilidade. O trinômio de RAM é definido nela como:

- Confiabilidade: capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo;

- **Mantenabilidade:** capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos;
- **Disponibilidade:** capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados;

Segundo Berquó (2014), Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade são características probabilísticas, e são conceituadas como:

- Confiabilidade é a probabilidade de um sistema ter um desempenho satisfatório, durante certo intervalo de tempo, em determinadas condições;
- Manutenibilidade é uma característica de projeto e instalação, que é expressa como a probabilidade de um item ser restaurado a uma condição definida, dentro de um determinado intervalo de tempo, quando a manutenção é feita de acordo com os procedimentos e recursos técnicos logísticos especificados;
- Disponibilidade é a probabilidade de que o sistema estará operacionalmente disponível, quando acionado de uma forma aleatória num ponto do tempo. A Disponibilidade é uma função da Confiabilidade e da Manutenibilidade;

Para Kardec e Nascif (2009), podemos considerar a Disponibilidade em três ocasiões do ciclo de vida:

- **Disponibilidade Inerente (*Inherent*)** – reflete o percentual do tempo que seria disponível se não ocorressem perdas de tempo ou atrasos no reparo, levando em consideração apenas as manutenções corretivas;

- Disponibilidade Técnica ou Obtida (*Achieved*) - reflete o percentual do tempo que seria disponível se não ocorressem perdas de tempo ou atrasos no reparo, levando em consideração as manutenções corretivas e preventivas.
- Disponibilidade Operacional (*Operational*) – representa a avaliação mais real da disponibilidades, levando em consideração todo o tempo dispendido para a manutenção (tanto corretiva como preventiva, incluindo os atrasos);

Esses três conceitos são aplicados e mensurados através dos dados de vida dos itens/sistemas, que são baseados em seus dados de falha.

### 3.2 PARÂMETROS DA CONFIABILIDADE

De acordo com Pallerosi (2007), a metodologia para estimar os parâmetros da Confiabilidade e Manutenibilidade se divide em 8 etapas: Tipos de Amostras, Tipos de Dados, Distribuição Estatística e seus Parâmetros, Método para estimativa dos parâmetros, Precisão, Comparação e Seleção.

#### 3.2.1 Tipos de Amostras

- a) Não agrupados – Dados individuais.
- b) Agrupados - Os tempos de falhas são agrupados pelo tempo até a falha e a quantidade de ocorrência.
- c) Forma Livre – Dados admitidos.

#### 3.2.2 Tipos de Dados

Foram utilizados 4 tipos de dados históricos para o trabalho:

- a) Dados Censurados à direita ou suspensos: o componente ainda não falhou, mas foi retirado de operação, ou finalizada a observação - conhecido o tempo inicial e o tempo final é determinado pela interrupção de sua utilização ou observação.

- b) Dados censurados por intervalos: é conhecido o momento inicial de utilização e o tempo final é determinado por um intervalo conhecido, sendo bem comum entre as duas últimas inspeções.
- c) Dados Censurados à esquerda: a observação iniciou com item já em utilização - conhecido o tempo final, mas não é conhecido o momento inicial exato.
- d) Dados completos: conhecido o tempo exato até a falha - o momento inicial e o final da vida do componente.

### 3.2.3 Distribuição Estatística e seus Parâmetros

Segundo Colosimo e Giolo (2006), para definir a representação da confiabilidade de um determinado componente, com base nos seus dados de falhas, é atribuída uma distribuição estatística que melhor descreva seu comportamento. Destaca-se entre as principais distribuições utilizadas na análise de sobrevivência a exponencial, de Weibull, Exponencial, Normal, Lognormal etc.

- Weibull
- Exponencial
- Normal
- Lognormal

Para o projeto desenvolvido, foi utilizada a distribuição mais versátil e a mais usada nos estudos de confiabilidade, que é a distribuição de Weibull. A sua taxa de falha pode ser crescente, decrescente e ou constante.

