UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

RODRIGO SOUZA GUEDES

ESTUDOS SOBRE A CALIBRAÇÃO DE UMA BALANÇA DOSADORA DE CORREIA

OURO PRETO - MG
2016

RODRIGO SOUZA GUEDES

rodrigosouza33@hotmail.com

ESTUDOS SOBRE A CALIBRAÇÃO DE UMA BALANÇA DOSADORA DE CORREIA

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de controle e automação

Professor orientador: Dr. Agnaldo José da Rocha Reis

OURO PRETO – MG

2016

Monografia defendida e aprovada, em 10 de março de 2016, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis - Orientador

Profa. M. Sc. Adrielle de Carvalho Santana – Professora Convidada

Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado

G924e Guedes, Rodrigo Souza.

Estudos sobre calibração de uma balança dosadora de correia [manuscrito] / Rodrigo Souza Guedes. – 2016.

59f. : il., color., tab.

Orientador: Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas fundamentais.

Área de concentração: Engenharia de Controle e Automação.

1.Automação industrial. 2. Calibração. 3. Balanças (Instrumentos de medição). 4. Controle. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 681.5

Fonte de catalogação: bibem@sisbin.ufop.br

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Jacinto por ser inspiração e exemplo de vida profissionalmente e moralmente.

A minha mãe Edméa por ter me criado e ensinado os princípios da vida.

Ao meu irmão Pedro pela convivência, diversões e companheirismo.

Aos professores Agnaldo, Paulo e Adrielle pelo apoio durante esta jornada acadêmica.

À FIEMG, Samarco e BRX pelas oportunidades profissionais.

À república Kome Keto e seus moradores por se tornar minha segunda casa e ter passado os melhores momentos de minha vida.

EPÍGRAFE

“E eu me encontro de novo com vocês na virada da maré, uma etapa da sua viagem acabou, começa uma outra. “

Gandalf, o Branco

RESUMO

Balanças dosadoras de correia são equipamentos muito utilizados em indústrias, principalmente na mineração. São equipamentos destinados a medir a quantidade de material transportado em uma correia transportadora e dosar certa quantidade de material dependendo da solicitação de trabalho. Devido a serem equipamentos de medição que possuem parte eletrônica é necessário periodicamente e/ou sobre certas situações, realizar a calibração da balança dosadora. Propõe-se com este trabalho apresentar o processo de calibração de uma balança dosadora de correia, bem como fornecer orientações para melhor conservação e operação deste equipamento. Para analisar os dados da calibração fabricou-se uma balança dosadora de correia na empresa BRX, que posteriormente foi vendida para uma indústria cimenteira chamada INTERCEMENT, onde hoje encontra-se em operação normal.

Palavras chave: Balança dosadora de correia, instrumentação, calibração, célula de carga

ABSTRACT

Wheighting belt scales are equipments very useful in industries, mainly in mining. They are equipments designed to measure the amount of a material transported in a belt, and dose a quantity of this material depending of a work solicitation. Due to being measuring equipments that have na eletronic part, is necessary periodically and/or under certain situations, realize the calbration of the wheighting belt scale. In this this academic work, is proposed to presente the calibration process of a Wheighting belt scale, as well give orientation to a better conservarion and operations of this equipment. To analise the calibration data a wheighting belt scale was manufactered in the company BRX. This wheighting belt scale was sold to a cement industry called INTERCEMENT where is is in normal operation.

Key words: wheigting belt scale, instrumentation, calibration, loadcell

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração da ponte de Wheatstone 3

Figura 2 - Configuração ponte de Wheatstone com resistor variável 4

Figura 3 – Condutor retilíneo homogêneo 5

Figura 4 - Fórmula 2ª Lei de Ohm 5

Figura 5 - Strain Gage 6

Figura 6 - Balança dosadora de correia 7

Figura 7 - Diagrama de blocos de uma balança dosadora 7

Figura 9 - Zona de influência e comunicação com o módulo Intecont 11

Figura 10 - Representação de medição da célula de carga 12

Figura 11- Módulo Schenck Intecont 13

Figura 12 - Diagrama de blocos do módulo Intecont 14

Figura 13 - Diagrama de ligações 15

Figura 14 – Esquema elétrico da célula de carga 16

Figura 15 - Representação 3D da célula de carga HBM Z6 17

Figura 16 - Dimensões mecânicas da Célula de carga Z6 17

Figura 17 - Esquema geral de balança dosadora 18

Figura 18 - Balança dosadora montada 19

Figura 19 - Balança dosadora montada 20

Figura 20 - Projeto do painel elétrico 21

Figura 21 - Painel elétrico montado 22

Figura 22 - Estrutura da balança dosadora 23

Figura 23 - Tambores da balança dosadora 24

Figura 24 - Representação da ponte de pesagem 25

Figura 25 - Localização do suporte da célula de carga 26

Figura 26 - Localização do suporte da célula de carga 26

Figura 27 - Localização do suporte da célula de carga 27

Figura 28 – Localização do suporte da célula de carga 28

Figura 29 – Pesos de aferição 33

Figura 30 – Representação de verificação utilizando material 36

Figura 31 - Influência da junção da correia na pesagem 37

Figura 32 - Pontos de alinhamento dos roletes 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de avaliação 35

Tabela 2 – Resultados de medição 39

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS ..... **III**

EPÍGRAFE ..... **VI**

RESUMO ..... **VII**

ABSTRACT ..... **VIII**

LISTA DE FIGURAS ..... **IX**

LISTA DE TABELAS ..... **XI**

INTRODUÇÃO **1**

1.1 Formulação do Problema 1

1.2 Justificativa 1

1.3 Objetivos 1

1.3.1 Geral 1

1.3.2 Específicos 1

1.3.3 Metodologia 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **3**

2.1 Ponte de Wheatstone 3

2.2 2ª Lei de Ohm 5

2.3 Strain Gage 6

3 BALANÇA DOSADORA DE CORREIA **7**

3.1 Balanças dosadoras de correia 7

3.2 Princípio de funcionamento 10

3.3 O módulo Schenck Intecont 13

3.3.1 Princípio de funcionamento do módulo Intecont 15

3.3.2 Ligações no módulo Intecont 15

3.4 Célula de carga HBM Z6 16

3.5 Projeto da balança 18

3.5.1 Visão Geral 18

3.5.2 Painel Elétrico 20

3.5.3 Estrutura 22

3.6 Parte mecânica 25
3.6.1 Seção de pesagem 25
3.6.2 Suporte da célula de carga 25
3.6.3 Alinhamento do rolete de pesagem com os roletes de limitação 27
3.6.4 Suporte para pesos de aferição 27

4 CALIBRAÇÃO DA BALANÇA 29
4.1 *Pulses/Belt* - Impulsos por volta completa da correia 29
4.1.1 Pré requisitos 30
4.1.2 Procedimento 30
4.1.3 Display 30
4.2 TW: *Tare* – Tara 31
4.2.1 Pré-requisitos 31
4.2.2 Procedimento 31
4.2.3 Display 31
4.3 CW: Weight Check – Pesos de aferição 32
4.3.1 Pré-requisitos 33
4.3.2 Procedimento 34
4.3.3 Display 34
4.4 VM – Verificação utilizando material 35
4.4.1 Pré-requisitos 35
4.4.2 Procedimento 36
4.5 Nova calibração 37
4.6 Fatores que influenciam a calibração 37
4.6.1 Junção da correia 37
4.6.2 Alinhamento 38

5 RESULTADOS 39

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 41

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS 42

ANEXOS 43

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 48

INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Balanças dosadoras são equipamentos muito utilizados em empresas cimenteiras, mineradoras e indústrias que há transporte de matéria prima até uma usina ou centro de produção. Elas são responsáveis por dosar a quantidade de materiais que são colocados em moinhos, fornos, entre outros equipamentos. Geralmente, devido ao ambiente industrial, são instaladas em locais de difícil acesso, o que na maioria das vezes provoca a falta de manutenção. Devido a esta falta de manutenção, acontece de a balança dosadora de correia ficar descalibrada, dosando uma quantidade de material que não condiz com a quantidade real de material presente, causando erros de dosagem, consequentemente perda financeira para a empresa. O presente trabalho visa estudar o processo de calibração em uma balança dosadora de correia, analisar os dos e propor melhorias neste processo.

1.2 Justificativa

Este trabalho tem como motivação o aprendizado do processo de calibração de uma balança dosadora de correia, visto que estes equipamentos são importantíssimos para o controle de dosagem de material em diversos tipos de indústria e frequentemente encontram-se descalibrados causando erros de medição e erros no processo de produção.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

- Estudar os princípios de calibração de uma balança dosadora de correia.

1.3.2 Específicos

- Propor melhorias no processo de calibração baseando-se nos resultados obtidos;
- Apresentar uma solução alternativa aos métodos já tradicionais de calibração de balanças dosadoras de correia.

1.3.3 Metodologia

- Levantamento bibliográfico do que já foi publicado referente ao assunto em livros, revistas, internet e manuais técnicos;
- Leitura bibliográfica e seleção do material a ser utilizado;
- Montagem da balança dosadora de correia;
- Realização da calibração em balanças dosadoras de correia;
- Obtenção de resultados e análise dos mesmos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo visa apresentar os fundamentos teóricos básicos para compreensão do funcionamento de uma balança dosadora de correia, para elaboração do projeto proposto no capítulo 1. Serão brevemente apresentados e discutidos conceitos sobre pontes de Wheatstone, 2ª Lei de Ohm, Strain Gages, inversores de frequência, módulos de tratamento de sinais e análise de tensões mecânicas. Devido ao fato de que as balanças são equipamentos industriais, há pouca informação em artigos acadêmicos, então a maioria das referências serão de manuais e relatórios técnicos.

2.1 Ponte de Wheatstone

É a configuração de 4 resistores (R1,R2,R3,R4) alimentados por uma tensão(Ee), conforme figuras 1 e 2. A condição de equilíbrio desta ponte se dá quando o potencial A é igual ao potencial B. Para a ponte estar em equilíbrio, precisa-se satisfazer a seguinte condição: R1 x R3 = R2 x R4. Nesta condição como não existe a diferença de potencial, DDP, não há corrente circulando de A para B e nem de B para A.

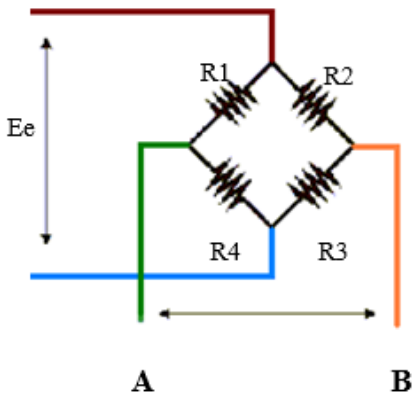

Figura 1 – Configuração da ponte de Wheatstone

Fonte: Autoria própria

Caso altere-se o valor de uma resistência, desequilibra-se a ponte, havendo no ponto B um potencial diferente do ponto A, consequentemente uma corrente circulando de A para B. Quanto maior for a variação maior será a corrente circulante, pode-se variar o valor da resistência colocando um reostato no circuito, ou um outro elemento que varie a resistência em função de um outro esforço, como um Strain Gage (tema abordado na seção 2.3).

