



## PROTOTIPAGEM DE SISTEMA DE PESAGEM DINÂMICA INDUSTRIAL

Ualas Franclim Castro dos Santos\*<sup>1</sup>, Lúcio Rogério Júnior<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UNIUBE - Universidade de Uberaba

\*ualasfranclim@gmail.com

**Resumo** - Rapidez e precisão são fatores cada vez mais importantes em processos industriais, tornando sistemas de pesagem dinâmica ideais para suprir estas necessidades. Com o aumento da complexidade da produção e o constante desejo de reduzir custos, ocorre uma necessidade crescente no desenvolvimento de sistemas cada vez mais rápidos e muito mais precisos. Sistema de pesagem dinâmica trata-se de equipamentos capazes de realizar a verificação de peso de produtos em uma linha industrial sem interrupção de seu processo, permitindo a realização da pesagem de produtos de forma contínua e em um curto prazo de tempo. Este artigo teve como objetivo apresentar as características básicas de um sistema de pesagem dinâmica, relatando seus principais atributos e apresentando o desenvolvimento e a construção de um protótipo de pequena escala. Com o desenvolvimento do protótipo foi possível demonstrar a criação de um sistema de pesagem dinâmica de baixo custo, operação simples, com recursos tecnológicos de fácil acesso comercial e ainda com a possibilidade de aprimorá-lo para atender as necessidades de um produto para o mercado.

**Palavras-Chave** – Pesagem dinâmica, Esteira transportadora, Célula de carga.

### PROTOTYPE OF INDUSTRIAL DYNAMIC WEIGHING SYSTEM

**Abstract** - Speed and precision are increasingly important factors in industrial processes, making dynamic weighing systems ideal to meet these needs. With the increasing complexity of production and the constant desire to reduce costs, there is a growing need to develop ever faster and much more accurate systems. Dynamic weighing systems are capable of checking the weight of products in industrial process lines, without interrupting their process, allowing the weighing of products to be carried out continuously and in a short period of time. This article aimed to present the basic characteristics of a dynamic weighing system, reporting its main attributes and presenting the development and construction of a small-scale prototype. With the development of the prototype, it was possible to demonstrate the creation of a dynamic weighing system of low cost, simple operation, with technological resources of easy commercial access and also

with the possibility of improving it to meet the needs of a product for the market.

**Keywords** - Conveyor belt, Dynamic weighing, Load Cell.

### I. INTRODUÇÃO

Para poder oferecer produtos de melhor aceitação em um mercado competitivo, as empresas normalmente necessitam implementar medidas aos quais permitam se destacar. Nisto, inovações em processos são geralmente utilizadas para obter melhoria em produtos aumentando assim essa aceitação no mercado. Em linhas de produção onde o peso do produto é um fator importante, adquiri-lo com precisão e rapidez acaba sendo um determinante crucial [1].

Em produções onde a demanda é extremamente alta, o quesito rapidez muitas vezes pode comprometer seu processo [2], principalmente quando se faz necessário obter alguma medida de cada produto separadamente como acontece nos processos de pesagem.

Sistemas de pesagem dinâmica possuem como objetivo suprir esta necessidade de tempo e precisão em grandes linhas de produção. A principal característica deste sistema é a aquisição do peso do produto sem a interrupção do fluxo de produção, permitindo assim um melhor rendimento no tempo de produção [3].

De acordo com [1] e [2], em métodos de pesagem tradicionais, a eficiência torna-se muito baixa devido ao fato de se adquirir o peso de cada produto manualmente em balanças simples, sendo esta uma atividade realizada separada da linha automatizada. Em produções de alta demanda este método tradicional de pesagem exige uma grande quantidade de mão-de-obra para conseguir suprir em tempo hábil a verificação de peso.

No sistema de pesagem dinâmica, estes problemas são suprimidos principalmente por suas características de pesagem sem interrupção do fluxo do processo e por ser totalmente automatizado, eliminando assim custos de mão-de-obra adicionais. Este método, pode ser implementado nos mais variados modelos de estruturas, conseguindo ser projetado para operar em esteiras, nóreas, trilhos, entre outros [1].