Figura 3.1 – Distribuição Weibull

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

Fonte: Pallerosi (2007)

- $\beta$  (Beta) é o parâmetro de forma ou inclinação da curva
- $\eta$  (Eta) é o parâmetro de escala ou vida característica
- $\gamma$  (Gama) é o parâmetro de localização, também chamado de vida mínima.

### 3.2.4 Métodos para estimativa dos parâmetros das Distribuições Estatísticas

A partir de um conjunto de dados é necessário estimar os parâmetros que irão caracterizar uma determinada distribuição.

Segundo Kazmier (1982), o objetivo principal da análise de regressão é prever o valor de uma variável (a variável dependente), dado que seja conhecido o valor de uma variável associada (a variável independente).

Há vários métodos para estimar esses parâmetros das distribuições citadas anteriormente, sendo os mais utilizados: o Método de Regressão Linear (RRX ou RRY) e o Método da Máxima Verossimilhança – MLE (*Maximum Likelihood Estimation*). No estudo foi utilizado o MLE.

### 3.2.5 Programador Lógico Controlável (PLC)

Os PLCs são controladores utilizados na indústria, projetados para comandar e monitorar máquinas, processos, instrumentos, e qualquer equipamento de campo. Segundo Georgini (2002), os PLCs possuem cartões de entradas e saídas, do tipo digital, analógico, ou cartões de redes de comunicação, conforme Figura 3.2. As entradas são atuadas pelos equipamentos de campo, e as saídas são comandadas pela lógica interna do PLC, previamente desenvolvida de acordo com as necessidades do processo.

Figura 3.2 – PLC



Fonte: o autor (2019)

### 3.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Nesse capítulo foi apresentada os conceitos de confiabilidades e conceito de PLC usados no estudo. Os resultados do próximo capítulo foram obtidos usando esses conceitos.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo detalha as etapas desenvolvidas no projeto.

### 4.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO

A linha de mistura da sinterização possui 14 balanças dosadoras. Todas balanças estavam em fim de vida útil, e contribuía negativamente para a qualidade do sinter em caso de desvio de dosagem. Devido a restrições de orçamento, só obtivemos recursos para reformar 8 balanças dosadoras. A definição de quais balanças deveriam ser reformadas é de grande importância para direcionar os recursos corretamente, visando maximizar os ganhos e redução de perdas financeiras decorrentes dos desvios de dosagem.

### 4.2 LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DOS DADOS

Utilizando o software SAP módulo manutenção, foi levantado o histórico de falhas no período de 01/01/2017 e 30/10/2018 (22 meses), de todas as 14 balanças dosadoras, com as tags abaixo:

- CFW-101 – Rejeitos e coprodutos (miscelânea)
- CFW-102 – Cal
- CFW-103 – Calcário
- CFW-104 – Sinter Feed
- CFW-105 – Sinter Feed
- CFW-106 – Sinter Feed
- CFW-107 – Sinter Feed
- CFW-108 – Sinter Feed
- CFW-109 – Manganês
- CFW-110 – Coque (combustível)
- CFW-111 – Coque (combustível)
- CFW-112 – Retorno de finos de sinter e pó do Precipitador Principal
- CFW-113 – Pó coletado no Precipitador Secundário

