

## COMO SERÁ A BALANÇA PARA CORREIA TRANSPORTADORA NO FUTURO<sup>1</sup>

Julio Silveira<sup>2</sup>

### Resumo

Desde registro da primeira patente no início dos anos 1900 Balanças para correias transportadoras 1900, à mesma época dos primeiros automóveis, porém, se compararmos as duas invenções, enxergaremos que muito da tecnologia dos nossos dias esta incorporada nos automóveis de hoje e que, comparativamente, nada evoluiu nas atuais balanças para correias transportadoras. Cujos fluxos de projeto cresceram exponencialmente a valores hoje na ordem 20.000 T/h. Estas na linguagem de especialista em instrumentação são conhecidas como “instrumentos não confiáveis” As causas desta reputação são diversas, o desconhecimento do usuário das física neste medição, a necessidade inerente do processo de ajustes programados na calibração, a estratégia de mercado dos fabricantes que omitem informações importantes. Porem na pratica e’ a limitação do projeto da balanças que foram concebidos e continuam a ser tratadas desta forma, como se somente duas variáveis estáticas — peso e velocidade — devessem ser medidas, ignorando-se a complexidade e a necessidade de controle de uma terceira variável, dinâmica, associada: a tensão da correia. Este trabalho traz à discussão a deficiência dos sistemas de pesagem em correias transportadoras e apresenta sugestões de como torná-las mais confiáveis, assegurando sustentabilidade e novas definições sobre a precisão da medida.

**Palavras-chave:** Balança para correia transportadora.

### CONVEYOR BELT SCALE: THE NEXT GENERATION

### Abstract

Conveyor belt scale got his record as an invention back in early 1900, contemporary to the first automobiles. However if one compares the two inventions, one realizes that much of the today available technology is part of the car and almost nothing was built into the belt scale. The conveyor belt scales were still treated as if only two static variables, weight and speed, had to be measured, ignoring the complexity and the monitoring of a third, dynamic, variable: the belt tension. This work brings forward the discussion on the deficiency of the weighing system in regard to conveyor belts scale, contributing to the efforts of to making it more reliable, as to ensure sustainability and new definitions of measurement accuracy.

**Key words:** Conveyor belt scale.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 16º Seminário de Automação e TI industrial 18 a 21 de setembro em Belo horizonte –MG .*

<sup>2</sup> *Físico, sócio-gerente MS Instrumentos Industriais Ltda. Rio de Janeiro – Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Sem Pesar Bem Não se Controla

Balanças para correias transportadoras constituem um desafio atual para gerentes de produção/manutenção, que gostariam de executar com precisão um balanço entre a matéria prima do que entrou na produção e o que foi produzido.

Devido à complexidade de se obter e manter dados dentro de níveis aceitáveis de precisão e manutenção, rejeitam os custos de ser dono de “ineficientes” balanças para correias transportadoras e criticam a atuação das equipes de manutenção.

Ao persistir em empregar os mesmos métodos para adquirir e com as mesmas práticas de manutenção, gerentes esperam, com pouca lógica, que os resultados sejam diferentes. E assim vem fazendo nos últimos trinta anos.

A boa notícia é que, às balanças com tecnologia tradicional, deverão juntar-se novas tecnologias. As balanças “enxergarão” a tensão da correia (monitorando-a continuamente) — aquela que é a terceira variável, e a principal causa dos desvios na precisão da pesagem. Os novos integradores são mais amigáveis, interagindo melhor com o operador, e incluem funções de autodiagnóstico de precisão, indicando a necessidade de ajustes. Pontes de pesagens contrabalançadas, ou totalmente flutuantes, serão projetadas e fabricadas para o transportador considerando além da carga por metro também a tensão da correia, quer alterando a distância entre roletes quer aumentando o número de roletes sobre a ponte buscando uma relação ideal entre tensão e carga na balança. A aplicação específica definirá também a bitola da estrutura da ponte, e não mais serão produtos em série. O objetivo de projeto será aumentar o intervalo de tempo requerido entre as calibrações e testes mecânicos simples. Com auxílio de funções no integrador permitirão determinar o “erro como encontrado” auxiliando a determinar a frequência com que aquele conjunto específico deverá ajustar o zero/span.



**Figura 1.** Medição de tensão da correia.

*Sem medir bem não se controla bem.* Na realidade não se controla nada.

Para que o instrumento (balança) expresse com fidelidade o que estará ocorrendo no transportador fazem-se necessários:

- o entendimento correto do processo e das variáveis que deverão ser medidas;

- o conhecimento das diferentes tecnologias de ponte de pesagem e a seleção adequada para cada caso específico; e
- a seleção da melhor balança para correia no mercado adequada para o propósito da medição — o que não é uma tarefa simples, já que todas utilizam a mesma tecnologia e afirmam ter o melhor desempenho.

A análise de seleção entre os diversos provedores deverá favorecer aqueles que melhor dirimirem suas dúvidas quanto ao que vai ser apresentado neste artigo.

No futuro, a sustentabilidade da precisão — e não a precisão propriamente dita — será objeto das maiores considerações e as balanças devem responder, adequadamente, às variações físico-mecânicas no transportador, como a tensão da correia.

