



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

**CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA
MECATRÔNICA**

BRUNO POSSAMAI DELLA TOMASI

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE MASSA PARA VEÍCULOS ATRAVÉS DE CONEXÃO SEM FIOS

**Florianópolis - SC
2018**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

BRUNO POSSAMAI DELLA TOMASI

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE MASSA PARA VEÍCULOS ATRAVÉS DE CONEXÃO SEM FIOS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica

Professor Orientador: Marcelo Vandresen

Professor Coorientador: Mauricio Edgar Stivanello

FLORIANÓPOLIS, NOVEMBRO DE 2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Tomasi, Bruno Possamai Della

Sistema de medição de massa para veículos através de conexão sem fios / Bruno Possamai Della Tomasi ; orientação de Marcelo Vandresen; coorientação de Mauricio Edgar Stivanello. - Florianópolis, SC, 2018. 64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Mecatrônica. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica. Inclui Referências.

1. Balança automotiva. 2. IOT. 3. Extensômetro. 4. Célula de carga. 5. Aplicativo Android. I. Vandresen, Marcelo. II. Stivanello, Mauricio Edgar. III. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica. IV. Título.

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE MASSA PARA VEÍCULOS ATRAVÉS DE CONEXÃO SEM FIOS.

Bruno Possamai Della Tomasi

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 13 de Dezembro de 2018.

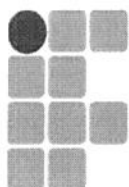
Banca examinadora:

Prof. Marcelo Vandresen
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Mauricio Edgar Stivanello
Coorientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Humberto Reder Cazangi
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Eron da Silva
Faculdade SATC



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Declaro que o(a) estudante **BRUNO POSSAMAI DELLA TOMASI**, matrícula nº **132005293-2**, do Curso de Engenharia Mecatrônica, defendeu o trabalho intitulado **SISTEMA DE MEDIÇÃO DE MASSA PARA VEÍCULOS ATRAVÉS DE CONEXÃO SEM FIOS**, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Florianópolis, 13 de dezembro de 2018.

Prof. Orientador do TCC: Marcelo Vandresen

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de concluir mais uma etapa de minha vida.

Agradeço aos meus pais por me ajudar a todos os momentos.

Agradeço aos meus eternos orientadores Marcelo e Humberto por me orientarem desde o começo da faculdade.

Agradeço ao “Pitres”: João Paulo Meller Milioli, Matheus Fisher, Matheus Sousa e Victor Andrade, por todo o apoio durante o curso e por sempre manter um espírito de união entre o grupo.

Agradeço a BE1 Tecnologia pelo apoio e compressão no decorrer deste trabalho.

E agradeço a todos os amigos e familiares que me ajudaram muito no decorrer desta jornada.

Agradeço também ao Josemar, Jeff e ao Claudinei por nos acolherem no Resenhas sempre com cerveja gelada, Obrigado família.

Se cheguei onde cheguei e consegui fazer tudo o que fiz, foi porque tive a oportunidade de crescer bem, num bom ambiente familiar, de viver bem e de ser orientado no caminho certo nos momentos decisivos de minha vida.

Ayrton Senna

RESUMO

O presente trabalho desenvolve um sistema de quatro balanças, estas utilizam quatro células de carga para a avaliação do peso em cada uma das rodas de veículos, com o objetivo de melhorar a distribuição de peso dos veículos.

Integrado a essa medição efetuou-se o envio das massas individuais aferidas através destas balanças para um smartphone com aplicativo Android, o presente dispositivo interpreta e informa ao usuário a distribuição percentual da massa nos devidos eixos, massa em cada eixo, massa total e centro de gravidade do veículo analisado.

Os dados gerados no sistema de medição são interpretados e passados para o usuário de forma simples, facilitando ao máximo a operação do usuário, tudo isso de forma rápida e prática.

Palavras-chave: Balança automotiva, IOT, Extensômetro, Célula de Carga, Aplicativo Android.