- CFW-114 – Cal

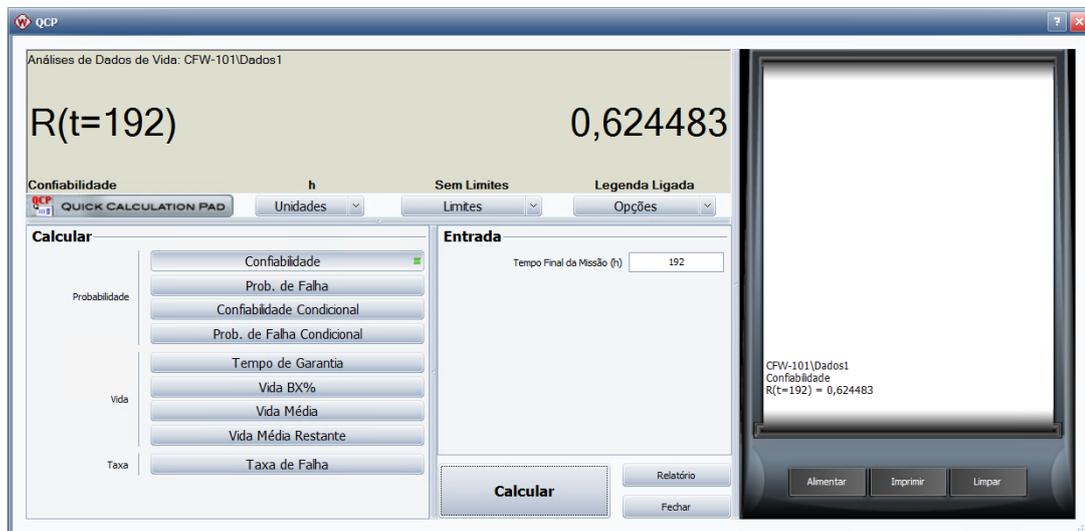
Foi feito um trabalho para censurar os dados de falha provenientes de fatores externos, tais como impacto por máquinas, desmoronamento de material proveniente dos silos, danos causados por excesso de material, falta de proteções, etc.

#### 4.3 CÁLCULO DA CONFIABILIDADE

Utilizando os dados de falha tratados e filtrados, foi utilizado o software Weibull++ da ReliaSoft para calcular a confiabilidade de cada balança.

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.1.

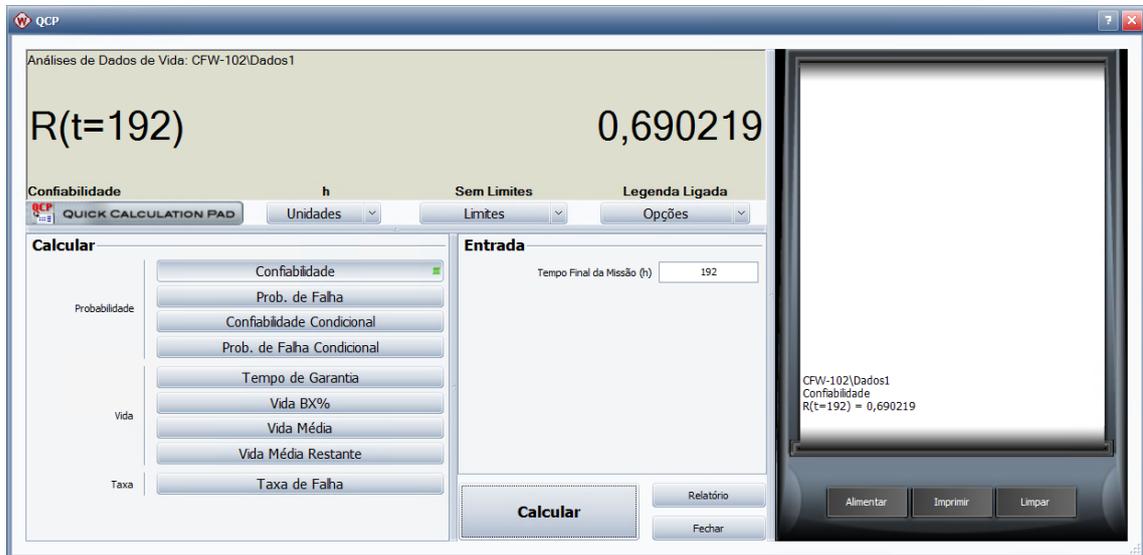
Figura 4.1 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-101



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 2P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.2.