## 2 DISCUSSÃO

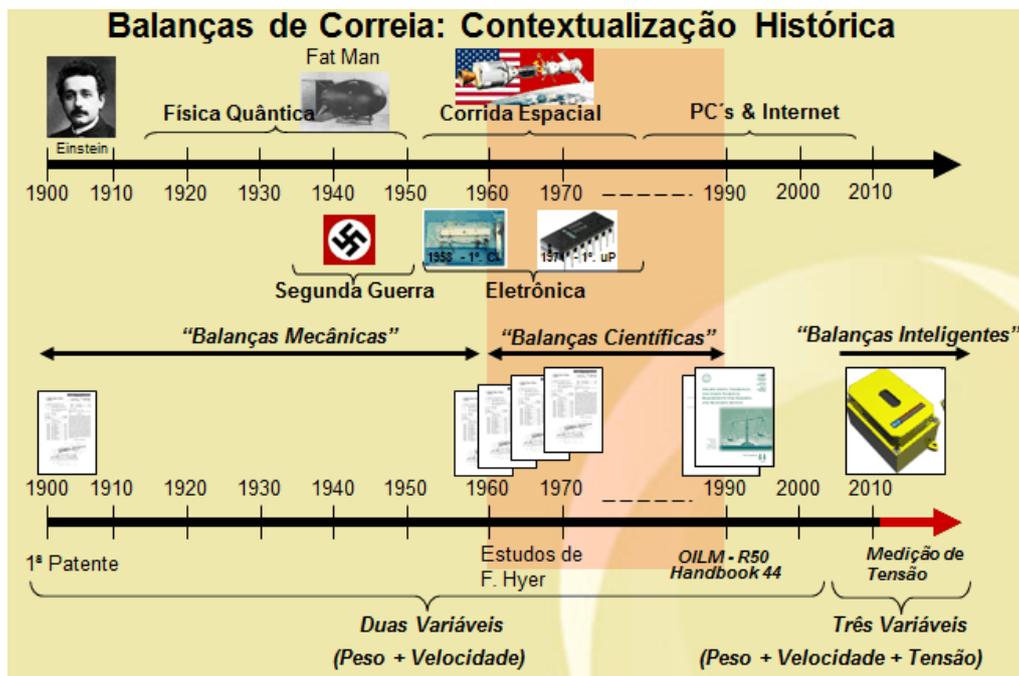


Figura 2

Para compreender as limitações do instrumento de pesagem e a origem dos problemas vivenciados por usuários, é necessário rever alguns conceitos:

- o projeto do transportador de correia e tensão efetiva;
- a tecnologia atual empregada no projeto das balanças para correias transportadoras;
- a medição da tensão da correia; e
- o projeto da balança para correia transportadora que está para chegar, com a nova tecnologia.

### 2.1 Compreendendo a Pesagem Dinâmica

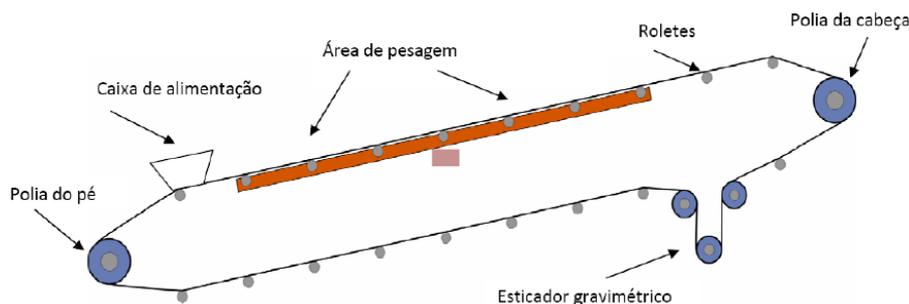
Embora não seja o objetivo deste artigo técnico, uma rápida visão do princípio de operação das balanças dinâmicas, ajudará a melhor compreender o seu conteúdo. Sensores são selecionados para permitir a solução prática da equação abaixo.

$P = Q \times V$  – o peso “P” transportado é igual ao produto da carga por unidade de comprimento Q no transportador multiplicado pela velocidade V do mesmo.  
Ou expressando na forma dimensional **Kg/s = Kg/m X m/s**

A integração desta expressão no tempo  $\int_0^t P dt$  informa o peso (total) acumulado no tempo t.

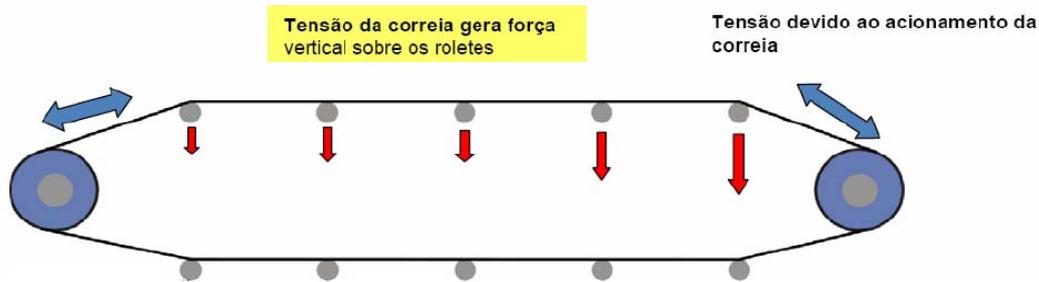
Assegurar a correta medição da carga por metro é função da ponte de pesagem, ela deve ser estável em “ambientes” onde algumas das forças envolvidas têm comportamento de variáveis dinâmicas.