A aquisição de peso executada pelo sistema de pesagem dinâmica permite integrar ao processo etapas que trabalharão de acordo com os dados fornecidos, como por exemplo a segregação por faixa de peso, rejeição por peso inadequado,

impressão de peso no produto, entre outras medidas automáticas [3].

Por se tratar de um sistema totalmente automatizado pode-se implementar funções não diretamente ligadas à produção, como a comunicação com um banco de dados onde serão armazenados os valores adquiridos dos produtos, permitindo a geração de um histórico que poderá ser apresentado como quantidade de produção, tornando-se não somente um equipamento para melhoria da produção como também um novo fornecedor de dados para setores administrativos [4].

Por isto, sistemas de pesagem dinâmica tornam-se grandes ferramentas de eficiência em processos de produção permitindo agregar melhor rapidez e precisão ao processo. Esta eficiência associada à fabricação pode muito ajudar nos custos de produção possibilitando o oferecimento de produtos ao mercado com preços melhores que por consequência propicia uma aceitação maior por parte dos consumidores.

A concepção deste trabalho busca apresentar as etapas de desenvolvimento e construção de um equipamento capaz de realizar o processo de pesagem dinâmica, utilizando recursos tecnológicos de baixo custo e bem difundidos no meio técnico.

Os princípios básicos de pesagem dinâmica utilizados neste trabalho, poderão ser utilizados na construção de equipamentos de processos industriais. Desta forma, os conceitos apresentados no projeto desenvolvido, não possuem um direcionamento para um tipo de produção específica, pretendendo-se assim serem atribuídos com facilidade a qualquer tipo de processo onde necessite a verificação de peso em grande quantidade com o menor tempo possível.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da parte mecânica deste projeto foi escolhido o modelo de esteiras com lonas transportadoras. Este modelo de sistema será composto por três tipos de esteiras, em que cada uma possui uma finalidade específica, sendo denominadas: esteira de alimentação, de pesagem e de saída.

A esteira de alimentação encontra-se na primeira etapa do sistema e possui a função de estabilizar e enviar o produto a ser medido para a etapa de pesagem. Como segunda etapa do sistema, a esteira de pesagem encarrega-se de adquirir o peso do produto em questão. Por último, a esteira de saída possui a função da retirada do produto da saída, enviando para processos subsequentes. A ordenação deste sistema pode ser visualizada pela figura 1.

### A. Estrutura física

A elaboração estrutural das esteiras foi realizada procurando ater-se em uma maior similaridade entre suas peças, permitindo que, além de serem intercambiáveis, o trabalho de seu planejamento fosse mais simples. Desta maneira, foi estabelecido que as esteiras de alimentação e saída possuíssem a mesma estrutura e que a esteira de pesagem fosse diferente somente na acoplagem com o segmento de transporte, permitindo a inclusão da célula de carga.

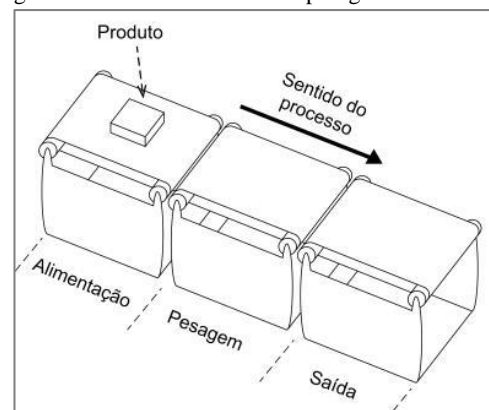
Grande parte da elaboração das estruturas foi direcionada a adequar-se às necessidades dos componentes principais, especialmente àqueles que não permitem ajustes

significativos, como os motores, por exemplo. Para o transporte do objeto pela esteira foi determinado o uso de lona do tipo cinta fechada na qual envolve o segmento de transporte, sendo ela tensionada por roletes nas extremidades.

O segmento de transporte da esteira foi dividido em duas partes, estando cada um dos dois roletes ligados a uma destas partes, tendo o tensionamento da lona executado a partir do afastamento destas. Um destes roletes de transporte da esteira foi fixado diretamente ao eixo do motor, sendo esta ligação realizada por intermédio de um acoplador flexível.