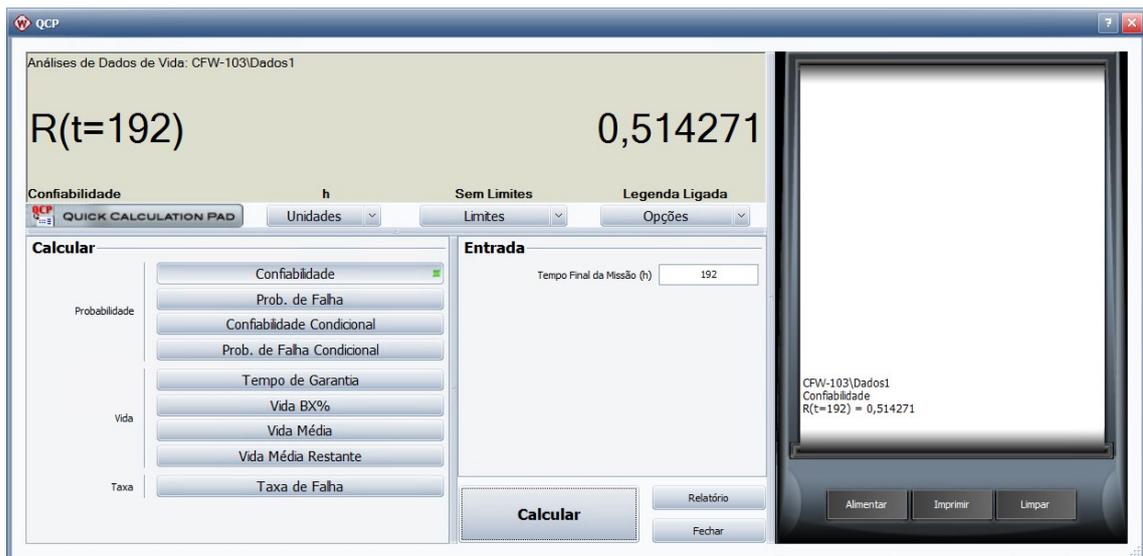
Figura 4.2 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-102



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.3.

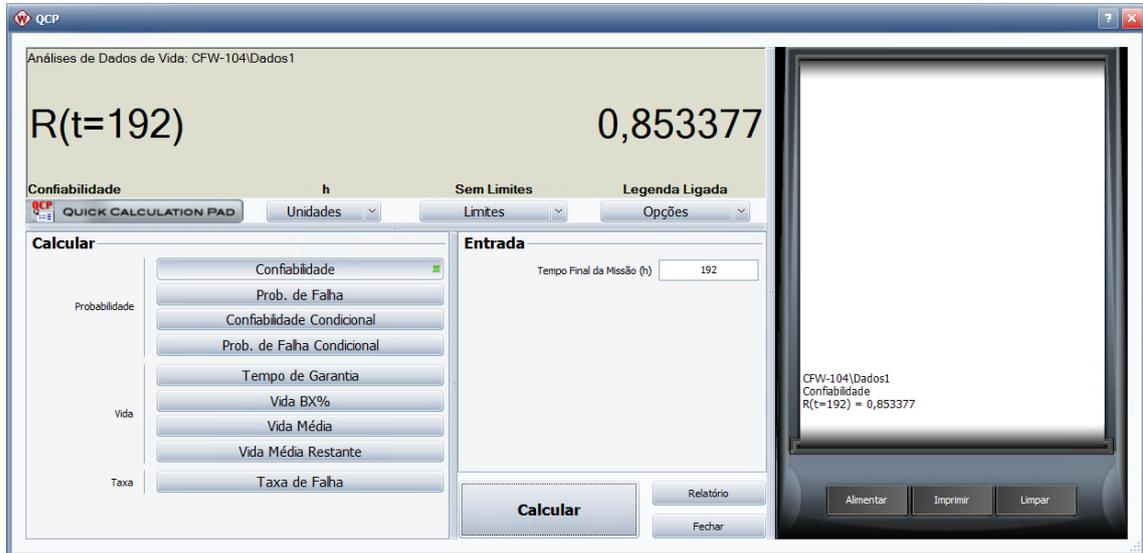
Figura 4.39 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-103



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.4.