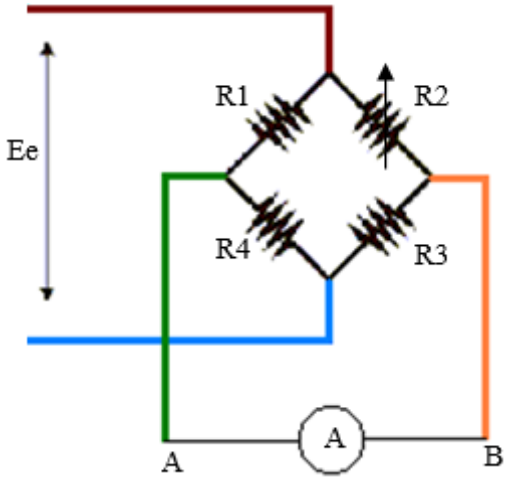

Figura 2 – Configuração ponte de Wheatstone com resistor variável

Fonte: Autoria própria

BRAGA N. C. (Sem data) afirma que um dos assuntos mais importantes na área de eletrônica e instrumentação é a realização de medidas por meio de de pontes de Wheatstone. Pontes são circuitos que possuem um estado de equilíbrio quando certas condições de seus elementos são atingidas. Usando componentes de valores conhecidos numa ponte podemos determinar os valores de outros que sejam desconhecidos. Assim, usando pontes apropriadas podemos determinar o valor de resistências, capacitâncias e indutâncias.

2.2 2ª Lei de Ohm

A 2ª lei de ohm enunciada por George Simon Ohm (1787-1854), possui o seguinte enunciado: “A resistência de um condutor homogêneo de secção transversal constante é proporcional ao seu comprimento e da natureza do material de sua construção, e é inversamente proporcional à área de sua secção transversal. ”. A figura 3 ilustra a segunda lei de Ohm em um condutor metálico e a figura 4 mostra a equação matemática da segunda lei de OHM.

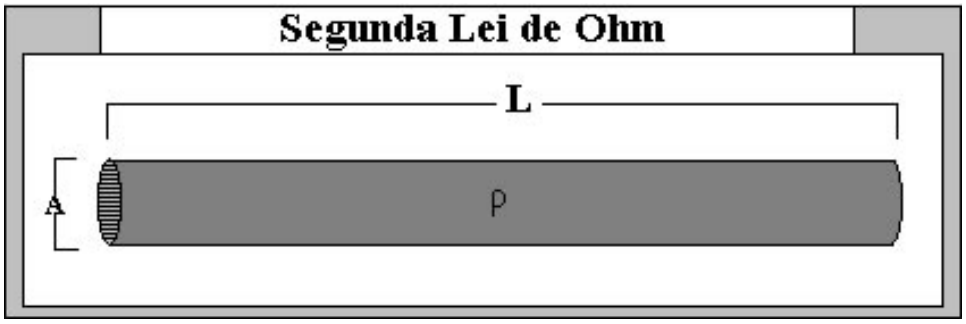

Figura 3 – Condutor retilíneo homogêneo

Fonte: http://www.mundoeducacao.com/fisica/segunda-lei-ohm.htm

$$R = \rho . \frac{L}{A}$$

Figura 4 – Fórmula 2ª Lei de Ohm

Fonte: http://www.mundoeducacao.com/fisica/segunda-lei-ohm.htm

Onde:

ρ= resistividade, depende do material do condutor e de sua temperatura.

ℓ= largura do condutor

A= área da secção transversal.

Como a unidade de resistência elétrica é o ohm **(Ω)**, então a unidade adotada pelo SI para a resistividade é Ω.m.

2.3 Strain Gage

São dispositivos para medir deformações cujo princípio é transformar pequenas variações nas dimensões em variações equivalentes em resistência elétrica.

O strain gage (extensômetro de resistência elétrica), consiste de uma grade de fio metálico sensível, ligado a uma base que se cola na peça que se pretende ensaiar. Nos extensômetros menores, as dimensões do conjunto são inferiores a um selo postal, assim não necessitando mais do que uma boa cola para se montar (FIALHO, 1982). O fio sensível, tem na maioria dos extensômetros um diâmetro aproximado de 0,001mm e é constituído por ligas metálicas especiais, tais como: Constantan, Nicrome ou Nanganin. A grade fica entre duas folhas de papel ou dentro de uma fina película de plástico, havendo também alguns tipos de extensômetro em que de um lado fica uma folha de papel e do outro um retângulo de feltro protetor. As dimensões da base e da grade devem ser tais que o fio sensível acompanhe sem rigidez as deformações do elemento a que está colado. Por esta razão, as dimensões da base e da grade estão ligadas proporcionalmente em cada tipo de extensômetro. Nas extremidades dos fios estão soldados dois outros de maior diâmetro para permitir a ligação deste ao resto do circuito. Pode-se ver um exemplo de extensômetro na Figura 5.

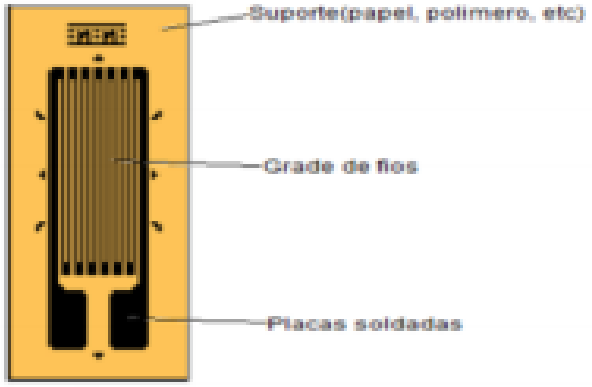

Figura 5 – Strain Gage

Fonte: FIALHO, J. F. (1982)

3 BALANÇA DOSADORA DE CORREIA

3.1 Balanças dosadoras de correia

A balança dosadora (Figura 6) é um equipamento projetado para controlar o fluxo de material sobre uma correia, mantendo constante o fluxo em sua descarga. Mediante a uma solicitação de trabalho (*SetPoint*) a balança irá verificar a carga sobre a célula de carga e aumentará ou diminuirá a velocidade da correia para atingir a vazão solicitada. Baseando-se neste controle de velocidade é possível representar a balança dosadora através de um diagrama de blocos (Figura 7).

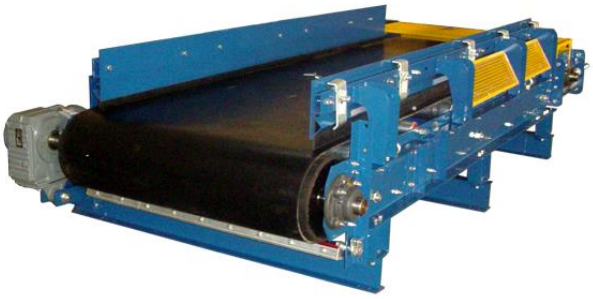

Figura 6 – Balança dosadora de correia

Fonte: Manual Schenck

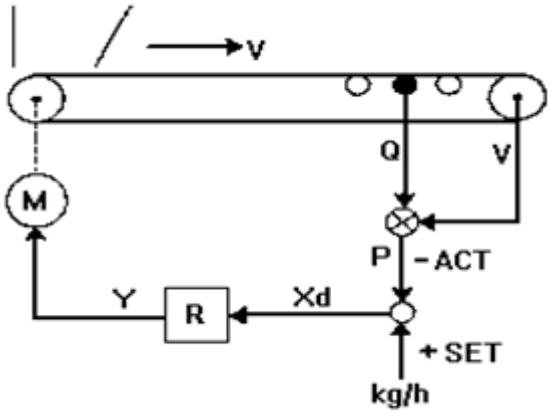

Figura 7 – Diagrama de blocos de uma balança dosadora

Fonte: Manual Schenck

A balança dosadora do ponto de vista eletroeletrônico, é composta de:

- **Célula de carga**

É o elemento responsável pela informação do peso sobre a correia.

Trata-se de um elemento eletromecânico altamente sensível, com capacidade de carga limitada. É de extrema importância para o sistema de pesagem. A proteção apesar de robusta visa apenas protegê-la contra a penetração de ar impuro, umidade e corpos estranhos em seu interior.

O deslocamento da célula de carga quando submetida à carga máxima, é de aproximadamente 0,3 mm.

- **Motor de acionamento**

Motor AC ou DC. Na atualidade o motor AC é o mais comum. O inversor de frequência é o elemento responsável pela variação da velocidade da correia, quando houver alguma variação da carga (peso) sobre a correia. Como a balança trabalha com baixas velocidades é necessário realizar a diminuição da velocidade do motor, está redução é realizada através do uso de um conjunto motoredutor.

- **Gerador de impulsos**

Sensor de velocidade localizado na segunda ponta de eixo do motor AC. Capta a velocidade da correia, para que a unidade eletrônica, possa calcular a vazão.

Como todo o sistema mecânico (correia, motor, gerador de impulsos) está rigidamente ligado, então se o motor dobrar de rotação, a correia dobrará de velocidade, e o número de impulsos gerados, também dobrará.

- **Módulo Eletrônico**

O módulo eletrônico deverá conter o software específico para balanças dosadoras e ser um sistema dedicado para garantirmos respostas rápidas e não comprometermos a estabilidade da dosagem.

- **Sensores de deslocamento da correia**

Os sensores de deslocamento são instalados para monitorar o deslocamento lateral ou desalinhamento da correia. O software deve ter uma variável de leitura deste sensor para indicar por meio de alarmes que a correia está desalinhando. Este alarme poderá parar a balança ou informar a equipe de manutenção que está ocorrendo o desalinhamento, possibilitando uma manutenção antes de danificar a correia.

- **Caixa de comando local**

Esta caixa normalmente é instalada próxima a balança e tem como função ser utilizada durante uma manutenção. Quando acionado o modo local, a balança não opera pelo modo automático. Não deve ser utilizada como modo de operação, pois em algumas circunstancias a vazão não será computada, perdendo-se assim o controle do material transportado pela balança.

- **Rolete de pesagem**

Este rolete, juntamente com os dois roletes adjacentes e a célula de carga, constitui a plataforma de pesagem, ao qual damos o nome de **PONTE DE PESAGEM.** Como já descrito anteriormente, esta ponte é o local da correia onde o material afeta diretamente a célula de carga, portanto devemos tomar muito cuidado sobre esta parte do transportador a fim de não danificarmos a célula de carga e não desalinharmos os roletes.

A ponte de pesagem está mecanicamente apoiada sobre a célula de carga.

- **Estação de esticamento e autoalinhamento**

A estação de esticamento e autoalinhamento tem duas funções:

- Manter o tensionamento da correia constante.
- Corrigir o deslocamento lateral da correia.

3.2 Princípio de funcionamento

A balança dosadora é projetada para controlar o fluxo de material sobre a correia, mantendo constante o fluxo 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.