A determinação para o uso de um acoplador flexível ocorreu para permitir uma certa tolerância no desalinhamento entre os eixos do motor e do rolete da esteira, sem comprometer o torque para movimentação de objetos quando transportados.

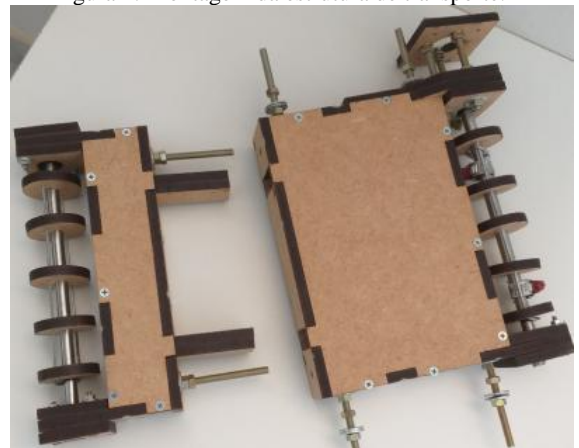
Figura 1: Esteiras do sistema de pesagem dinâmica



Após as definições destes parâmetros, foi iniciado o dimensionamento da estrutura da esteira como também suas peças. O material escolhido para confecção da estrutura foi o MDF, devido a facilidade em seu manuseio e corte, sua leveza e principalmente em seu baixo custo (Figura 2).

Para a realização do desenho foi utilizado o programa Adobe Illustrator, o qual permite ser utilizado diretamente em máquinas para a execução de cortes em MDF. Com os cortes realizados, foi iniciada a montagem das peças sendo ainda necessário alguns ajustes como furações para parafusos e fixações para ajustes de encaixe.

Figura 2: Montagem da estrutura de transporte.



## B. Parte Eletrônica

Procurando promover a movimentação dos objetos pelas esteiras, foi determinado um modelo de motor ao qual suprisse as necessidades de torque, possibilidade de controle de velocidade e que oferecesse menor vibração à estrutura da esteira durante seu funcionamento. O motor escolhido para o projeto foi o comumente conhecido por NEMA 17, de código STP-42D2117. Por se tratar de um motor de passo, permite controle adequado de velocidade, além das demais características citadas.

No acionamento dos motores das esteiras, foi escolhido o módulo de controle A4988. Este modelo de driver possui uma série de funções características do próprio componente, fator que auxilia tanto no controle dos motores quanto na menor complexidade da elaboração do projeto.

Com auxílio deste módulo, pode-se obter o controle de velocidade através da quantidade de pulsos recebidos por um único sinal de entrada, facilitando o circuito de acionamento das esteiras. Outra grande vantagem oferecida por este driver é a possibilidade de suavização das transições entre os passos, podendo estes serem divididos por uma resolução de micropassos de até 1/16 [5].

Este atributo disponível pelo driver contribui para o projeto em uma maior suavização da rotação, permitindo o funcionamento do motor com uma menor vibração oferecida à estrutura da esteira. Durante os testes, os drivers apresentaram grande aquecimento, necessitando ser adicionado dissipadores de calor e ventilação constante.

Para a aquisição de peso do material a ser medido pela esteira foi adotada uma célula de carga por extensômetro de folhas. Esta célula de carga é acoplada à esteira de pesagem servindo de base para a estrutura de movimentação das lonas de transporte (Figura 3). Este componente trata-se de um dos mais críticos para este sistema pois absorve qualquer espécie de vibração ao qual seja submetido. Caso as vibrações indesejadas não sejam eliminadas significativamente, poderá ocorrer erros no valor de pesagem apresentados pelo sistema.

Figura 3: Célula de carga acoplada à estrutura da esteira.



Como o sinal fornecido pela célula de carga encontra-se em valores muito baixos para serem trabalhados, torna-se necessário sua amplificação. Após muitos testes, foi adotado um circuito de amplificação de sinal com amplificadores operacionais, sendo utilizado um amplificador de instrumentação.