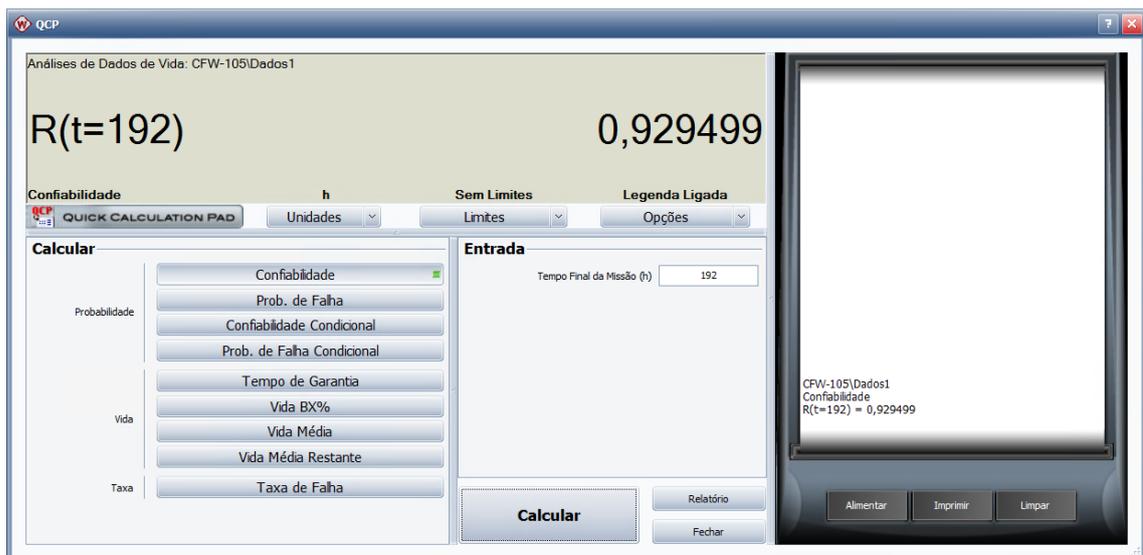
Figura 104 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-104



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 2P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.5.

Figura 11 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-105



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.6.

Figura 4.6 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-106



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.7.

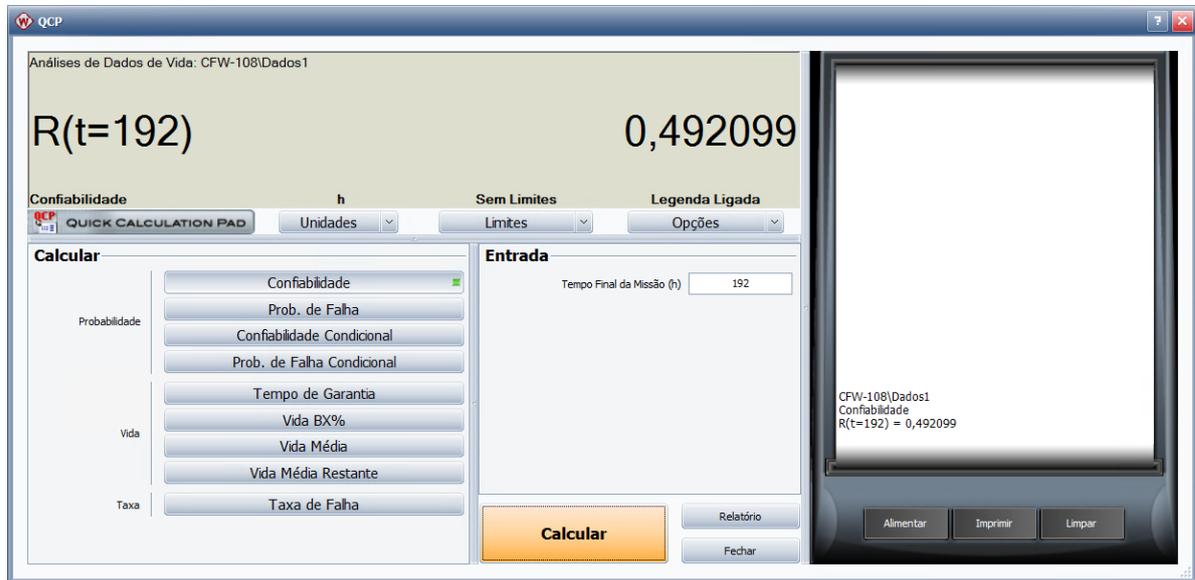
Figura 12 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-107