Abstract

The present work develops a system of four scales, which use four load cells to evaluate the weight in each wheels of vehicle, aiming to improve the weight distribution of the vehicles.

Integrated to this measurement was sent the individual masses measured through these scales to a smartphone with Android application, the present device interprets and inform the user the percentage distribution of the mass in the due car axle, mass in each car axle, total mass and center of vehicle.

The data generated in the measurement system are interpreted and passed to the user in a simple way, making the user's operation as easy as possible, quickly and practically.

Keywords: Automotive Scale, IOT, Extensometer, Load Cell, Android Application.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Empilhadeira em condição crítica de distribuição de massa	14
Figura 2 - Balança comercial Proform	15
Figura 3 - Comunicação entre dispositivos Wi-Fi	15
Figura 4 – Medição no plano XY	22
Figura 5– Medição no plano z	23
Figura 6 – Função Global do produto	29
Figura 7- Funções e subfunções do Produto	29
Figura 8 – Representação dos módulos mecânicos do produto em CAD	34
Figura 9– Diagrama de Relacionamento dos módulos elétricos	35
Figura 10– Oblongo de transporte do produto.....	36
Figura 11 - Desenho técnico da balança em vista explodida.	38
Figura 12 - Esquemático elétrico.....	40
Figura 13 - Protótipo Completo e Placa de circuito impresso.....	40
Figura 14 - Construção da malha de elementos finitos	42
Figura 15 - Construção da malha de elementos finitos	42
Figura 16 - Colagem dos extensômetros	43
Figura 17 - Construção da ponte de Wheatstone com os extensômetros	44
Figura 18 - Procedimento de calibração da balança projetada	44
Figura 19 - Pagina inicial do aplicativo Android.....	47
Figura 20 - Pagina de medição de massa.....	47
Figura 21 - Página de entrada de dados complementares do veículo	48
Figura 22 - Página de cálculo de centro de massa	49
Figura 23 - Corte eletro erosão a fio e seus resultado final	50
Figura 24 - Veículo suspenso sobre a balança montada	51
Figura 25 - Comparativo de redes sem fios	51
Figura 26 - Procedimento de variação da pressão dos pneus	53
Figura 27 - Indicação do multímetro do consumo da placa master e slave.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tabela de concorrentes.....	26
Tabela 2- Tabela de comparação das características do produto.....	27
Tabela 3- Matriz Morfológica.....	30
Tabela 4– Diagrama de Pugh da subfunção de apoiar veículo	31
Tabela 5– Diagrama de Pugh da subfunção de conectar ao sistema de medição....	32
Tabela 6– Diagrama de Pugh da subfunção aferir a massa do veículo	32
Tabela 7– Diagrama de Pugh da subfunção aferir a inclinação do veículo.....	33
Tabela 8 - Custos diretos e indiretos.....	36
Tabela 9 - Módulos e seus processos.....	37
Tabela 10 - Tabela de calibração de balança.....	45
Tabela 11 - Resultados obtidos com a variação dos pneus	53

LISTA DE SIGLAS

WI-FI - Rede local sem fios;

TCP-IP – Protocolo de comunicação em rede;

IHM – Interface Homem Máquina;

PRODIP – Metodologia de desenvolvimento de produto;

FEA - Elementos finitos;

CAD - Desenho assistido por computador;

IP – Endereço de rede;

JAVA - Linguagem de programação orientada a objeto;

ASTM – Sociedade americana de testes e materiais;