De acordo com [6], um amplificador de instrumentação é ideal para pequenos sinais, por possuir um ganho unitário em modo comum, grande imunidade a ruídos e ao ganho de

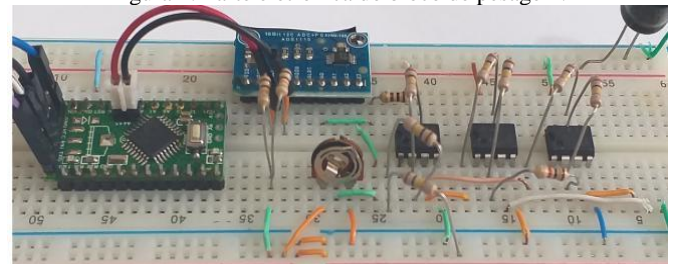
tensão. Desta forma, foram utilizados três amplificadores operacionais LM741, possibilitando construir um circuito de condicionamento de sinal de forma simples e com baixo custo.

Com o sinal fornecido pela célula de carga já amplificado, é feita a conversão deste sinal analógico para um valor digital equivalente. Apesar de estar sendo utilizado neste projeto microcontroladores que possuem propriedades de leitura de sinais analógicos, os mesmos não disponibilizam resolução suficientemente adequada para a precisão do valor de peso desejada. Por este motivo, fez-se necessária a obtenção de uma etapa própria para a conversão do sinal analógico fornecido pela célula de carga para um sinal digital equivalente.

Para este propósito foi adotado o conversor ADS1115. Este conversor possui uma resolução de 16 bits, podendo fornecer até 860 amostras por segundo. A aquisição dos valores medidos pelo conversor consegue-se a partir da comunicação I<sup>2</sup>C (Serial Communication Protocol – Inter-Integrated Circuit), permitindo também ser configurado através de software, possibilitando alterações de suas propriedades mesmo durante a operação [7].

A aquisição do sinal foi testada em dois modos. O primeiro modo foi com a entrada negativa de sinal do conversor A/D conectada diretamente ao negativo da fonte. Apesar de utilizável, o range entre o peso zero (sem amostra de peso) e o peso máximo apresentou um valor muito pequeno, diminuindo a possibilidade de precisão do peso. Como segunda medida, foi adotado um divisor de tensão na entrada negativa do conversor através de um potenciômetro. Esta configuração permitiu o ajuste do valor de referência do peso zero pela alteração do potenciômetro. Deste modo, foi possível aumentar o ganho do sinal, que conseqüentemente melhorou a resolução do sinal de peso a ser trabalhado. A montagem em protoboard do conjunto durante os testes de bancada pode ser visto na Figura 4, mostrada a seguir.

Figura 4: Parte eletrônica do bloco de pesagem.



Para o controle automático do sistema são utilizados microcontroladores do modelo ATMEGA328P. Como o sistema de pesagem dinâmica exige certa velocidade no controle e na aquisição de dados, foi estabelecido uma estrutura onde separa-se o processamento por diferentes blocos.

Foi utilizado separadamente um microcontrolador exclusivo para o bloco de controle dos motores, pesagem e comunicação entre sistema e interface. Esta divisão das tarefas entre chips diferentes fornece maior agilidade ao sistema, permitindo que o processamento de cada bloco possa ser executado de forma paralela.

O bloco de controle dos motores possui a tarefa de acionamento e alteração de velocidade para cada motor, possuindo a propriedade de acionar os motores das três

esteiras ao mesmo tempo em velocidades diferentes, conforme a necessidade de movimentação dos produtos pesados.

No bloco de controle de pesagem ocorre a aquisição dos dados fornecidos pelo conversor A/D e convertidos para valores utilizáveis ao sistema. Neste bloco, são atribuídos dois sensores para indicação do início e do fim do processo de pesagem, conforme a posição do produto na esteira.

A etapa de comunicação possui como principal função o controle dos dados trafegados pelo sistema. Este controle de tráfego de dados consiste em garantir o envio e recebimento entre blocos, como por exemplo o envio de comando para alteração de velocidade de uma determinada esteira ou o envio do valor de pesagem para uma interface externa.

Na estrutura de comunicação interna do sistema os dados são trafegados pelo barramento I<sup>2</sup>C, enquanto para equipamentos externos que necessitam receber ou enviar dados para o sistema é utilizado o barramento de comunicação USART, cabendo ao bloco de comunicação controlar ambos os barramentos.

### C. Software

Devido à grande importância na velocidade das ações a serem executadas pelo sistema de pesagem dinâmica, o software foi desenvolvido visando pelo melhor desempenho possível.