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.8.

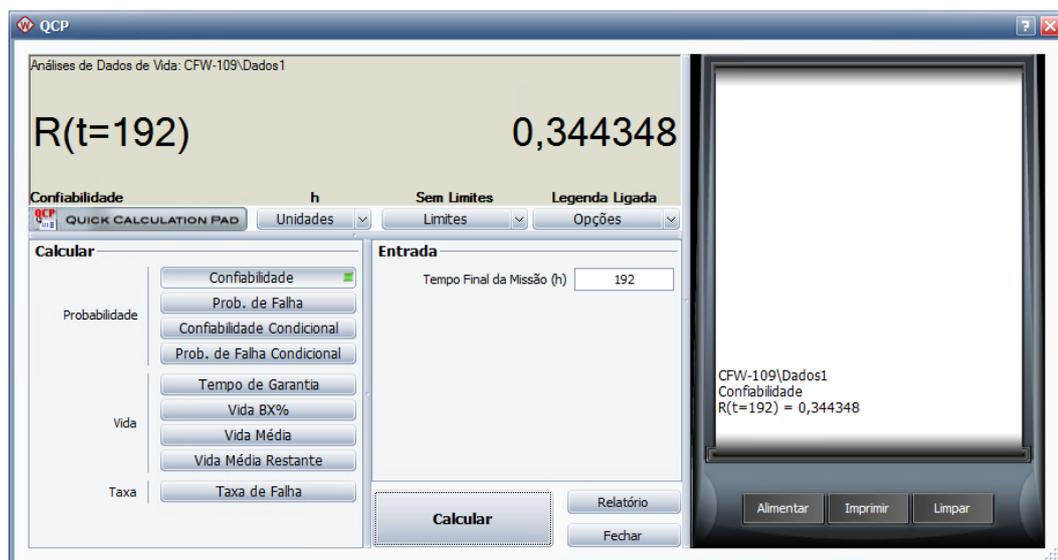
Figura 4.8 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-108



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.9.

Figura 4.9 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-109



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.10.

Figura 13 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-110



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.11.

Figura 4.11 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-111



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 2P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.12.

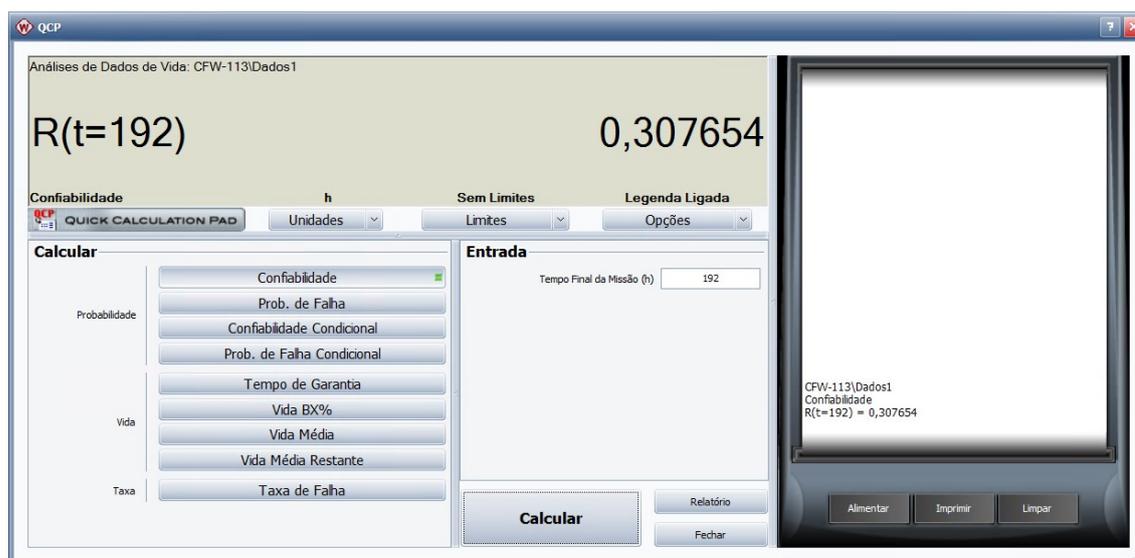
Figura 4.12 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-112