O princípio de medição é mostrado na figura seguinte. O material é extraído diretamente da tremonha instalada sobre o silo. Um mecanismo regula a camada de material, garantindo uma carga uniforme na 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 dois roletes adjacentes, anterior e posterior ao rolete de pesagem.

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 Q (Kg/m) – carga.

A zona de influência é a região da correia onde a camada de material realmente afeta a célula de carga. Está representada na figura 9 pelo trecho indicado por **Leff.**

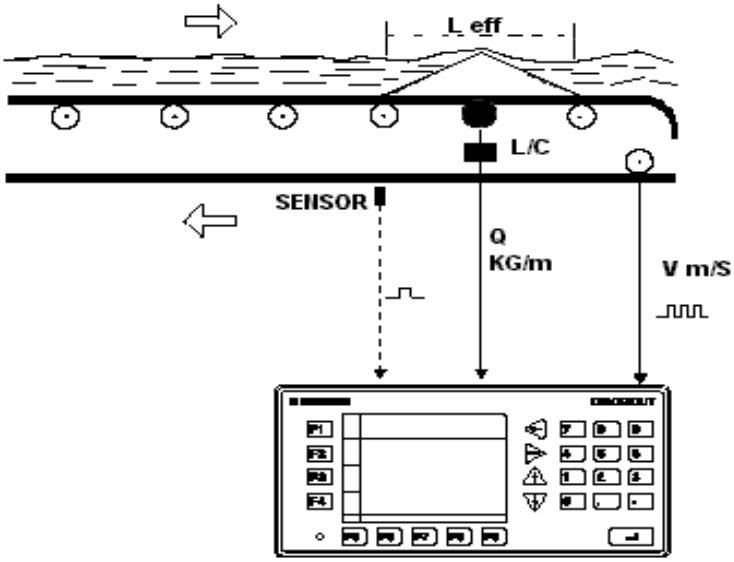

Figura 9 – Zona de influência e comunicação com o módulo Intecont

Fonte: Manual Schenck

Os três roletes da ponte de pesagem devem estar nivelados e elevados de 3 a 5mm em relação ao restante dos roletes do transportador. Um perfeito alinhamento é importante para podermos ter uma correia sem oscilações garantindo assim a precisão desejada da balança.

O tensionamento da correia também é muito importante para mantermos a pressão da correia sobre a célula de carga o mais constante possível. Um ajuste ruim no tencionamento acarretará imprecisões nas pesagens.

Um outro sinal importante é gerado pelo sensor de velocidade. Este sinal é captado no motor na segunda ponta de eixo. Um sensor indutivo envia um pulso para a unidade eletrônica a cada "dente" que passa próximo de sua extremidade, quando a roda dentada acoplada ao eixo do motor gira.

Desta maneira basta informar ao módulo qual é a relação entre velocidade do motor e velocidade da correia para que o módulo possa calcular a velocidade da correia.

Este sinal é registrado no módulo como V – velocidade da correia.

O Módulo de posse destes dois sinais (Q e V) faz a sua multiplicação e obtém a vazão real ou o fluxo real **I =Q × V.**

A vazão real I é comparada ao Set Point – 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, consequentemente aumentando ou diminuindo a velocidade da correia para manter o fluxo real constante e igual ao Set Point.

Enfim a balança dosadora conseguirá manter o fluxo constante, por exemplo, com uma carga Q menor, porém à custa de uma velocidade V maior. A figura 10 apresenta a representação da medição de uma célula de carga e acionamento de um motor.

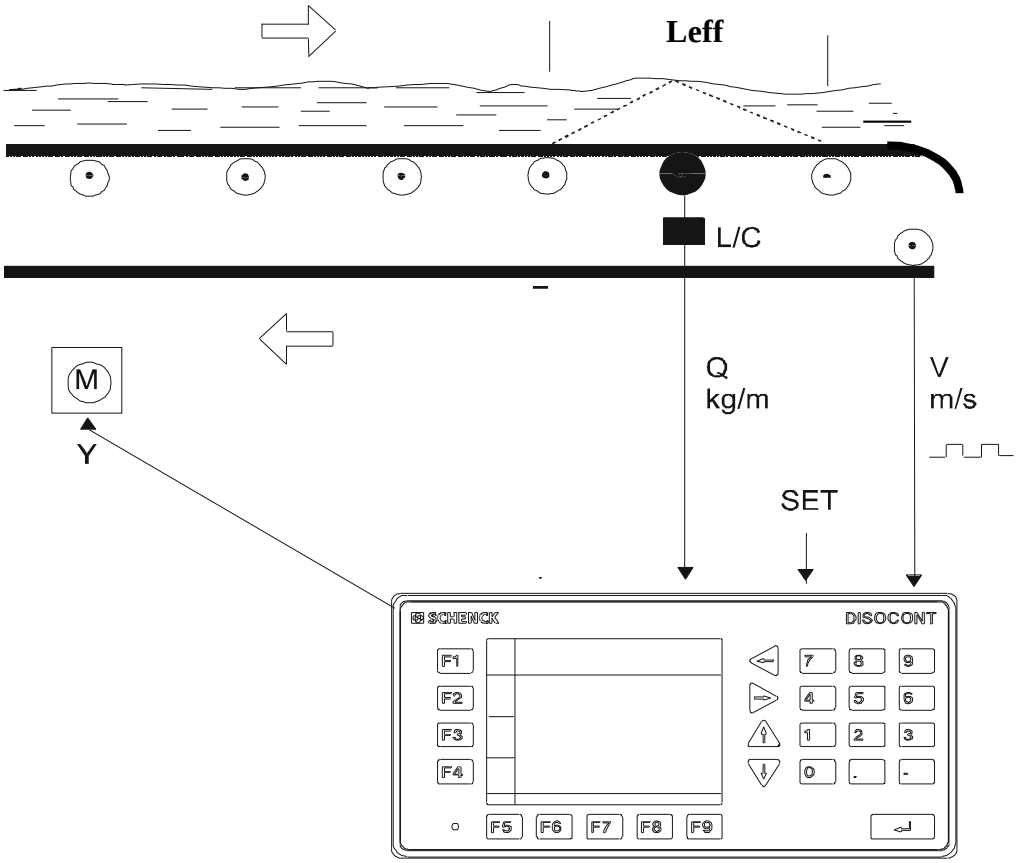

Figura 10 –Representação de medição da célula de carga

Fonte: Manual Schenck

A fórmula utilizada para o cálculo da vazão na correia é:

I = Q x V x 3,6

Onde deve-se obedecer as seguinte unidades:

Vazão ➔ I – t/h – Toneladas por hora

Carga na correia ➔ Q – kg/m – Quilogramas por metro

Velocidade da correia ➔ V – m/s – Metros por segundo

3.3 O módulo Schenck Intecont

O Intecont Plus, ilustrado na figura 11 é um módulo compacto que pode ser utilizado em vários modelos de balanças, tais como dosadoras, integradoras, multicor, calhas de impacto e loss in weight.

Figura 11 – Módulo Schenck Intecont

Fonte: Manual Schenck Intecont

Para cada equipamento há um software próprio para trabalho, daí a necessidade de se saber a aplicação correta do módulo na hora da aquisição do mesmo. O diagrama de blocos do módulo utilizado no presente trabalho encontra-se representado na figura 12.

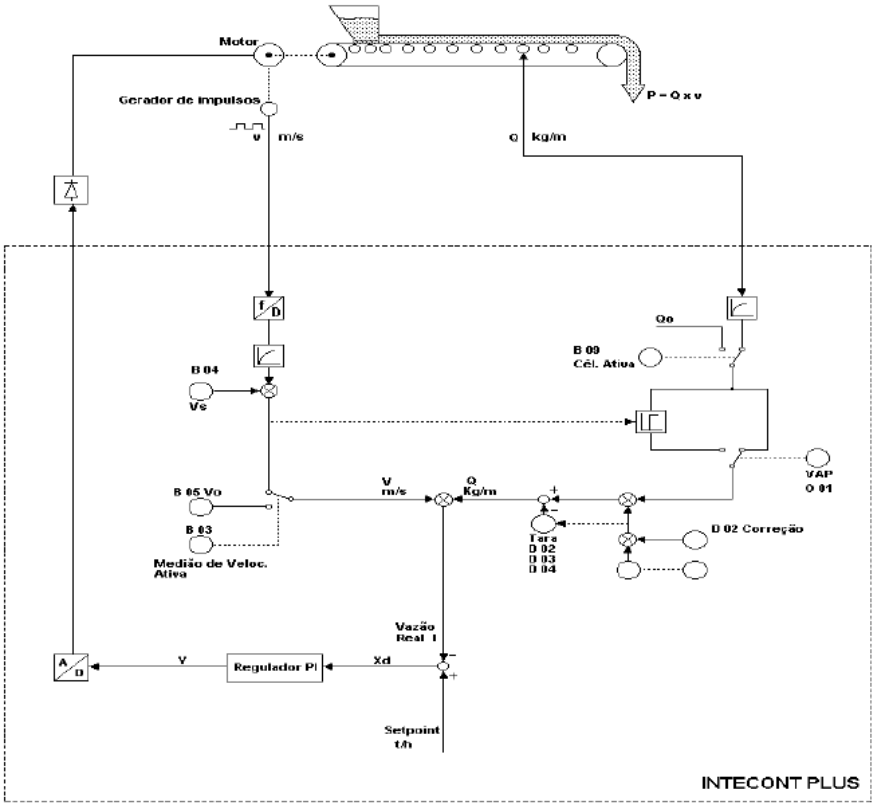

Figura 12 – Diagrama de blocos do módulo Intecont

Fonte: Manual Schenck Intecont

As características técnicas do Intecont são:

- Módulo FIP-0403 para montagem em painel de comando
- Display digital de 2 linhas x 20 colunas (altura do caractere de 6mm) Teclado;
- Membrana flexível sensível ao tato LEDs de Aviso : 2 verdes e 3 vermelhos
- Tensão de Operação: 24V CC +30% -25% , 1A máx., sem fusível c/ proteção contra Inversão de polaridade
- Fonte de Alimentação: FNT 55 220V,+10% -15%, 50Hz FNT 56 115V, +10% -15%, 60Hz
- Dimensões: 77 x 103 x 70mm
- Ambiente de Operação Temperatura : -40°C...+45°C
- Umidade: Classe F (DIN 40 040) * Imunidade à Interferência
- Temperatura de Armazenamento -40°C...+80°C

3.3.1 Princípio de funcionamento do módulo Intecont

O sinal da célula de carga em mV, é captada na ponte de pesagem e é enviado a unidade microprocessada Intecont Plus onde é convertido de sinal analógico para digital. O sinal do gerador de impulsos entra no Intecont Plus, e representa a velocidade da correia. Ambos os sinais acima, são multiplicados dentro do Intecont Plus resultando em uma determinada vazão. Esta é comparada com um valor pré-ajustado, também denominado de *setpoint*. O resultado desta comparação denominado de desvio *E*, é processado sendo enviado para um regulador de velocidade, que determinará o aumento ou redução na velocidade da balança dosadora, até que a vazão se iguale ao valor pré-ajustado.