Com o intuito em encontrar resultados com o desempenho necessário para este tipo de projeto, foram realizados testes com modelos diferentes de programação, até que fosse possível encontrar qual fosse satisfatório para o sistema. Por exemplo, foram feitos testes iniciais utilizando a plataforma Arduino, porém, seu desempenho de respostas às principais funcionalidades, como comunicação e timers, apresentaram baixa performance para as necessidades deste projeto. Este detalhe deve-se principalmente pelo modo como suas bibliotecas foram redigidas, ocorrendo um trade-off onde procura-se facilitar a programação e compromete-se o desempenho.

Para garantir funções mais adequadas e precisas às necessidades do projeto, foi estabelecido escrever todas as bibliotecas das principais funcionalidades dos microcontroladores. Desta forma, não foram utilizadas bibliotecas de terceiros, garantindo completo controle dos comandos executados pelos controladores. O resultado deste trabalho foi de grande importância para oferecer um desempenho de resposta ao controle de maneira satisfatória.

Cada bloco de controle foi escrito a partir de uma estrutura diferente entre eles, concentrando as principais atividades em suas exclusivas funções, possuindo somente em comum o mesmo modelo de dado compartilhado para a possibilidade de intercâmbio e compreensão destes dados quando enviados pelo barramento de comunicação.

O modelo de microcontrolador escolhido possui uma série de tipos de comunicação próprios aos quais são usados para troca de informações entre outros componentes. Para a troca de informações entre os microcontroladores foi escolhido o tipo de comunicação I<sup>2</sup>C. O barramento de comunicação I<sup>2</sup>C é compartilhado entre os três blocos de controle permitindo um rápido envio de dados no sistema.

Para a comunicação com equipamentos externos ao sistema de pesagem foi necessário adotar o protocolo de comunicação

USART, permitindo assim o envio dos dados de controle para fora do sistema. A conversão de dados do barramento I<sup>2</sup>C para o barramento USART é executada pelo bloco de controle de comunicação. Este bloco está encarregado de receber todos os dados que precisam trafegar pelos barramentos e direcioná-los para seus respectivos destinos, realizando as conversões entre os dois barramentos diferentes.

O programa para o bloco de motores foi estabelecido a partir da necessidade de controle da velocidade das esteiras transportadoras. A maior particularidade deste controle é garantir que a cadência de movimentação se mantenha constantemente cíclica, sem oscilações de velocidade. Para garantir esta necessidade, foi utilizada a propriedade de interrupção oferecida pelo próprio microcontrolador. Através desta propriedade, é configurado que a cada overflow ocorrido com o Timer 0 inicie uma rotina de interrupção, ocasionando o início da função de incrementação para passos dos motores.

Para o bloco de pesagem, foi estabelecido a execução do início da coleta de amostragens de peso quando a peça de teste estiver sobre a esteira de pesagem. Para indicar a condição de peça sobre a pesagem, foram adotados dois sensores indicando quando a peça de teste se encontra em sua entrada e em sua saída.

A realização da aquisição dos valores de peso ocorre através do componente de conversão A/D ADS1115, sendo sua comunicação com o microcontrolador ocorrendo através do barramento I<sup>2</sup>C. Quando é disparado o sinal de peça sobre a esteira, o microcontrolador inicia a comunicação com este conversor, reunindo os valores que estão sendo adquiridos durante o tempo que a peça permanece sobre a esteira de pesagem. Após a saída desta peça, iniciam-se os cálculos entre os valores coletados, convertendo o resultado ao correspondente peso em quilogramas. Finalizando esta conversão, são enviados os dados para o barramento de comunicação externo ao sistema, permitindo sua aquisição por outro equipamento.

O bloco de controle de comunicação possui função complexa, sendo responsável por manter os dados trafegando entre todo o sistema. Este controle exige a verificação constante de dados que chegam ao bloco, como também a garantia de seus envios para os destinos definidos.

O bloco de controle de comunicação possui uma função bastante complexa pois necessita manter os dados trafegando entre todo o sistema. Quando o dado é enviado corretamente, conclui a tarefa eliminando-o de sua lista, porém, caso não consiga comunicação para envio do dado, esta tarefa permanece na lista para ser realizada no próximo ciclo de verificação, possibilitando assim que o programa permita continuidade às outras verificações de sua rotina.