## 2.2 Compreendendo o Transportador



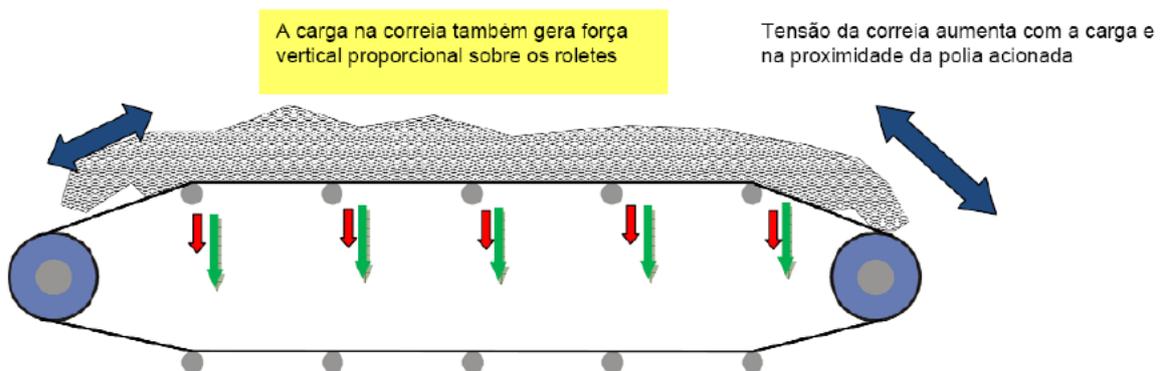
**Figura 3.** Transportador de correia com balança.

Forças verticais sobre os roletes são proporcionais à carga e à tensão da correia.



**Figura 4.** Força vertical sobre os roletes (indentação).

A força vertical, devido à tensão da correia, é somada à força devido à carga.



**Figura 5.** Forças verticais sobre os roletes (indentação e carga)

A tensão da correia não é uma variável estacionária.

Para muitos, o desalinhamento dos roletes é o responsável primário pelos erros da balança, mas é o seu efeito na tensão da correia, provocando uma variação na área de pesagem, que causa a operação inadequada da balança.

Manter os roletes alinhados requer esforços normalmente negligenciados pelo gerenciamento do transportador.

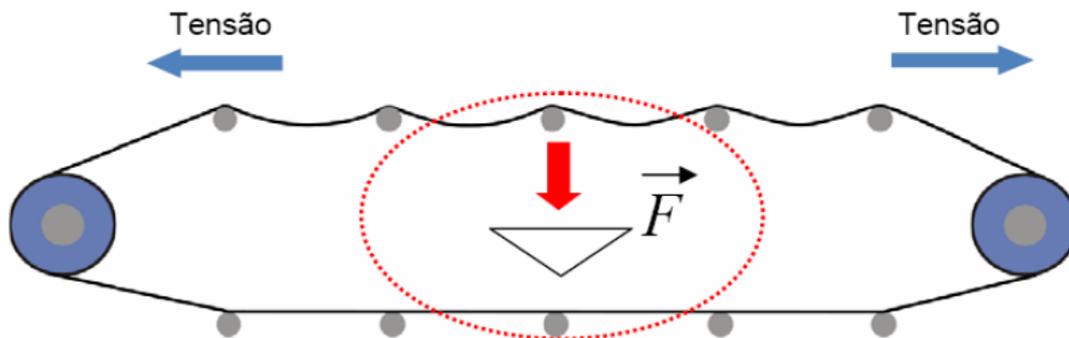


Figura 6. Tensão da Correia sobre os roletes.

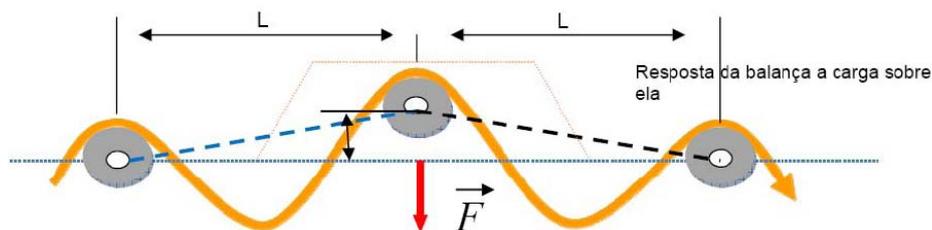


Figura 7. Desalinhamento dos roletes.

Não é somente o desalinhamento horizontal que ocasiona variação na tensão da correia, o desalinhamento no ângulo de 90° formado pelos roletes com a correia aumenta em muito a tensão da correia.

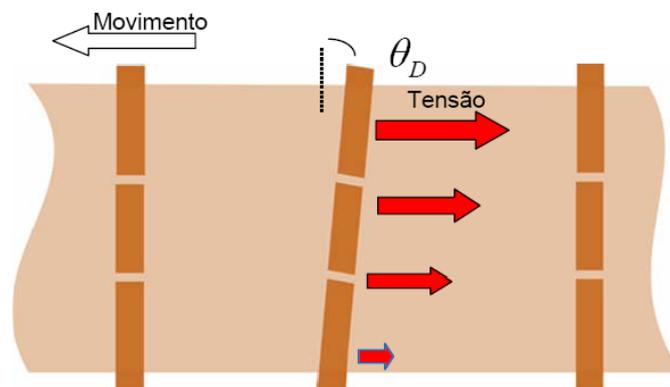


Figura 8. Desalinhamento do ângulo de 90°.