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.13.

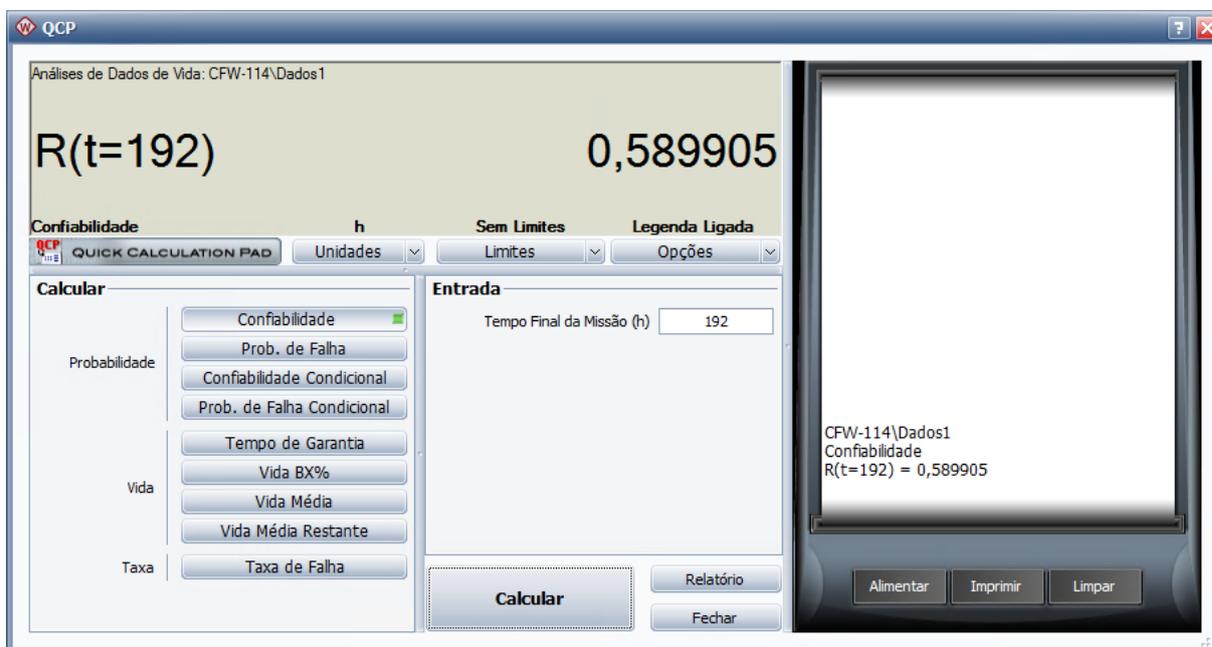
Figura 4.13 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-113



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Utilizando distribuição 3P-Weibull com análise MLE, foi obtido o resultado de confiabilidade do equipamento conforme Figura 4.14.