3.3.2 Ligações no módulo Intecont

Como todo equipamento eletroeletrônico o módulo Intecont apresenta terminações a fim de se realizar as ligações elétricas e de rede e com isso comunicar o módulo com a balança a ser controlada. O diagrama de ligações encontra-se na figura 13.

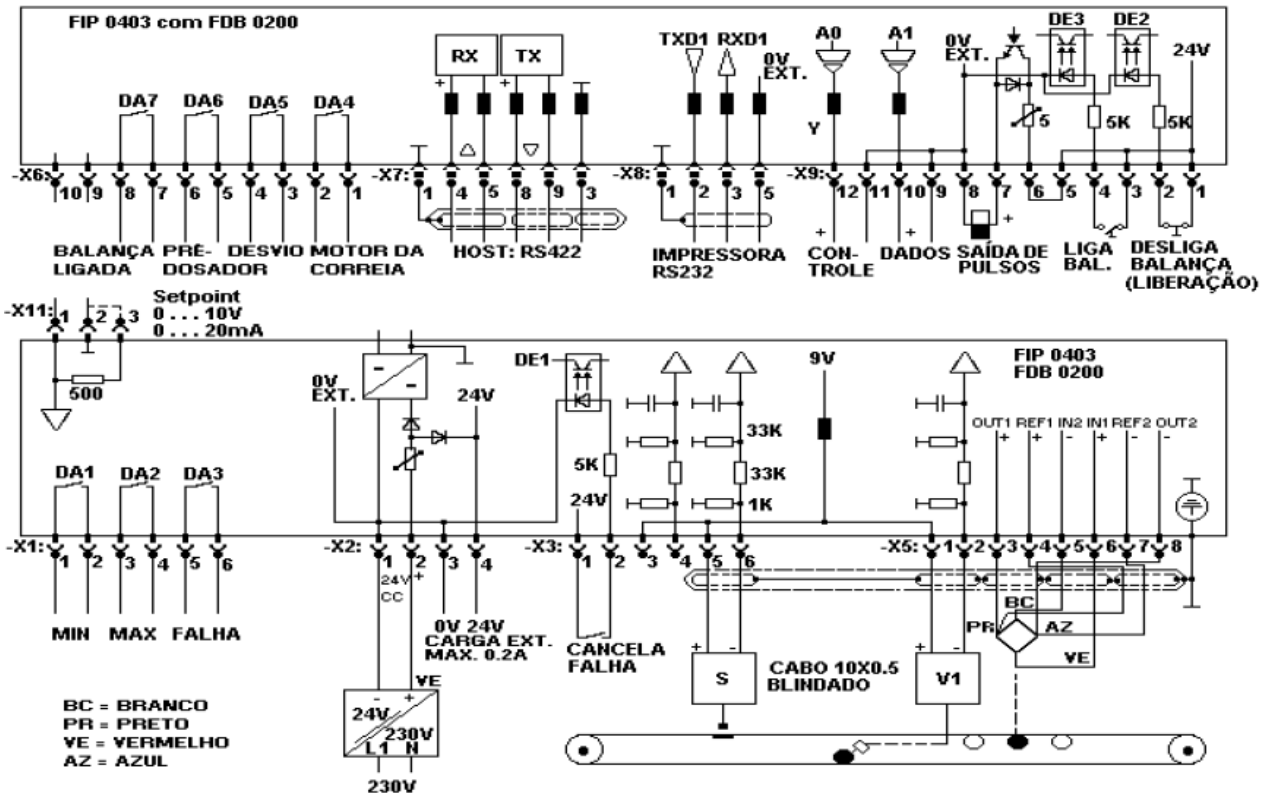

Figura 13 – Diagrama de ligações

Fonte: Manual Schenck

Como todo equipamento eletroeletrônico, o módulo Intecont pode sofrer erros e avarias devido à má operação, interpéries e fatores externos. Para facilitar o diagnóstico e agilizar a solução dos problemas, o módulo possui uma lista de defeitos que se encontram no anexo 1.

3.4 Célula de carga HBM Z6

A célula de carga é um componente eletromecânico capaz de medir o peso aplicado sobre a mesma. É um transdutor que transforma a deformação sofrida em tensão elétrica (por meio de de strain gages, citados na seção 3.3). Esta tensão elétrica gerada é proporcional à deformação e por meio de de um módulo de tratamento de sinais adequado converte este sinal de tensão em peso. A configuração elétrica dos strain gages é da forma de ponte de Wheatstone (citado na seção 3.2). O esquema elétrico da célula de carga é representado na figura 14.

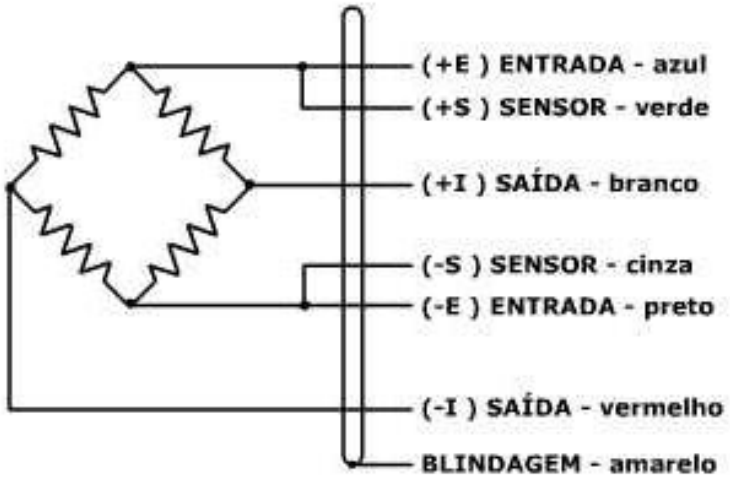

Figura 14 – Esquema elétrico da célula de carga

Fonte: Adaptado do Datasheet Célula de carga Z6FC3

Analisando este esquema de ligação percebe-se que ela é composta por 6 fios, sendo que 2 são de alimentação da ponte de wheatstone, 2 são os fios que gerarão a tensão proporcional de acordo com a deformação (saída) e 2 são fios de referência da tensão aplicada (sensor, que vai para o Intecont).

Neste trabalho foi utilizado uma célula de carga da marca HBM do tipo Z6 100 Kg, conhecida como *Bending Beam*. Como em balanças industriais a grandeza a ser medida é o peso, esta célula de carga é adequada pois ela é insensível a esforços laterais e excêntricos, sofrendo deformações apenas no sentido transversal. Segundo o site da fabricante, as células de carga são componentes

primários utilizados em balanças industriais. A célula de carga do tipo Z6(figura 15), é adequada para os diferentes tipos de ambientes industriais devido à sua resistência mecânica.

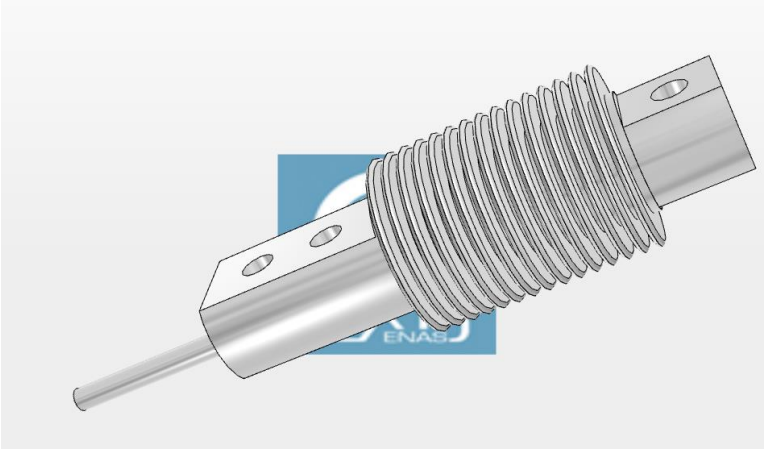

Figura 15 – Representação 3D da célula de carga HBM Z6

Fonte: Site HBM

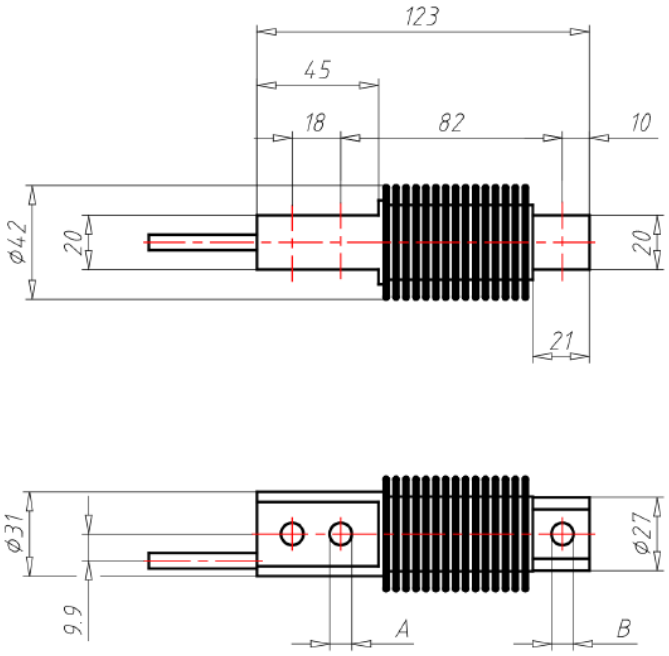

Figura 16 – Dimensões mecânicas da Célula de carga Z6

Fonte: Site HBM

3.5 Projeto da balança

3.5.1 Visão Geral

Para construção da balança foi efetuado um projeto para a mesma pela empresa BRX, este projeto contempla parte mecânica e elétrica e é de fundamental importância para a correta montagem e calibração da balança dosadora. Na figura 17 está representado uma balança dosadora bem como os instrumentos e elementos elétricos associados a ela.