Cálculo da Tensão em um Transportador:

$$T_E = LK_T (K_X + K_Y W_B + 0.015W_B) + W_M (LK_Y \pm H) + T_P + T_{AM} + T_{AC}$$

TAC: Total das tensões provenientes dos componentes no transportador

KX : Fator usado para calcular a resistência fricção dos roletes e a resistência para deslizamento da correia sobre os rolos.

Ky: Fator dinâmico usado para calcular a combinação da resistência tanto da correia quanto da carga de mudar sua forma quando se move sobre o rolete.

KT: Fator de correção para temperatura ambiente.

H: Distância vertical que o material é levantado ou abaixado ft.

L:: Comprimento do transportador, ft.

TAM: Tensão resultante da força para acelerar continuamente o material após o momento da alimentação lbs.

TB: Tensão resultante da força para elevar ou (abaixar) a correia, lbs.

WB: Peso da correia em lbs/m

WM: Peso do material em, lbs / f no comprimento da correia

Cálculo da Força de indentação

O efeito de uma força deformando um corpo (reduzindo sua espessura) é conhecido por “indentação” unidade de medição da dureza do material é expressa em microns. A “indentação” ocorre quando a correia movimentada o rolete ao passar por ele e gera uma força vertical sobre o mesmo.



Figura 9. Atrito.

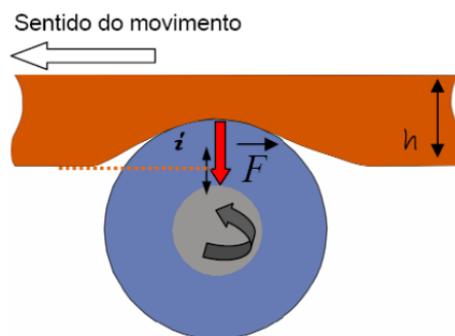


Figura 10. Indentação.

Em um transportador, esse efeito responde (pelo consumo) de mais de 60% da energia utilizada para fazer a correia e a carga movimentarem-se.

A força  $F$  gerada na vertical é calculada como abaixo:

$$F_{vertical} = w \left( \frac{16E}{9} \right) \left( \frac{i^{3/2} D^{1/2}}{h} \right)$$

$E$  = momento elástico da correia;  $i$  = indentação;  $D$  = diâmetro do rolete;  $h$  = espessura da correia;  $W$  = velocidade angular do rolete.

Uma simples visão destas variáveis mostra que esta força está variando ao longo do tempo, devido a fadigas e desgastes naturais.

Observe a seguir o diagrama de operação de todas as balanças eletromecânicas em operação, desde o registro de sua invenção em 1903.

Modelo matemático proposto para forças sobre o sensor de peso

$$F = F^1(Q,L) + F^2(T,D) + F^3(K)$$

Onde  $F$  (força) representa o peso transmitido pela ponte para o sensor é igual a soma vetorial de  $F^1, F^2, F^3$ ; por sua vez cada uma destas forças é função de:

$Q$  = carga sobre a ponte de pesagem

$L$  = distância entre roletes

$T$  = tensão na correia

$D$  = desalinhamento dos roletes

$K$  = rigidez da correia.

O primeiro componente da força  $F^1(Q,L)$  é a medição de peso da carga, as outras duas representam o ruído na medição, variações nos sinais dos ruídos são os erros na pesagem.

A representação gráfica abaixo ilustra o equipamento no estado da arte atual:

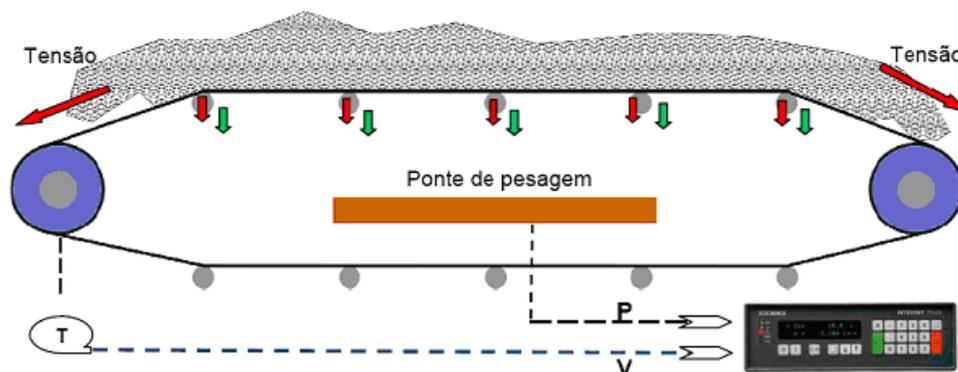


Figura 10. Diagrama de operação de balança eletromecânica.

Uma rápida análise mostra que a variável peso informada é, na verdade, a soma dos vetores  $F_1$  (carga) e  $F_2$  (tensão). Se cuidados não forem tomados, com o tempo a resposta da balança ficará comprometida.

Em uma CT (correia transportadora) com boas práticas de manutenção, o comportamento, no tempo, da precisão de pesagem esperado é função do número de roletes sobre a ponte de pesagem.