Outros arquivos desenvolvidos no projeto não são exatamente controles do sistema de pesagem, mas utilizados por este sistema. Como não foram utilizadas bibliotecas pré-programadas para outros programas, como bibliotecas disponibilizadas em sites para uso aberto, foram desenvolvidos uma série de *headers* fornecendo funções para utilizar ferramentas próprias dos microcontroladores. Deste modo, foram escritas todas as funções para utilização dos barramentos de comunicação USART e I<sup>2</sup>C.

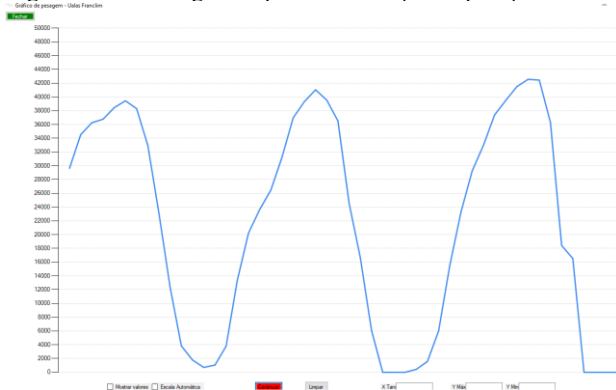
No desenvolvimento deste projeto para um sistema de pesagem dinâmica, o principal foco foi em um sistema no qual

pudesse operar com os mais diversos equipamentos, necessitando exclusivamente em adquirir os dados de peso e externá-los para um segundo sistema ao qual estaria encarregado de executar uma ação conforme os dados de peso recebidos. Mesmo não estando no escopo principal do projeto, este equipamento externo foi necessário para apresentação dos resultados do sistema de pesagem.

Para cumprir o papel de um equipamento externo de forma genérica, foi adotado um computador estabelecendo comunicação com o sistema de pesagem, utilizando o barramento USART com um conversor USB. Foi estabelecido que este computador executasse um programa de interface simples para apresentar o valor de peso adquirido, como também oferecer algumas funcionalidades de início e término da movimentação das lonas transportadoras e alterações de suas velocidades.

Inicialmente, foram escritos programas para auxiliar no desenvolvimento de etapas do projeto para serem executados pelo computador, como, por exemplo, gráficos para calibração da pesagem e verificação da oscilação da estrutura das esteiras. Estes programas foram escritos na linguagem C# através do framework .NET, podendo ser visualizado na Figura 5 apresentada a seguir.

Figura 5: Interface gráfica para visualização e operação do sistema.



### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na concepção inicial deste projeto, o principal objetivo estava no desenvolvimento de um sistema de pesagem dinâmica da forma mais simples possível, tanto em material informativo como na construção do equipamento em si. Esta necessidade veio principalmente pelo fato de se tratar de um equipamento com pouca divulgação sobre seu funcionamento e construção, mesmo estando em operação há tempos nos principais processos industriais.

Por ser um equipamento bastante complexo, este objetivo de torná-lo “simples” foi o mais desafiador na elaboração deste projeto. À primeira vista, este sistema pode apresentar possuir um processo bastante comum, pois opera através de esteiras transportadoras com um adicional de uma célula de carga, componentes habitualmente vistos em muitos processos industriais.

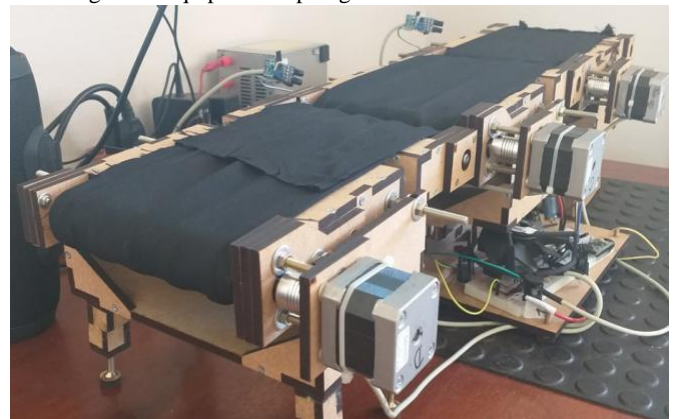
Mesmo aparentando essa simplicidade, a funcionalidade principal de extrair o valor de peso de cada objeto em movimento contínuo e acelerado é o que o torna um equipamento de difícil concepção. Esta característica do

sistema exige um grande trabalho tanto em sua elaboração como também na atuação do equipamento, necessitando além da agilidade da informação a ser gerada para o sistema como a confiabilidade dela.