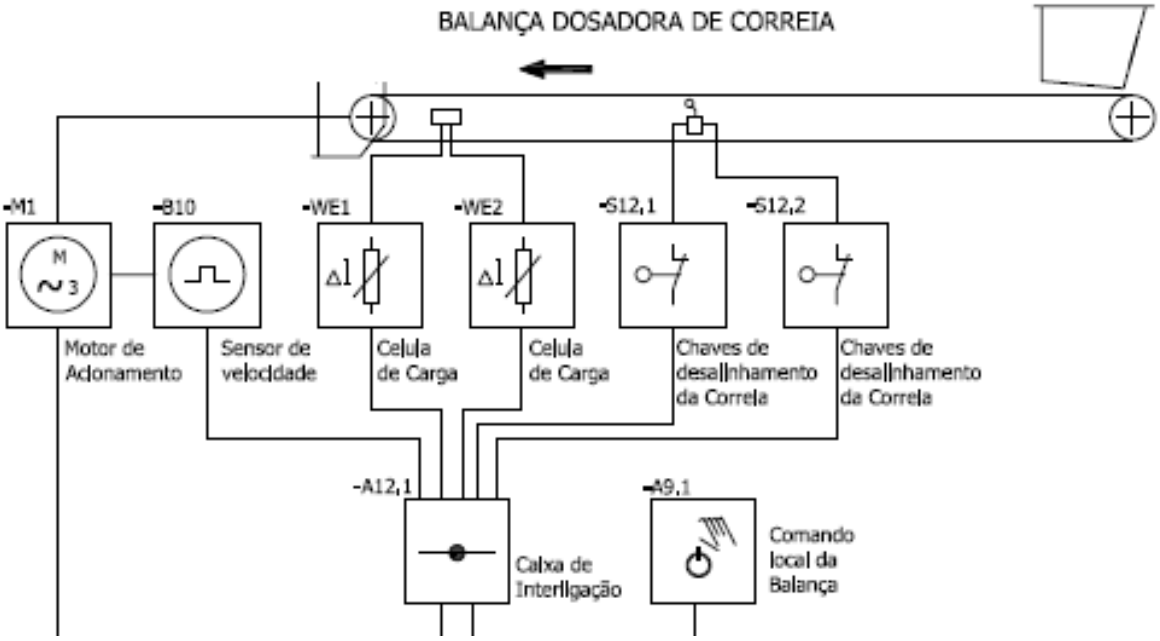

Figura 17 – Esquema geral de balança dosadora

Fonte: Empresa BRX

Nas figuras 18 e 19 pode-se observar a balança montada com todos os seus componentes instalados.

Figura 18 – Balança dosadora montada

Fonte: Autoria própria

Figura 19 – Balança dosadora montada

Fonte: Autoria própria

3.5.2 Painel Elétrico

O painel elétrico da balança é uma estrutura onde fica armazenado os componentes elétricos de acionamento da balança dosadora, como contatores, disjuntosres, relés, régua de bornes, inversor de frequência e módulo de pesagem. Para a balança fabricada foi utilizado o painel representado pelas figuras 20 e 21.

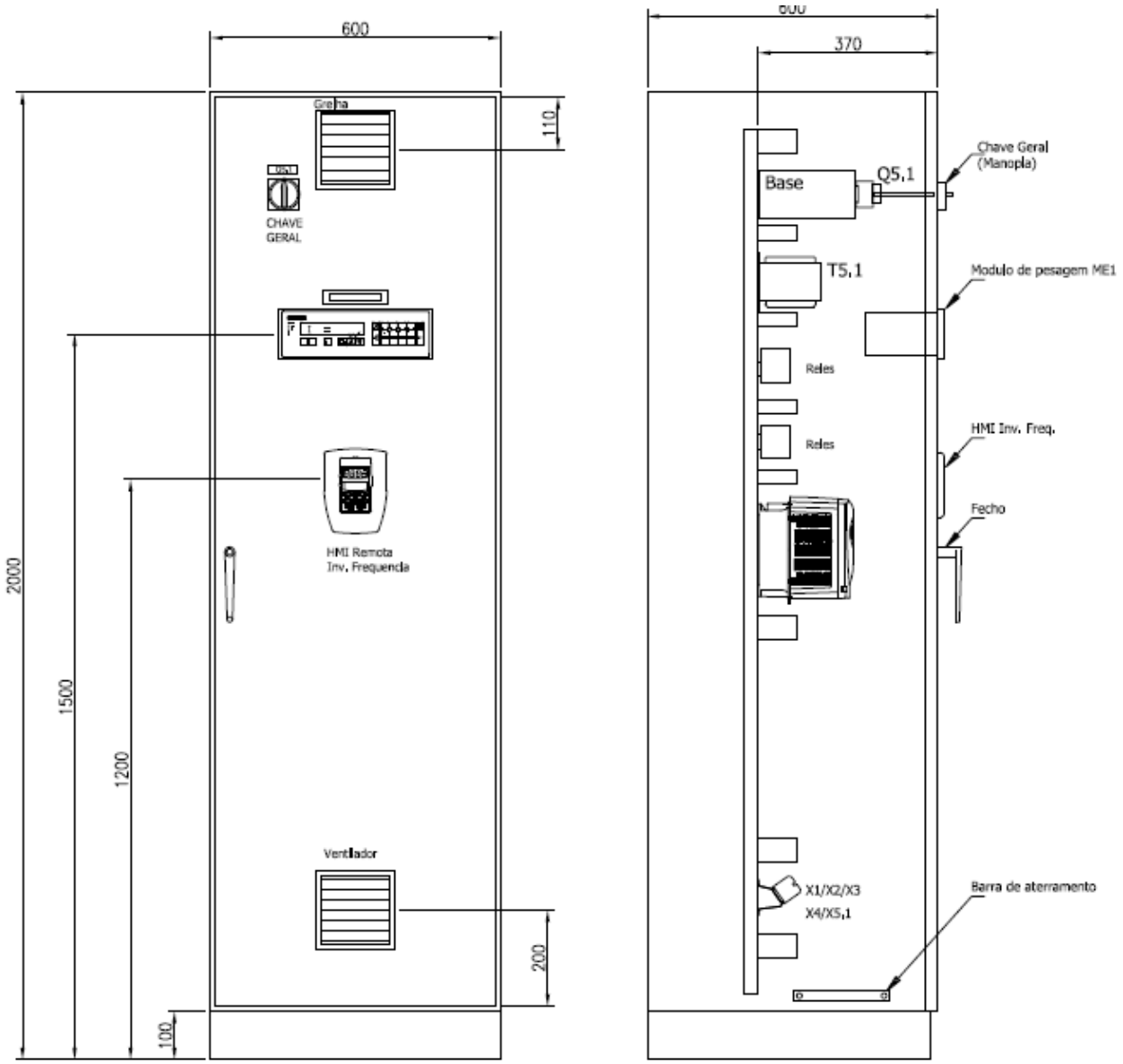

Figura 20 – Projeto do painel elétrico

Fonte: Empresa BRX

Figura 21 –Painel elétrico montado

Fonte: Empresa BRX

3.5.3 Estrutura

A estrutura da balança, conhecida também como esqueleto, é constituída por peças fabricadas em aço, material que oferece boa resistência mecânica. A figura 22 mostra a estrutura da balança dosadora de correia

Figura 22 – Estrutura da balança dosadora

Fonte: Autoria própria

c. Existem dois tambores, um em cada extremidade, um motriz e outro movido. A figura 23 mostra os dois tambores da balança.

Figura 23 – Tambores da balança dosadora

Fonte: Autoria própria

Analisando a figura 23 vemos que um tambor possui o eixo mais extenso. Este tambor é o motriz e este eixo alongado tem a finalidade de realizar o acoplamento com o motoredutor responsável pelo acionamento da correia.

3.6 Parte mecânica

Neste tópico serão abordados brevemente a composição mecânica da balança dosadora montada.

3.6.1 Seção de pesagem

A seção de pesagem da balança dosadora é composta de 2 seções de pesagem (esquerda e direita) e do rolete de pesagem. O rolete de pesagem está localizado entre os dois roletes limitadores que definem o comprimento da secção de pesagem que é a medida "L" indicando a distância entre os roletes limitadores. Sobre a seção de pesagem, a carga na correia provoca uma força medida "Q" sobre o comprimento L/2, que será a carga captada pelas células de carga. Pode se ver a localização da seção de pesagem e distribuição da carga na figura 24.

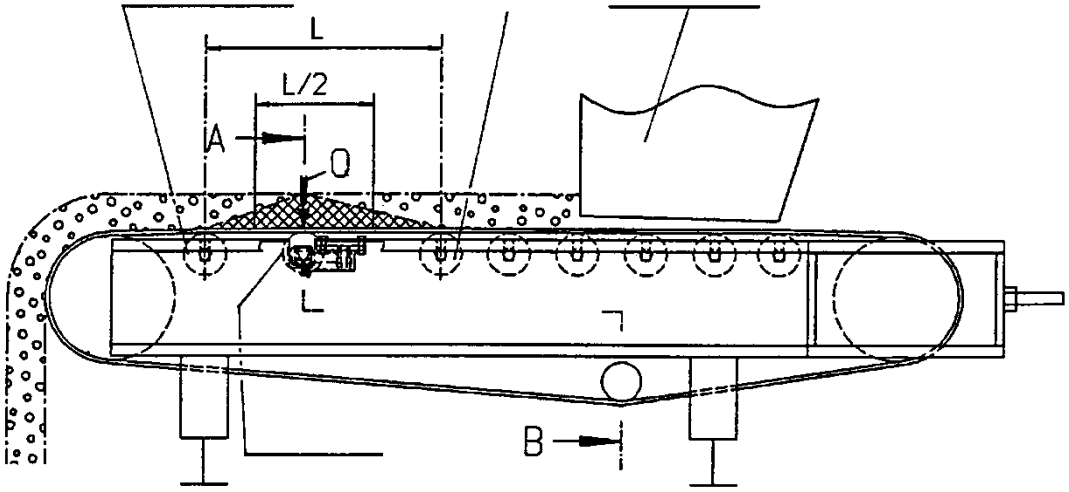

Figura 24 – Representação da ponte de pesagem

Fonte: Manual Schenck

3.6.2 Suporte da célula de carga

O suporte da célula de carga tem a função de apoiar e transmitir a carga pesada para a célula de carga. Os eixos do rolete de carga são encaixados nos dispositivos de carga, que por sua vez estão fixos nas células de carga. Assim, a carga medida Q é transmitida pelo eixo rolete às células de carga da seção de pesagem. Uma representação do suporte da célula de carga é apresentada nas figuras 25 e 26.