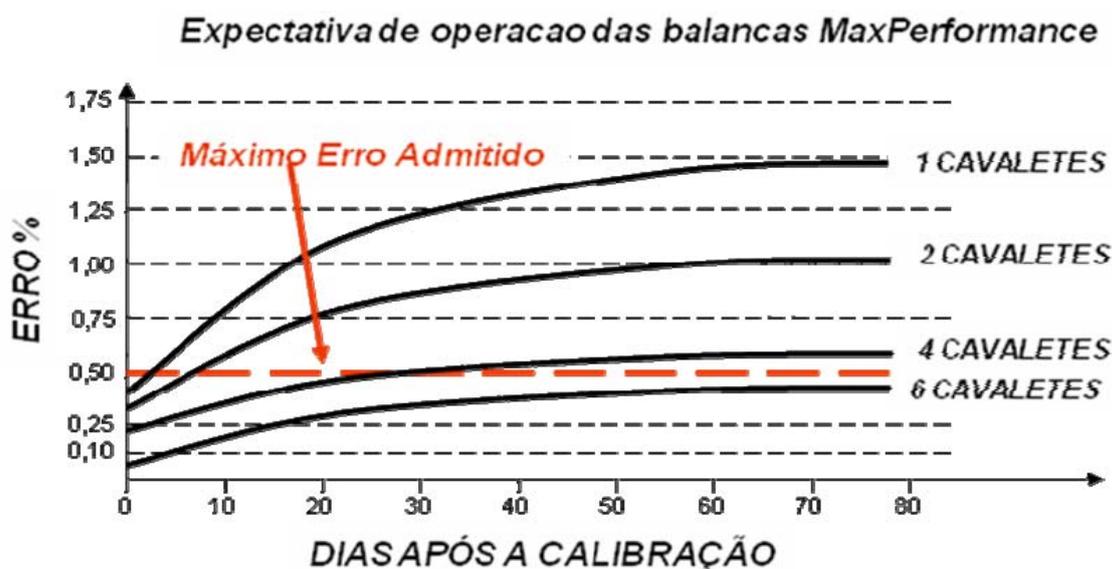


Figura 11. Gráfico de expectativa de operação.

Há imprevistos com o comportamento da tensão da correia que não afetam, por assim dizer, o funcionamento da correia, alterando, no entanto, a precisão da balança.

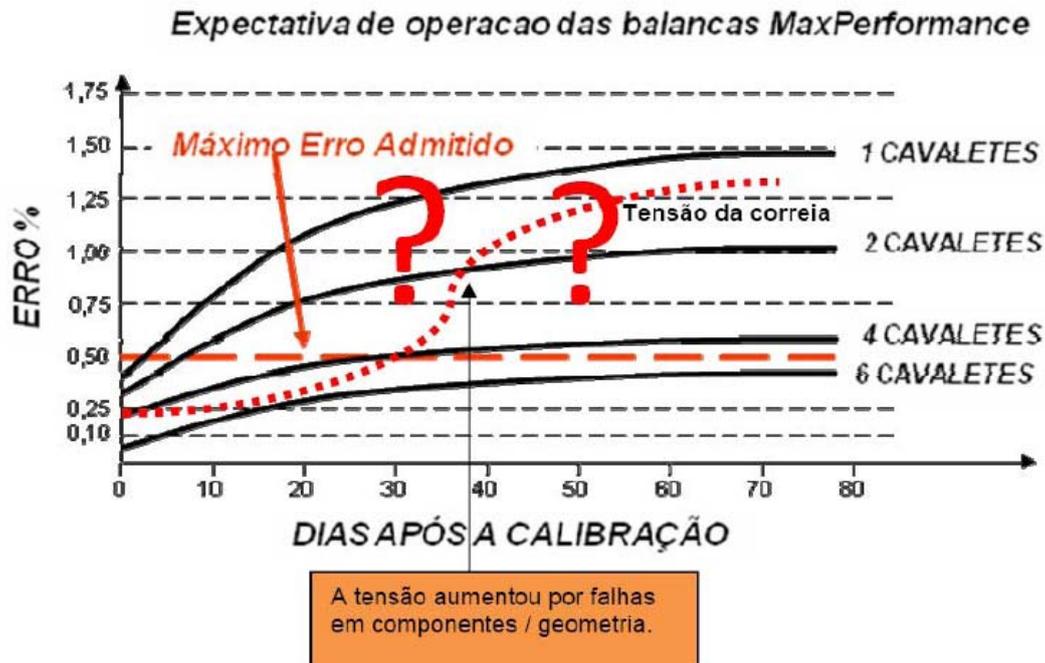


Figura 12. Gráfico da tensão aumentada.

O que vem sendo feito e o que pode ser feito:

- os usuários e fabricantes estão conversando mais sobre a importância da sustentabilidade da precisão;
- os fabricantes estão conscientizando aos usuários de que deve haver maior número de roletes sobre a ponte de pesagem e maior cuidado com os roletes na área de pesagem para garantir melhor sustentabilidade da precisão;
- o usuário está sendo mais bem informado de que um mesmo modelo de balança pode dar resultados muito diferentes, quando instalados em diferentes pontos do transportador e/ou em diferentes transportadores.

Mas, isto pode não ser o suficiente. Precisamos explorar melhor os recursos tecnológicos de hoje em dia para trazer este importante instrumento para o padrão de satisfação de usuário, semelhante ao de diversos outros instrumentos.

Mudar a configuração original das balanças introduzindo um medidor de tensão.