Figura 14 – Cálculo da confiabilidade da balança dosadora CFW-114



Fonte: Software Weibull++ da ReliaSoft (2019)

Foi criada uma tabela com os resultados dos cálculos e para seleção das 8 balanças dosadoras a receberem os recursos para substituição, conforme Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Balanças selecionadas (em cinza)

CFW	Confiabilidade
113	0,30
109	0,34
108	0,49
103	0,51
106	0,57
114	0,58
107	0,59
111	0,60
101	0,62
110	0,64
102	0,69
104	0,85
105	0,92
112	0,93

Fonte: o autor (2019)

#### 4.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Utilizando metodologia definida no capítulo um, através da utilização do software de manutenção da planta, do software Weibull++ e análise do histórico de desvio de dosagem, foi possível definir quais balanças dosadoras deveriam receber os recursos para substituição. Com os dados da Tabela 4.1, a decisão pôde ser apresentada de maneira fundamentada, e teve o apoio dos stakeholders.

Das 14 balanças existentes, as 8 balanças selecionadas receberam os recursos e foram substituídas no final de 2018, elevando a confiabilidade desses ativos importante para a área da sinterização.

## 5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi possível identificar a importância da geração de dados históricos confiáveis, e do tratamento e filtro dos dados, pois dados inadequados podem impactar negativamente as decisões a serem tomadas baseadas no estudo de confiabilidade. Esse filtro de ocorrências depende não somente de sistemas de informação, mas também de entrevistas com o pessoal de manutenção para entender os fatos de uma ocorrência.

Entre os pontos positivos, se destaca a facilidade de uso e versatilidade do software Weibull++, e o apoio do pessoal da manutenção para conferir o histórico de falha dos equipamentos. Um bom relacionamento com as equipes é fundamental para se obter todas as informações necessárias.

Após a aplicação dos recursos conforme orientação do estudo, foi possível observar uma grande redução nos desvios de qualidade do *sínter*, e ganhos que nem estávamos considerando, como economia de mão de obra.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base na experiência com esse trabalho, existe a oportunidade de aplicar essa metodologia em outros tipos de equipamentos, que possuem várias unidades, exemplos: carros setores de máquina de *sínter* (em torno de 80 carros), carros do resfriador de *sínter* (em torno de 40 carros), a fim de direcionar os recursos de maneira que gere mais retorno financeiro.

## REFERÊNCIAS

RELIASOFT Corporation. Plataforma Synthesis, versão 18, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação – Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. (modelo de referência com autoria coletiva).

SCHAEFFER, Felipe F. Confiabilidade nos Sistemas de Dosagem da Sinterização. 2009. Manual técnico de manutenção.

WORLD STEEL ASSOCIATION. World Steel in Figures 2019. Bruxelas, 2019. 17p. Disponível em: <https://www.worldsteel.org/>. Acesso em: 02 set. 2019.

INSTITUTO AÇO BRASIL. A Siderurgia em Números 2019. Rio de Janeiro, 2019. 28p. Disponível em: <https://institutoacobrasil.net.br/site/en/>. Acesso em: 02 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia. Rio de Janeiro, 1994. Baseada na IEC 50 (191).

BERQUÓ, Jolan Eduardo - Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade: O trinômio da Operacionalidade - Melhore Seus Conhecimentos MSC 49 – 13 OUT 2014. Disponível em: <[http://www.dcabr.org.br/download/artigos/msc\\_49.pdf](http://www.dcabr.org.br/download/artigos/msc_49.pdf)>. Acesso em 19 mar. 2019

GEORGINI, Marcelo. Automação Aplicada. 3ª Edição. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2002.

KARDEC, A., NASCIF, J.. Manutenção - Função estratégica. 3ª edição. Rio de Janeiro: QualityMark, 2009.

PALLEROSI, C. A, Confiabilidade de Sistemas vol.4, Confiabilidade, a Quarta Dimensão da Qualidade, 2007.

COLOSIMO, E. A.; GIOLO S. R. Análise de Sobrevivência Aplicada, 1a edição, Edgard Blucher. 2006

KAZMIER, L. Estatística aplicada a economia e administração. São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda, 1982