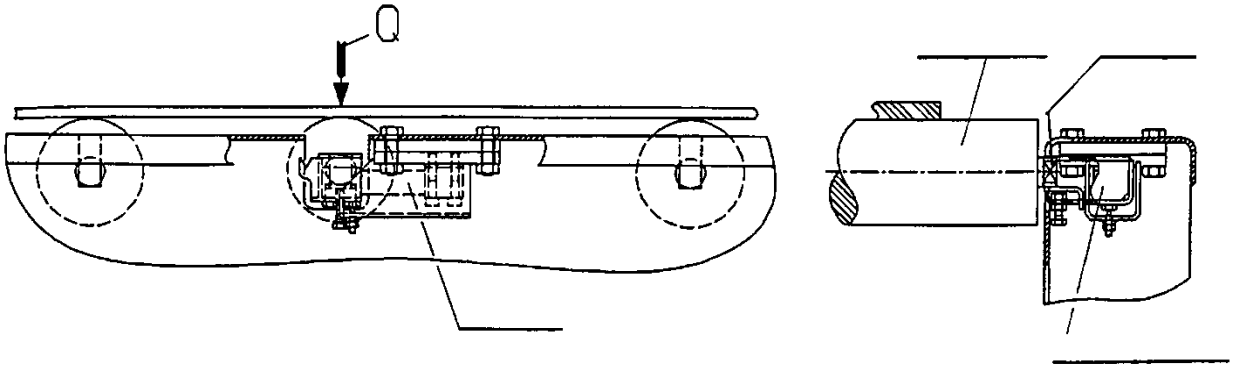

Figura 25 – Localização do suporte da célula de carga

Fonte: Manual Schenck

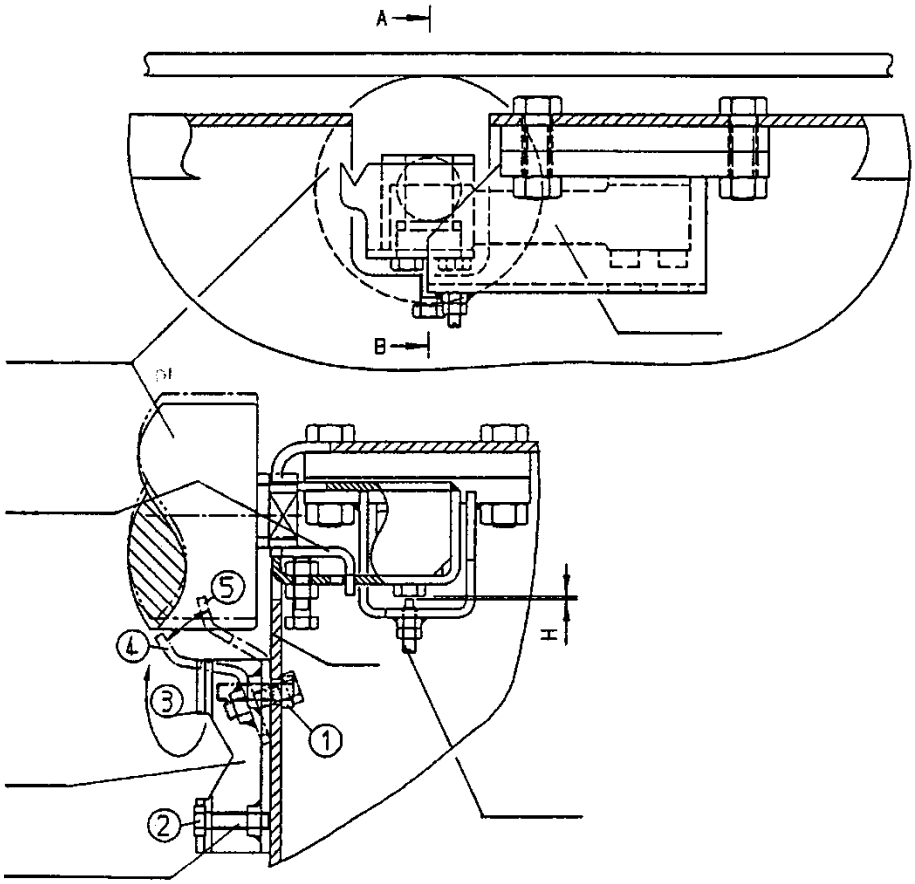

Figura 26 – Localização do suporte da célula de carga

Fonte: Manual Schenck

3.6.3 Alinhamento do rolete de pesagem com os roletes de limitação

Os roletes de carga e os de limitação devem ser girados e certificados de forma que a tolerância de excentricidade seja ≤ 0,2 mm a fim de conseguir a tolerância de alinhamento necessária.

O nível de altura das áreas de suporte dos roletes limitadores e dos roletes de carga é levemente mais alto que os roletes de transporte, de modo que as medidas Y e Z sejam definitivas (Figura 27)

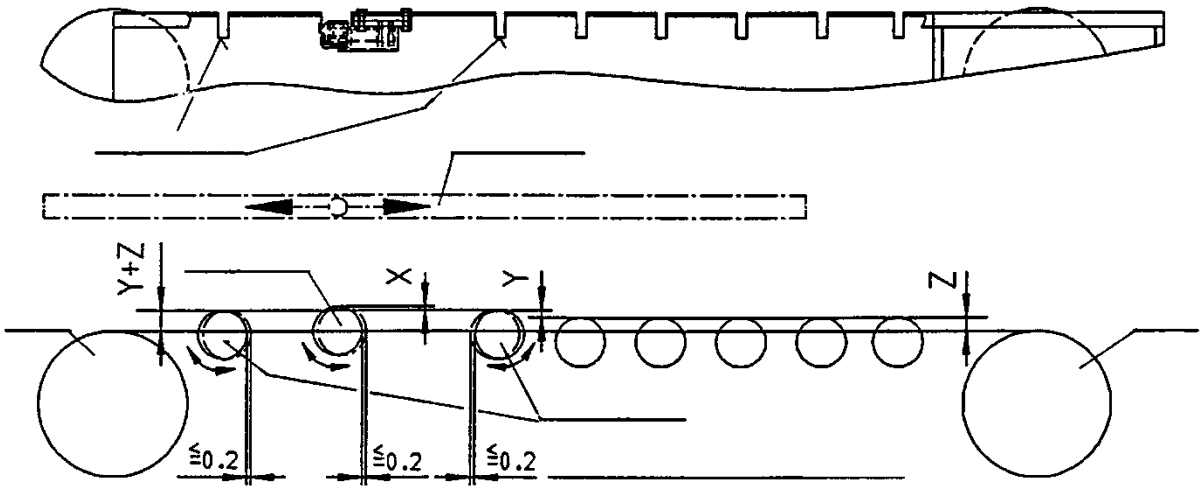

Figura 27 – Localização do suporte da célula de carga

Fonte: Manual Schenck

O rolete de carga não pode ficar localizado abaixo do nível de altura dos roletes limitadores, a fim de manter os erros de medição causados pelas forças de tração das correias os mais baixos possíveis.

3.6.4 Suporte para pesos de aferição

Com a finalidade de testar as células de carga há a presença de um gancho para pendurar os pesos de aferição (Figura 28).

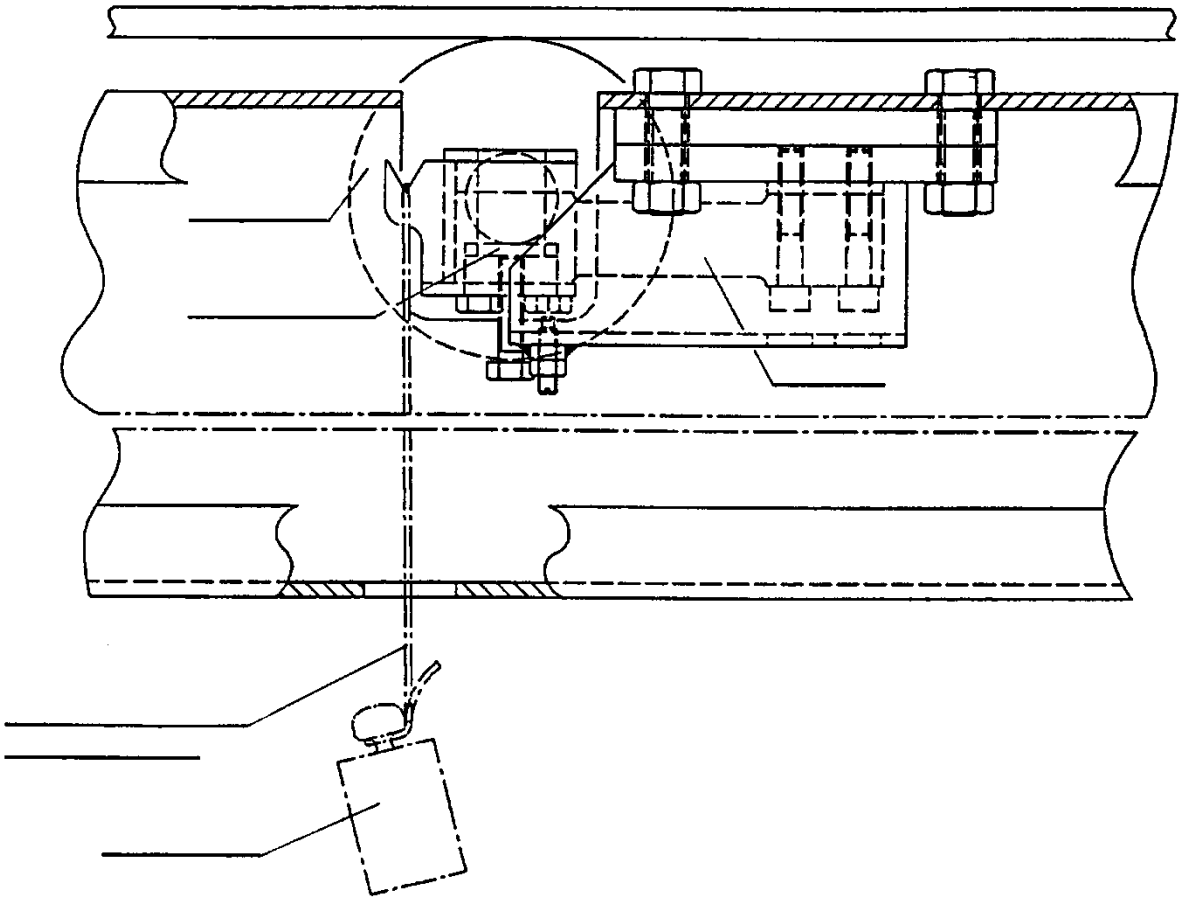

Figura 28 – Localização do suporte da célula de carga

Fonte: Manual Schenck

No caso de a balança ser instalada com certa inclinação, a força medida pelo peso de teste tem que ser reduzida pelo fator cosseno do ângulo da inclinação em relação a horizontal.

4 CALIBRAÇÃO DA BALANÇA

A calibração da balança é feita com a célula de carga conectada ao módulo Intecont, sendo necessário apenas inserção de parâmetros na programação do mesmo.

A calibração da balança possui quatro etapas, que serão abordadoas na próxima seção:

LB: *Pulses/Belt*

TW: *Tare*

CW: *Check weight*

VM: Verificação com material

4.1 *Pulses/Belt* - Impulsos por volta completa da correia

Nesta função é utilizada a quantidade de pulsos gerada pelo sensor de velocidade em uma ou mais voltas completa da correia.

O número de pulsos é usado como referência quando forem executadas as funções abaixo:

Zero Set

TW: Tare

CW: Weight Check

Quando se executa a primeira calibração da balança dosadora, a função de calibração *"LB:Pulses/Belt"* é a primeira a ser chamada e <u>é obrigatória</u> ou quando ocorrerem as situações abaixo:

- A balança for calibrada inicialmente;
- Se uma nova correia for instalada ou substituída;
- A tensão da correia varia intensamente;
- Em balanças com ou sem medição de velocidade, se for alterado o Parâmetro P 04.01 "vs-Charact. Val" ou o Parâmetro P 02.04 "*Nominal Speed*".

Em manutenções periódicas, nada impede que esta etapa da calibração seja executada.

4.1.1 Pré requisitos

- Balança ligada.
- Modo volumétrico selecionado.
- Valor de *SetPoint* introduzido com um valor igual a capacidade nominal da balança.

4.1.2 Procedimento

Medir o tempo de uma volta completa da correia com precisão e introduzir o valor no Parâmetro P 09.02 "*Belt Circuit Time*", em segundos.

Se o tempo de uma volta for menor que 60 segundos, então tome o tempo de duas ou mais voltas, de forma que o tempo total seja superior a 60 segundos.