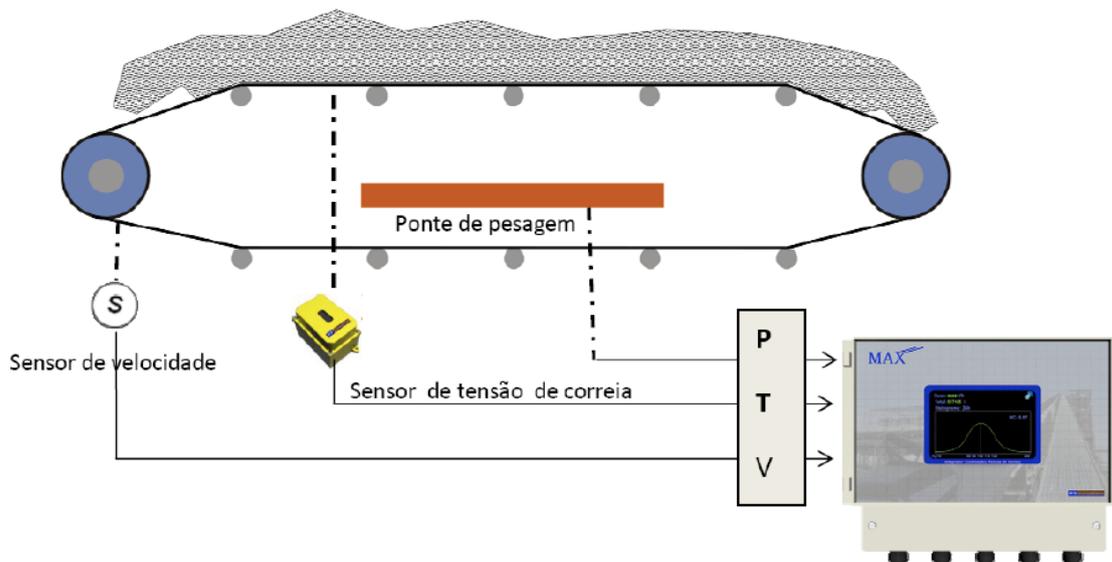


Figura 13. Configuração com inclusão do medidor de tensão.

A terceira variável, a tensão da correia, por ser uma variável dinâmica deve ser medida em tempo real e o seu resultado deve ao menos indicar que a relação peso (carga)/tensão de correia mudou, permitindo assim ao usuário tomar ações proativas e controles administrativos.

Usando a tecnologia do iPhone para tornar o display interativo com o usuário. Inovações na interface homem / máquina conhecida por “Integrador”.



Figura 14. Display Interativo.

- Display Touchscreen - Permite ao operador interagir com as informações disponíveis, navegando pelas telas como se faz com os iPhones, eliminando virtualmente a necessidade do uso de manuais complexos com exagerado número de passos e códigos. Estas telas devem servir a ele da mesma forma que o painel de um equipamento rodante onde as condições com que o motor está funcionando estão permanentemente indicadas; por exemplo temperatura, rotação, etc ...
- Visualização além do fluxo e total (1) – A velocidade, a carga por metro, a data da calibração e a data prevista para próxima calibração, darão ao operador, informações qualitativas sobre o desempenho da balança. Entre outras, uma

informação com diferença acentuada entre a velocidade normal de operação e a velocidade indicada será motivo de investigação.

- Determinação do intervalo de tempo entre ajuste na calibração (2) – Ferramentas estatísticas permitem prever a data em que novos ajustes de calibração se farão necessárias, em função da curva de desvio da medição (específica de cada conjunto transportador/balança). Os dados de “erros como encontrados” formam o universo de números a serem computados, buscando a conformidade às normas ISO/IEC 17025.
- Visualização da tensão da correia (3) – Permite ao técnico de manutenção verificar se as condições da tensão mantêm-se de acordo com as obtidas quando da calibração da balança. Desta forma, é possível avaliar as condições mecânicas dos elementos que compõem o transportador, controlando o consumo de energia por tonelada transportada e prolongar a vida útil da correia transportadora.
- Histograma – Uma balança tem sua precisão de projeto quando o fluxo encontra-se entre 35 e 100% do valor nominal de projeto. O histograma permite a avaliação do grau de confiabilidade com que a pesagem é realizada durante a operação do equipamento, além de indicar as condições de variação, servindo de instrumento de diagnóstico de carga da correia e da variação de fluxo.
- Média Móvel – Para processos onde o fluxo e a granulometria do material transportado apresentem considerável variação, essa ferramenta proporciona uma visão mais fiel do comportamento ao rejeitar interferências abruptas nas medidas.

## Funções Adicionais – Multifuncionalidade

- Desgaste da correia – Permite a avaliação e o planejamento da manutenção, indicando a substituição da correia antes que falha ocorra. Essa ferramenta também possibilita uma melhor precisão em calibrações tipo “corte de material de seção da correia”.
- Prevenir/Detectar rasgo de correia – O uso de instrumentos matemáticos adequados aplicados aos sinais da balança permitirá o diagnóstico precoce de rasgos ocorridos ou iminentes.

## Projeto Mecânico da Balança

- Considera além da carga por metro, a tensão da correia no ponto de instalação da balança

Existe um modelo de ponte de pesagem ideal para cada aplicação. Materiais de baixa densidade, fluxo nos transportadores intermitentes (paradas frequentes ou alimentação irregular), layout de transportador gerando altas tensões de correia etc...