PADs – Balança na qual o veículo fica apoiado.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	OBJETIVOS	16
1.1.1.	Objetivo Geral	16
1.1.2.	Específicos	16
1.2.	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	17
2.	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	18
2.1.	Transdutores de massa.....	18
2.2.	Transdutores de extensômetro	18
2.3.	Medição da posição de centro de massa.....	21
3.	Metodologia.....	25
3.1.	Projeto informacional.....	25
3.1.1.	Definição do problema	25
3.1.2.	Descrição do produto	26
3.2.	Determinação das especificações de projeto	27
3.3.	Projeto Conceitual	28
3.3.1.	Desenvolvimento dos conceitos de produto	28
3.3.2.	Função Global	28
3.3.3.	Síntese Funcional	29
3.3.4.	Alternativas para as partes do produto.....	30
3.3.5.	Seleção das alternativas encontradas.....	30
3.3.5.1.	Matriz de Avaliação.....	30
3.4.	Projeto Preliminar	33
3.4.1.	Configuração do produto	34
3.4.2.	Projeto para Ergonomia do produto	35
3.4.3.	PROJETO PARA ECONOMIA DO PRODUTO	36
3.4.4.	PROJETO SUSTENTÁVEL DO PRODUTO	37
3.4.5.	PROJETO DE PRODUTIBILIDADE	37
3.4.6.	ESBOÇO DOS COMPONENTES E DO PRODUTO.....	37
3.5.	Projeto Detalhado	38
3.5.1.	Módulos Elétricos	38
3.5.2.	Seleção de Equipamentos	39
3.5.3.	Esquema Elétrico	39

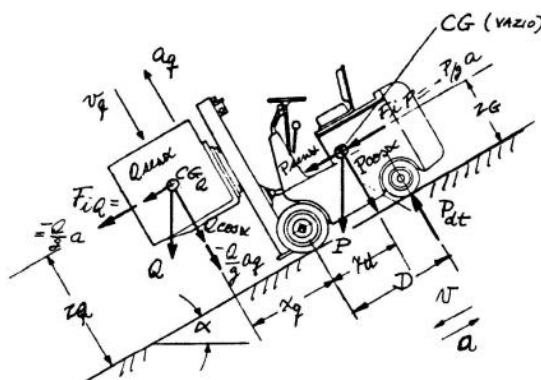
3.6.	Módulos Mecânicos.....	41
3.6.1.	Dimensionamento Mecânico	41
3.6.2.	Desenhos Técnicos.....	42
3.7.	Montagem dos extensômetros	43
3.8.	Calibração das balanças	44
3.8.1.	Calibração da balança projetada.....	44
3.9.	Desenvolvimentos dos Softwares	46
3.9.1.	Android Studio.....	46
3.9.2.	Arduino IDE.....	49
4.	RESULTADO E DISCUSSÃO	50
4.1.	Fabricação da balança projetada	50
4.2.	Comunicação sem fios	51
4.3.	Desempenho do aplicativo desenvolvido	52
4.4.	Medição da massa do veículo	52
4.4.1.	Medição com Variação da pressão do pneu	52
4.5.	Consumo energético do sistema eletrônico	54
4.6.	Medição do centro de massa	55
5.	CONCLUSÃO	56
6.	REFERÊNCIAS.....	58
7.	Apêndice A (Desenhos Técnicos)	61
8.	Apêndice B – Código ESP-12 Master	62
9.	Apêndice C - Código ESP-12 Slave	63

1. INTRODUÇÃO

As balanças automotivas são instrumentos de medições que realizam a aferição da massa de um veículo, usualmente em veículos de até cinco toneladas. Essas balanças são constituídas por quatro balanças menores que apoiam cada uma das rodas do veículo, essa leitura de massa individual de cada uma das rodas ajuda no projeto e no aprimoramento de veículos, por exemplo, o projeto de uma empilhadeira que desce um declive com carga máxima.

O exemplo citado anteriormente representa uma situação clássica, onde a distribuição de peso é crítica, visto que, essa distribuição faz com que o engenheiro responsável por projetar o equilíbrio do equipamento, desenvolva um contra peso fixo na parte traseira da empilhadeira, impedindo que o veículo capote ao fazer este percurso. A figura 1 (figura abaixo) representa a situação descrita (MADUREIRA,1995).

Figura 1 – Empilhadeira em condição crítica de distribuição de massa



Fonte: Madureira (1995)

A situação acima apresentada pode ser ainda mais crítica se o condutor da empilhadeira necessitar efetuar uma frenagem, dessa forma haverá uma força que favorece este capotamento. Diante disto o contra peso tem que ser dimensionado para que a empilhadeira consiga se manter estável nos requisitos de produto (MADUREIRA,1995).