Tratando-se da confiabilidade dos dados adquiridos, torna-se necessário o desenvolvimento de pontos que não são muito aparentes em seu funcionamento, ainda que bastante definidores para o desempenho do sistema. Mesmo para um projeto com finalidades mais simples como este, alguns destes pontos foram trabalhados e inseridos e outros, apesar de terem sido trabalhados com a intenção de serem agregados ao projeto, acabaram por serem descartados. Na Figura 6, apresentada a seguir, podemos visualizar a esteira completamente montada e em condições de testes.

Inicialmente, foi estabelecido os principais fatores para a realização do projeto, sendo um deles a velocidade da aquisição de peso, como também a transmissão desse valor para equipamentos externos ao sistema. Como o desenvolvimento dessa etapa necessitava da estrutura física pronta, foi estabelecido de maneira simples toda esta estrutura e que ainda assim ela permitisse alterações futuras.

Figura 6: Equipamento pesagem dinâmica montado.



Na etapa de desenvolvimento do sistema em funcionamento, os desafios mais significativos puderam ser melhor apontados, mesmo não havendo soluções tão evidentes em como solucioná-los no instante. Entre estes, um foi a forma de eliminação de ruídos inadequados à pesagem que necessitava não só da atuação do software, mas também ajustes na estrutura para adquirir valores a serem analisados e através deles produzir mais novos testes, com novos valores de análise. Percebendo que isto tomaria grande parte do tempo do projeto, a etapa de aquisição de peso foi adotada de maneira simplificada, com algumas análises sendo feitas pelo software externo ao sistema no instante de apresentar os valores de peso pela interface.

Para a aquisição do peso, foi estabelecido um programa que executa a obtenção do valor direto do conversor A/D no instante em que a peça se encontra sobre a esteira de pesagem, sendo indicado pelo sensor de entrada, e acumulando uma série de amostragens, até que esta peça saia desta etapa da esteira, indicado pelo sensor de saída.

Um parâmetro que demonstrou ser importante para a aquisição do peso correto foi o valor de peso quando a esteira está vazia, sem nenhuma peça sobre ela, podendo ser denominado de peso zero ou mesmo vazio. Apesar de não

haver peça sobre a esteira, esta continua a avaliar o peso da estrutura acoplada à célula de carga como também as vibrações e interferências elétricas que podem ocorrer com o funcionamento.

Durante os testes, este estado de peso zero demonstrou uma pequena variação, o que prejudicava a concepção de uma equação fixa para a aquisição de peso. Como medida para solucionar o problema, foi adotado um processo onde é adquirido o valor de peso zero durante os instantes de ausência de peça na esteira de pesagem, utilizando esse valor de peso zero como diferença do valor adquirido quando pesando e obtendo como resultado somente o valor proporcionado.

Uma medida para atenuar pequenas vibrações absorvidas durante o processo de pesagem foi coletar um pequeno grupo de amostras de peso e extrair um valor médio entre eles. Este valor médio é armazenado em uma lista na qual oferece os resultados de peso durante o processo de pesagem. Desta lista é adquirido o valor que será utilizado para fornecer o peso final.

O controle dos motores pode ser considerado o bloco mais simples de ter sido desenvolvido. Nele manteve-se muito dos parâmetros estabelecidos no início do projeto, ocorrendo somente agregações para ser integrado melhor ao sistema.

O controle da velocidade manteve-se através da cadência oferecida pela rotina de interrupção das propriedades do timer proporcionado pelo microcontrolador. Durante os testes, foi observado que mudanças bruscas de velocidade poderiam favorecer a situações de erro durante o funcionamento. Um exemplo foi quando o motor estando em uma velocidade baixa e alterado para uma alta velocidade no próximo instante ocasionava travamento do rotor pois este não conseguia acompanhar a mesma velocidade do acionamento dos indutores do estator.