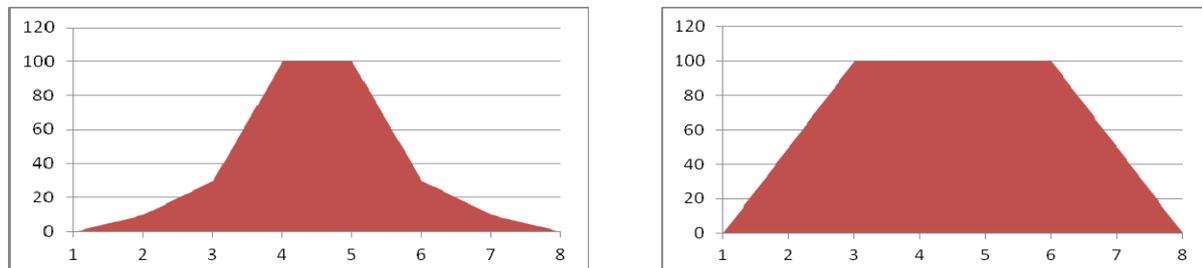
Há uma relação ótima entre tensão de correia e carga sobre a ponte de pesagem, isto permite uma melhor repetibilidade da forma geométrica (do volume) integrado. Essa relação sempre é prejudicada quando o material apresenta baixa densidade, subdimensionamento do transportador ou a tensão da correia for muito alta.

O projeto individualizado da ponte e/ou o integrador inteligente passarão a ser ferramentas adequadas para solucionar o problema.

Recursos de aumentar sobre a ponte a distância entre roletes, aumentar o número de roletes sobre a ponte, alterar a rigidez mecânica da estrutura da ponte serão utilizados com maior frequência entre os fabricantes no futuro.

A tensão da correia e o desalinhamento dos roletes influenciam diretamente na mudança da forma geométrica do volume de material integrado no tempo para informar o fluxo e o total.

Os dois principais tipos de ponte de pesagem integram volumes com forma geométrica abaixo



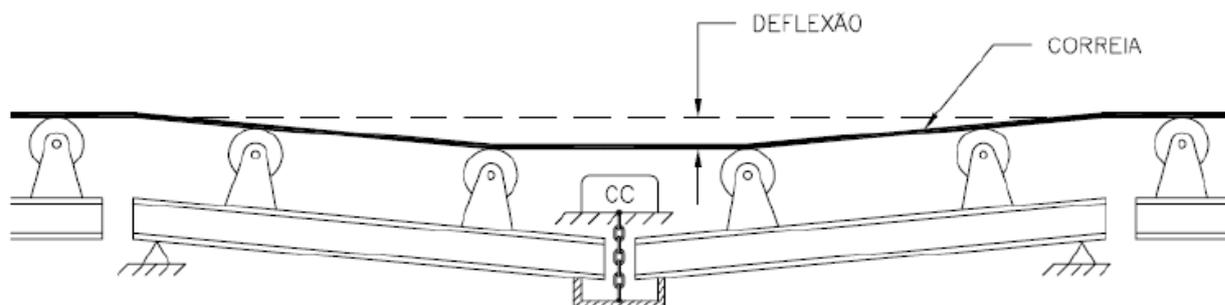
**Figura 15.** A esquerda um ponte de pesagem tipo aproximação afastamento contrabalançada  
**Figura 16.** A direita uma ponte de pesagem pivotada ou de flutuação livre.

## 2.3 Um Projeto Em Particular – Ponte Tipo Aproximação Afastamento Contrabalançada

A Ponte de pesagem tipo contrabalançada aproximação-afastamento.

Com menor sensibilidade ao peso na aproximação e afastamento da carga ela faz com que seja reduzido o efeito inerente a mudanças no volume integrado, na área de aproximação e afastamento, onde em geral ocorrem mudanças na forma geométrica (volume integrado) da carga.

Por outro lado, maximiza a utilização da faixa dinâmica da célula de carga, permite que até 90% da faixa responda somente à variação da carga de material sobre o transportador e descarta a influência do peso morto (correia + estrutura Mecânica) sobre o elemento sensor de peso, reduzindo, assim o ruído na pesagem.



**Figura 17.** Ponte com 4 cavaletes aproximação / afastamento.

As pontes de pesagem em geral integram no tempo, volumes com forma de paralelogramos, cuja base inferior tem o comprimento que inicia e termina no ponto médio entre os roletes de pesagem e os roletes adjacentes, a base superior inicia e acaba sobre os roletes de pesagens, no caso em particular, a base superior é formada somente sobre os roletes diretamente sobre a célula de carga, formando um ângulo agudo entre as bases. Por isto considera-se que a ponte de pesagem contrabalançada tipo aproximação/afastamento com pivô (ou flexura), são menos sensíveis ao efeito negativo do desalinhamento dos roletes na área de pesagem, quando comparado com os outros tipos.

Pontes de pesagem com opções de diferentes números de roletes (quatro ou seis) sobre a área de pesagem, serão a preferência para assegurar maior tempo de sustentação da precisão, ou menor frequência de paradas para ajustes de calibração. Veja abaixo a comparação entre as condições de operação de uma balança pesando minério de ferro e outra pesando cavacos de madeira:

### 100 T/h de cavaco

Densidade linear carga	= 23.1 Kg/m
Largura	= 1000 mm
Velocidade	= 1,2 m/s
Peso da correia	= 15.3 Kg/m
Tensão na correia	= 1.000 Kg (transportador com 100m, inclinação 8 graus)



Figura 18. Balança pesando cavaco de madeira.