A fim de se garantir uma precisão maior na calibração é necessário esperar a velocidade da correia se estabilizar

1. Selecione a função no menu Função de Calibração usando as teclas de cursor.
2. Ative a função com a tecla <Return> e a contagem dos pulsos estará em andamento.

4.1.3 Display

Função ativa: O primeiro campo de texto apresenta "LB: Measurement ON"; o primeiro campo de exibição mostra o tempo de execução residual em segundos.

O segundo campo de exibição indica o número de pulsos já totalizados pelo sensor de velocidade.

Função encerrada: O primeiro campo de texto apresenta "LB: v"; o primeiro campo de exibição indica o valor médio da velocidade da correia sobre o tempo de execução completo.

Função encerrada: O segundo campo de texto apresenta "KOR"; o segundo campo de exibição indica o número total de pulsos por volta da correia.

4.2 TW: *Tare* – Tara

Esta função é utilizada para adquirir o erro do ponto zero da balança dosadora em uma ou mais voltas completas da correia. Em outras palavras, o rolete de pesagem e a correia, constitui um peso morto sobre a célula de carga e que não pode ser contabilizado. O programa “TW: *Tare*” elimina a influência do peso morto. Diferentemente do programa de ajuste de zero, a função é usada durante a fase de comissionamento ou se uma nova correia for instalada ou substituída, ou se a célula de carga for substituída, etc. Ela está protegida por senha contra uso involuntário.

Após a tara, a carga da correia será de 0 kg/m.

4.2.1 Pré-requisitos

- Modo volumétrico pré-selecionado
- Nenhum material na esteira transportadora
- Balança ligada.

4.2.2 Procedimento

1. Chame a função “TW: *Tare*“ no menu Função de Calibração usando as teclas de cursor.
2. Ative a função com a tecla <*Return*>.

4.2.3 Display

A segunda linha de texto apresenta "CA".

Com a função ativa, o primeiro campo de texto apresenta "TW: *Measurement ON*"; o primeiro campo de exibição indica o percentual residual decrescente da correia. Este percentual nada mais é do que a quantidade de pulsos necessários para uma ou mais volta completa da correia (LB), contados de maneira decrescente.

Ao encerrar a contagem percentual dos pulsos, o primeiro campo de texto apresenta *"Deviation"*; o primeiro campo de exibição indica o valor de desvio da tara em relação ao valor da tara anterior.

O segundo campo de texto apresenta *"Tare"*; o segundo campo de exibição indica o valor da tara relativo à carga nominal da correia em %.

4.3 CW: Weight Check – Pesos de aferição

Esta função é utilizada para verificar a faixa de medição da balança. A plataforma é carregada com peso de aferição de 5 Kg (Figura 29), sendo adquirido o valor médio de carga da plataforma durante uma ou mais volta completa da correia. O resultado é comparado com o *setpoint*, sendo então exibido.

O resultado não entra automaticamente no Parâmetro P 09.01 *"Range Correction"* nem em qualquer outro parâmetro.

Figura 29 – Pesos de aferição

Fonte: Autoria própria

4.3.1 Pré-requisitos

- A função TW: *Tare* tenha sido executada.
- Introdução do valor do peso de aferição no Parâmetro P 09.03 *"Check Weight"*. Assegure-se de que o peso de aferição esteja entre 30% e 100% da carga nominal da plataforma Q0. A carga nominal da plataforma é calculada a partir de:

*Q0 = q0 * Leff*

q0 = Carga nominal da correia

Leff = Comprimento da ponte de pesagem

- Aplicação do peso de aferição na balança – parte mecânica
- Seleção do modo volumétrico.
- Balança ligada com *SetPoint* igual ou próximo a capacidade nominal da balança.

4.3.2 Procedimento

1. Selecione a função no menu usando as teclas de cursor.
2. Ative a função com a tecla <*Return*>.

4.3.3 Display

Função ativa: O primeiro campo de texto apresenta "CW: *Measurement ON*"; o primeiro campo de exibição indica o percentual residual decrescente da correia. Este percentual nada mais é do que a quantidade de pulsos necessária para uma ou mais volta completa da correia (LB), contados de maneira decrescente.

O segundo campo de texto apresenta *"Set/Act"*; o segundo campo de exibição indica a quociente do Parâmetro P 09.03 *"Check Weight"* e o valor de medição do peso de aferição.

Função encerrada: O primeiro campo de texto apresenta *"CW: Complete"*; o primeiro campo de exibição indica o peso medido da quantidade de material alimentada ficticiamente em kg.

Função encerrada: O segundo campo de texto apresenta "KOR"; o segundo campo de exibição indica o valor médio *SET/ACT* sobre o tempo de execução completo.

Após verificar a diferença entre o valor real do peso de aferição e o valor indicado na balança, utiliza-se a tabela 1 para verificar a ação necessária a ser adotada

Tabela 1 – Tabela de avaliação

Erro	KOR	Explicação
<1%	= 0,99...1,01	Balança OK; nenhuma ação adicional requerida
< 5%	= 0,95...1,05	Se o resultado de uma verificação de material, ainda não foi considerada com o Parâmetro "Range Correction", digite o valor KOR no Parâmetro.
> 5 %	< 0,95 ou > 1,05	Desvios de alguns percentuais podem ser devido à entrada de informações técnicas erradas (por exemplo, inclinação da correia desconhecida, braços da alavanca) ou a falhas mecânicas (alinhamento, erro da tensão da correia).

4.4 VM – Verificação utilizando material

A verificação ou calibração usando pesos de aferição, nunca simula com perfeição as condições naturais de operação. Uma balança altamente precisa somente pode ser obtida por meio da aferição com material realizada não apenas uma vez, mas tantas vezes quantas forem necessárias dependendo de cada balança, do método utilizado.

A correção é executada usando o Parâmetro P 09.01 "Range Correction".

4.4.1 Pré-requisitos

- Toda área, desde a plataforma de pesagem até o ponto de coleta de material, deve estar totalmente limpa.

- Se houver rosca de alimentação ou transportadores de correia entre a plataforma e o ponto de coleta, deixe o sistema funcionando com material por aproximadamente 30 minutos antes de começar a medição de teste.
- Resíduos reduzidos ao mínimo.
- Tremonhas ou veículos transportando o material do ponto de coleta até uma balança comercial legal devem estar limpos e repesados antes do enchimento (peso tara).

4.4.2 Procedimento

Dentro de um determinado período de tempo, por exemplo, 15 minutos, passa pela balança uma quantidade real do material MW de 4,9 t. O valor do material MA exibido no DISOCONT é de 5,0 t. O novo valor do Parâmetro P 09.01 “Range Correction” é calculado usando a seguinte fórmula:

*Parâmetro P 09.01 (NOVO) = Parâmetro P 09.01 (ANTIGO) *MW / MA*

A figura 30 representa a verificação utilizando material.

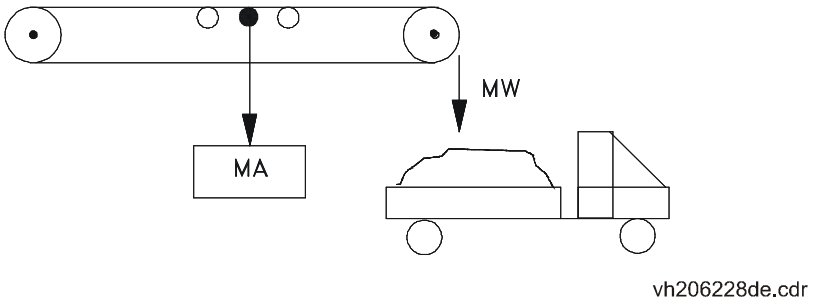

Figura 30 – Representação de verificação utilizando material

Fonte: Autoria própria

4.5 Nova calibração

Uma nova calibração deve ser executada quando:

- A célula de carga da dosadora for substituída.
- Quando for alterada a capacidade (t/h).
- Quando houver alteração de projeto da dosadora.

Fora estas situações, é recomendável aferir a dosadora em todas paradas programadas.

4.6 Fatores que influenciam a calibração

4.6.1 Junção da correia

Mesmo as melhores correias transportadoras nunca são completamente uniformes. A parte de junção da correia é mais dura e pesada que os resto. A figura abaixo mostra a variação da tara da balança em uma volta completa da correia. A figura 31 apresenta um gráfico que mostra a influência da correia na tara da balança.

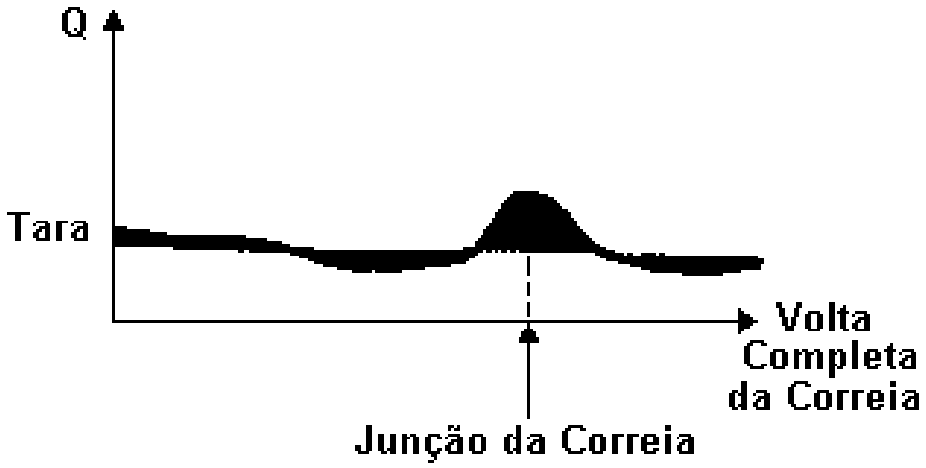

Figura 31 – Influência da junção da correia na pesagem

Fonte: Manual Schenck

4.6.2 Alinhamento

Os roletes da zona de influência devem ser elevados de 3 a 5 mm em relação aos roletes remanescentes e devem ser alinhados com uma diferença máxima de 0.4 mm de altura entre roletes. Um alinhamento incorreto causa um erro no ponto de tara, mas que é automaticamente compensado durante a calibração. As alterações na tensão da correia também aumentam a porcentagem do erro. Por esta razão, é necessário realizar um alinhamento correto e com uma tensão constante na correia, para garantir a precisão da pesagem. Os pontos onde os roletes devem ser alinhados são descritos na figura 32.

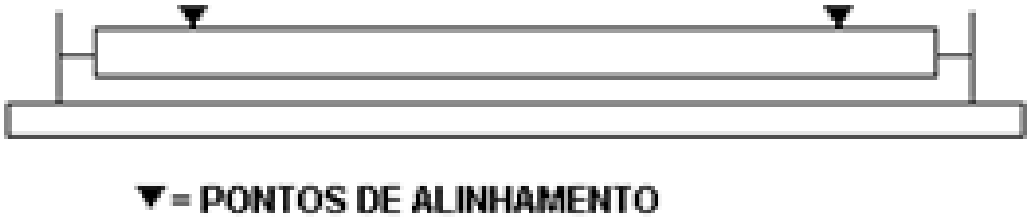

Figura 32 – Pontos de alinhamento dos roletes

Fonte: Manual Schenck

5 RESULTADOS

Após realizar as etapas Pulses/Belt e Tare da calibração da balança, foi realizado a etapa check weight(CW). A etapa CW é utilizada para verificar se a calibração da balança foi satisfatória e se a mesma pode iniciar a operação com confiabilidade dos valores medidos. A tabela 2 relaciona os valores lidos pela balança com o número do teste.