Para eliminar este problema foi estabelecido um procedimento similar em inversores de frequência, um processo de rampa para oferecer a alteração de velocidade gradativamente. Além dos problemas de travamento dos motores, também auxiliou na estabilidade da peça em movimento durante uma alteração de velocidade.

A interface de operação foi desenvolvida completamente em C#, permitindo funcionalidades de construção de interfaces mais completas e com maior facilidade em sua concepção. Nesta interface é possível observar o desenvolvimento do sinal de pesagem durante o período em que a peça encontra-se na esteira de pesagem como também pode-se operar os estados das esteiras transportadoras.

Foi possível verificar durante os testes e ensaios realizados, executa as aquisições de dados de peso, os reúne em lista e envia para a interface. Esta lista compõe os valores numéricos de peso adquiridos do conversor A/D não alterados como também no final dela o valor de resultado calculado em quilos. Ao receber esta lista o programa executou a separação de cada valor, posteriormente realizando a plotagem gráfica do sinal. Na mesma janela, foi adicionado os comandos para controle da operação das esteiras transportadoras. Por este controle foi possível executar o início do funcionamento das esteiras e sua parada. Ajustes de alteração de velocidade também foram realizados para cada esteira.

Após os diversos testes de funcionamento que foram realizados, podemos considerar que resposta final do

equipamento foi bastante satisfatória. Também foi possível perceber que este tipo de sistema pode ser implementado em estruturas simplificadas de processos, porém com uma quantidade significativa de métodos para análise de sinais de peso, sendo que estes métodos se estenderiam tanto para a estrutura física como para o software.

Para o caso deste projeto, em seus testes finais foi possível perceber que ocorreria uma grande redução de ruídos inadequados ao processo de pesagem se fosse atribuído um sistema de amortecimento acoplado à estrutura de pesagem, sendo diretamente ligada à célula de carga. Esta medida iria permitir uma diminuição significativa nos ruídos impróprios, permitindo um tempo maior de amostragens para serem calculadas como peso.

#### IV. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste projeto foi possível demonstrar a possibilidade na criação de um sistema de pesagem dinâmica simples, com dispositivos e peças de baixo custo e fácil acesso comercial, possibilitando aprimorá-lo para aplicações de maiores complexidades, atendendo aos requisitos de um produto para o mercado.

Podemos concluir que através deste trabalho foi possível obter resultados bastante satisfatórios, não somente com os resultados obtidos pelo funcionamento do sistema, mas também pelo conhecimento adquirido durante todas as etapas de desenvolvimento e construção, permitindo a possibilidade de aprimorar o projeto em trabalhos futuros.

#### REFERÊNCIAS

- [1] K. Fukuda et al. 'A New Method of Mass Measurement for Checkweighers. Metrology and Measurement Systems', *Metrology and Measurement systems*, vol. 17, no. 2, pp. 151-162, 2010.
- [2] K. Fukuda et al. 'A New Weighing Method for Checkweighers by using signal processing', *Fundamental and Applied Metrology*, pp. 373-378, 2009.
- [3] T. Yamazaki et al. 'Continuous mass measurement in checkweighers and conveyor belt scales', *41st SICE Annual Conference*, pp. 470-474, 2002.
- [4] L.B. Faruolo; J. L. Fernandes. 'A medição de massa em movimento utilizando extensômetros', *COTEQ179 - Conferência sobre tecnologia de equipamentos*, 2005.
- [5] A4988 - Microstepping Driver Allegro. Disponível em: <[https://www.pololu.com/file/0J450/a4988\\_DMOS\\_microstepping\\_driver\\_with\\_translator.pdf](https://www.pololu.com/file/0J450/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf)>. Acesso em: 22 maio de 2021.
- [6] PERTENCE JUNIOR, A. *Eletrônica Analógica: amplificadores operacionais e filtros ativos*, Porto Alegre: Editora Bookman, 2003.
- [7] ADS1115 Conversor Analógico Digital. Disponível em: <[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf?ts=1629469785283&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf?ts=1629469785283&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)>. Acesso em: 23 maio de 2021.