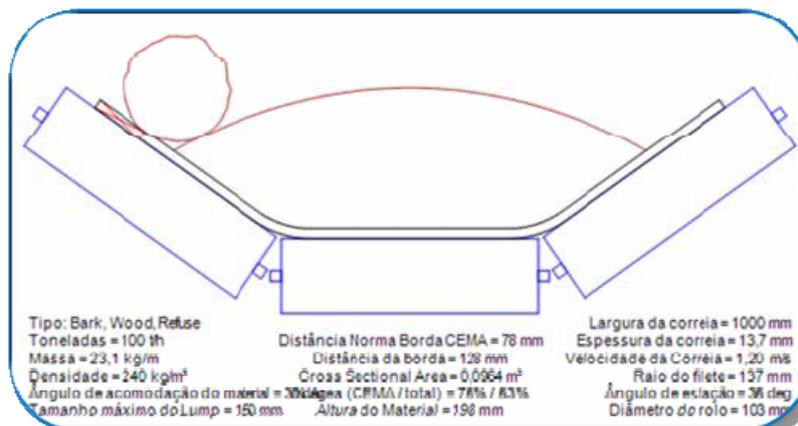


Figura 19. Condição de operação da ponte de pesagem com cavaco.

### 100 T/h de Minério de ferro

Densidade linear carga	= 27.8 Kg/m
Largura	= 400 mm
Velocidade	= 1 m/s
Peso da correia	= 7.1 Kg/m
Tensão na correia	= 1.000 Kg (transportador com 100m, inclinação 8 graus)



Figura 20. Balança pesando minério de ferro.

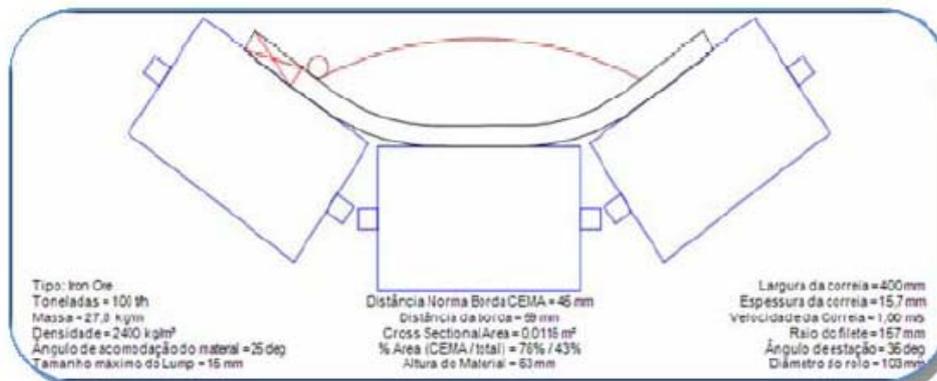


Figura 21. Condição de operação da ponte de pesagem com minério de ferro.

Em ambos os casos, a densidade de carga e a tensão são equivalentes, mas a relação entre densidade de carga e peso da correia é desigual (1,5 e 4, respectivamente). Como o peso da correia tem variações de +/- 7% no seu comprimento, o erro na pesagem do cavaco é significativo quando o fluxo na correia for inferior a 35% do fluxo nominal do projeto.

### 3 CONCLUSÃO

Sempre haverá alguém buscando fazer melhor. Somando-se o conhecimento adquirido às novas informações, podemos afirmar que as novas balanças para correias transportadoras trarão muito mais satisfação aos seus usuários.

Para que isto ocorra, a responsabilidade pela aquisição das balanças para correias transportadoras e os critérios adotados para definição do fornecedor precisarão ser revistos. A reputação, não mais deverá ser o principal critério de seleção, uma vez que esta foi construída levando-se em conta o “menos ruim” e não “o melhor”.

Até que uma nova mentalidade seja formada, devido a forma como nossas idéias sobre balanças para correias foram (des)construída com tabus, tipo se preocupar com a excentricidade dos rolos ou o uso de correntes de calibração, ou que a balança de determinada fabricante é melhor, quanto maior número de células de carga na ponte de pesagem maior a precisão da balança, seremos forçados a constatar que a prática atual — caracterizada por delegar a terceiros a responsabilidade da aquisição, deixando com o fabricante do transportador a decisão de compra da balança, e estabelecendo somente a precisão desejada, sem

considerar a relação tensão carga sobre a ponte, ou seja predefinindo o modelo de ponte de pesagem e o número de cavaletes sobre a ponte ou analisar o ponto de sua instalação — significará, como diz a sabedoria popular, “comprar problemas”.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 WASHINGTON D.C., Terms and definition for the weighing industry Scales manufacturing association inc,
- 2 JENSEN M W e SMITH R. W. Weighing Bulk material in the process Industry Chemical engineering , 03/1973
- 3 HENDRIK, C. Belt Scale. TT publication : 1975.
- 4 BURREL, IAN. Belt Scales and OIML R50, Clearing the way for progress. National Weighing and sampling association, technical meeting : Fevereiro 2010.
- 5 RATIONAL KINEMETICAL design of belt weigher load recipe device. PHD dissertation, Spec 05.05.06 . Karaganda, Casaquistão : 1994.
- 6 SILVEIRA, J. A new (and simple) method to continuous monitoring the belt tension and track the performance of the conveyor belt scale. 2011 SME, annual meeting Denver : Fevereiro 2011.