Tabela 2 – Resultados de medição

Medição	Peso Medido(kg)
1	5,03
2	5,03
3	5,03
4	5,04
5	5,03
6	5,02
7	5,02
8	5,02

Fonte: Autoria própria

Analisando estes resultados e se baseando na Tabela 1, pode-se perceber que a calibração da balança mostrou-se satisfatória. Após cada medição foi realizado novamente as etapas Pulses/Belt e Tare. Pode-se perceber que mesmo após reiniciar estes parâmetros a medição continuou em valores próximos, o que prova que a calibração foi bem-feita. Como a diferença entre o peso medido e o peso real é menor que 1%, não há interferências a ser realizadas na balança e pode-se considerar a calibração como encerrada.

Caso o peso medido indicasse um valor entre 1% e 5% do peso real a calibração também seria satisfatória, porém para o perfeito funcionamento da balança seria necessário adicionar esta diferença no parâmetro Range Correction do módulo Intecont.

Porém se o valor medido tivesse uma diferença maior que 5% do peso real, seria necessário verificar algumas montagens da balança a fim de reduzir esta diferença para no máximo 5%. As montagens a serem verificadas seriam: alinhamento dos roletes, alinhamento da balança, tensionamento da correia e funcionamento das células de carga.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados, pode-se concluir que a calibração da balança industrial de correia foi realizada corretamente, consequentemente não foi preciso adicionar nenhum parâmetro de correção ao módulo Intecont para o correto funcionamento da balança. Todo o processo de construção do equipamento, desde a montagem, até a calibração foi realizado segundo um alto padrão de qualidade e respeitando todas as normas técnicas vigentes no país, por isso o resultado da calibração foi bem adequado.

A escolha dos componentes utilizados também teve fundamental importância na confiabilidade do resultado, a célula de carga, o módulo de pesagem e o inversor de frequência foram adquiridos de empresas que lideram o mercado, cada uma em sua área.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste caso a calibração da balança dosadora de correia foi realizada utilizando um módulo eletrônico da empresa Schenck. Podemos considerar este módulo como uma caixa-preta, pelo fato de não conhecermos como é executada a eletrônica interior a ele. Sugere-se para trabalhos futuros que seja implementado um circuito eletrônico que possa realizar estas mesmas funções, ou seja, realizar uma engenharia reversa, de modo a simplificar e reduzir os custos de fabricação e montagem da balança.

Em relação ao controle de velocidade foi utilizado um inversor de frequência para controlar o motor, por ser o equipamento mais utilizado para este fim. Sugere-se a utilização de outros métodos de variação de velocidade a nível de teste, para que seja possível chegar a uma conclusão em relação a eficiência do motor e custo energético.

Ainda se sugere que sejam realizados testes com a balança em uma posição que não seja a horizontal para que se analise os efeitos gravitacionais e estude-se o fator de correção presente no módulo Intecont

ANEXOS

Anexo 1 – Lista de erros módulo Intecont

CÓD.	DESCRIÇÃO	TIPO	CAUSA	SOLUÇÃO
S1	**Erro de memória**	**A**	Perda de dados de parâmetros ou programa.	Recarregar os parâmetros originais e contactar **SCHENCK.**
S2	**Sem liberação**	**W2**	Chave de seleção local não está em automático ou o transporte fluidizado não está ligado ou a correia está desalinhada ou o motor está em sobrecarga.	Verificar qual é a causa e corrigir.
S3	**Aviso de manutenção mecânica**	**W1**	Correia virando há mais de 3000 horas.	Solicitar à Manutenção Mecânica uma verificação do estado da correia, roletes, lubrificação, etc.
S4	**Aviso de manutenção elétrica**	**W1**	Painel energizado há mais de 3000 horas.	Solicitar à Instrumentação que verifique o estado dos componentes elétricos e eletrônicos bem como suas conexões.
S5	**Pass word (senha) ativo**	**W2**	Foi entrado o password há menos de 30 segundos.	Não se preocupe.
S7	**Simulação ativa**	**W2**	Foi ativado o programa de simulação no menu de calibração.	Entrar no menu "CALIBRATION" procurar por "STOP SIMULATION" e pressionar "ENTER".
S8	**Setpoint limitado**	**W2**	Está sendo solicitada uma vazão maior que a capacidade nominal da máquina.	Se houver setpoint analógico verifique que a tensão no potenciômetro não ultrapasse 10V.
S9	**Falha na comunicação serial**	**IG**	Sem função atualmente	
E1	**Queda de energia**	**W1**	Houve uma queda de energia	Reconhecer a mensagem.
E2	**Curto circuito no tacogerador**	**A**	Cabo do sensor de rotação em curto, desconectado ou sensor com defeito.	Verificar a causa e sanar.

E4	**Curto circuito no sensor da correia**	**IG**	Sem função atualmente	
E5	**Em prontidão**	**W2**	Setpoint menor que 2% do nominal.	Aumentar o setpoint.
C1	**Falha na conexão da célula de carga**	**A**	Cabo da célula de carga com problema ou mal conectado.	Verifique as conecções da célula de carga ou o amplificador da mesma.
C2	**Falha na entrada do tacogerador**	**A**	Frequencia muito alta na entrada do tacogerador.	Verifique se não há ruído induzido pelo cabo do tacogerador.Verifique se a blindagem do cabo está devidamente aterrada.
C8	**Correia patinando**	**IG**	Sem função atualmente	
H1	**Vazão maior que máxima**	**W2**	Vazão ultrapassou o valor ajustado no parâmetro F05.	Verifique se há excesso de material na correia.
H2	**Carga na correia muito alta**	**W2**	Carga na correia ultrapassou o valor ajustado no parâmetro F09.	Ajuste a comporta na saída do shute de alimentação de forma a diminuir a altura da camada de material.
H3	**Velocidade da correia muito alta**	**W2**	Velocidade da correia ultrapassou o valor ajustado no parâmetro F13.	Verifique se há falta de material na correia.
H4	**Carga na célula de carga muito alta**	**A**	Célula de carga está sobrecarregada.	Verifique se a camada de material está muito alta ou se há alguma anormalidade na ponte de pesagem.
H5	**Desvio de regulação**	**W1**	Valor real diferente do valor desejado por um período maior que o ajustado no parâmetro R05.	Verifique se não há falta ou excesso de material ou se não há problemas com o conversor do motor da correia.
H6	**Limitação da saida do controlador**	**W2**	Sinal de saída para ajuste da velocidade da correia muito alto.	Verifique se há falta de material na correia ou se há algum problema com o conversor do motor.
H7	**Motor bloqueado**	**A**	Após 10 segundos de ter sido ligada a balança o tacogerador não havia enviado sinal de rotação do motor.	Verifique se a correia está travada,se há problemas no tacogerador ou no conversor.

H8	**Desalinhamento da correia**	**IG**	Sem função atualmente.	
H9	**Início de desalinhamento da correia**	**IG**	Sem função atualmente.	
L1	**Vazão muito baixa**	**W2**	Vazão menor que o valor ajustado no parâmetro F03.	Verifique se há falta de material na correia.
L2	**Carga na correia muito baixa**	**W2**	Carga na correia menor que o valor ajustado no parâmetro F07.	Verifique se há falta de material na correia ou ajuste a altura da comporta do shute de alimentação.
L3	**Velocidade da correia muito baixa**	**W2**	Velocidade da correia abaixo do valor ajustado no parâmetro F11.	Verifique se a carga na correia está muito alta ou se há problemas no tacogerador ou conversor.
L4	**Sinal da célula de carga muito baixo**	**A**	Carga sobre a célula de carga muito baixa.	Verifique se a trava de segurança da célula de carga está liberada ou se a ponte está travada por corpos estranhos.

Anexo 2 – Datasheet da célula de carga HBM Z6FC3

TIPO		Z6FD1				Z6FC3			
Classe de exatidão (OIML)		D1				C3			
Número máximo de divisões (nLC)		1000				3000			
Capacidade máxima nominal (E_{max})	kg	5	10	20	50	10	20	50	100
		100	200	500	1000	200	500	1000	
(V_{min})	% de C_N	0.0360				0.0090			
Sensitividade (C_N)	mV/V	2.0							
Tolerância de sensitividade	%	< +1; -0.1				< ± 0.05			
Efeito da temperatura sobre a sensitividade (TK_C)	%C_N/10K	< ± 0.0500				< ± 0.0080			
Efeito da temperatura sobre o balanceamento de zero (TK_0)	%C_N/10K	< ± 0.0500				< ± 0.0125			
Erro de linearidade (d_{lin})	%	< ± 0.0500				< ± 0.0180			
Erro de histerese (d_{hy})	%	< ± 0.0500				< ± 0.0170			
30 min. Creep/Drift	%	< ± 0.0490				< ± 0.0166			
Resistência elétrica de entrada (R_{LC})	Ω	350 - 480							
Resistência elétrica de saída (R_0)	Ω	356 ± 0.2				356 ± 0.12			
Tensão de referência de excitação (U_{ref})	V	5							
Voltagem máxima de excitação	V	5... 12							
Resistência de isolação (R_{is})	G Ω	> 5							
Faixa de temperatura nominal (B_T)	°C	de -10 a +40							
Faixa de temperatura de operação (B_{tu})	°C	de -30 a +70							
Faixa de temperatura de armazenamento (B_{tl})	°C	de -50 a +85							
Limite de carga de segurança (E_L) (Capacidade nominal)	% de C_N	150							
Sobrecarga de ruptura (E_d) (Capacidade nominal)	% de C_N	300							
Grau de proteção		IP67							

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- CARER, M.; CARRARO, E. (2010) Célula de carga. Disponível em: < http://hermes.ucs.br/ccet/demc/vjbrusam/inst/cel61.pdf >, acesso em 01/07/2015;

- HIBBELER, R.C. (2008) Resistência dos Materiais. 5 º ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall.;

- FIALHO, J. F. (1982) Extensômetros elétricos de resistência: descrição e técnica de medida. Lisboa;

- MANUAL SCHENCK. (1998) Intecont Plus: São Paulo;

- ALMEIDA, F.B. (Sem data) Segunda lei de Ohm. Disponível em: <http://www.mundoeducacao.com/fisica/segunda-lei-ohm.htm>, acesso em 01/07/2015;

- BRAGA N. C. (Sem data) Ponte de Wheatstone. Disponível em: < http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/instrumentacao/108-artigos-diversos/875-ponte-de-wheatstone-ins013>, acesso em 01/07/2015;

- Site HBM. Disponível em: <http://www.hbm.com/pt/0013/celulas-de-carga/>, acesso em 25/10/2015.