Para a aferição do peso distribuído é necessário uma balança posicionada abaixo de cada roda, dessa forma pode-se aferir como se encontra a distribuição de massa individualmente no veículo, sendo assim uma balança como a da figura 2 (figura abaixo) é de extrema importância para o projeto do veículo seja executado levando em conta esse quesito (MERLING, 2007).

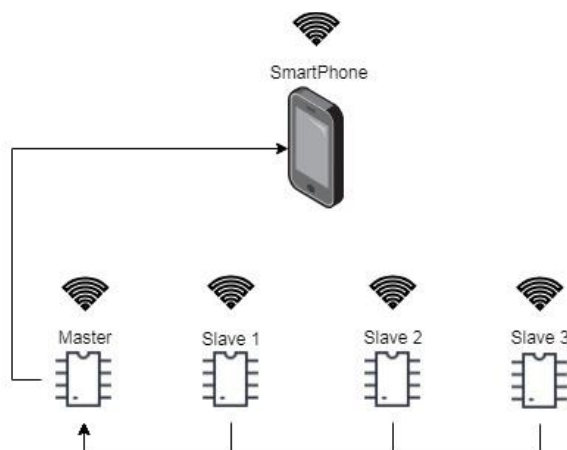
Figura 2 - Balança comercial Proform



Fonte: Proform (2018).

Com base nas informações ditas anteriormente esse projeto tem como base a construção de um equipamento semelhante ao exibido na figura 2. Para efetuar a comunicação entre os Pads e o smartphone, um dos pads será eleito como master (principal), responsável por criar uma rede WI-FI no qual os restantes dos pads se conectarão. Os pads slaves (secundário) enviarão as informações para o master através de uma comunicação TCP-IP como pode ser visto na figura 3 (figura abaixo). Com as informações coletadas das unidades de medição dos pads secundários, o master disponibiliza estes dados para o smartphone que interpreta as informações recebidas.

Figura 3 - Comunicação entre dispositivos Wi-Fi



Fonte: O autor (2018).

Outro ponto em que o produto a ser desenvolvido se difere dos convencionais é devido ao uso de células de carga que serão fabricadas para esse uso em específico, o que busca fazer com que os pads fiquem leves e que possam

ser transportados facilmente pelo usuário, sem a necessidade da utilização de caixas transportadoras como é exigido nos modelos convencionais.

Para isso faz-se necessário o projeto e dimensionamento mecânicos dos pads, bem como a simulação via software Solidworks, que através da técnica de elementos finitos verifica: as tensões de Von mises sofridas pelo material, deformações mecânicas, coeficiente de segurança. Com isso pode-se atestar que o equipamento não irá falhar quando carregado com as cargas previstas em projeto.

Ao se tratar do projeto eletrônico, quatro microcontroladores serão responsáveis pela leitura de quatro células de carga. Para um melhor entendimento da eletrônica após a sua definição será confeccionada um esquemático elétrico que facilita a construção de um novo protótipo.

Concluída a fase construtiva e a integração da mecânica com a eletrônica, é necessário realizar a calibração do instrumento metrológico desenvolvido, com a finalidade de aferir a exatidão das medidas realizadas por esse instrumento, desta forma é necessário a utilização de uma balança já calibrada para a realização de um experimento que levante a curva de resposta do instrumento desenvolvido.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Mensurar a massa de veículos com tecnologia sem fio utilizando um smartphone como meio de interface IHM (Interface homem- máquina).

1.1.2. Específicos

- a) Projetar e fabricar quatro balanças que serão colocadas sob cada uma das rodas do veículo;
- b) Desenvolver circuitos eletrônicos que realize a comunicação sem fio e a leitura de célula de carga;
- c) Desenvolver um aplicativo Android para efetuar a interface homem máquina;
- d) Efetuar a comunicação sem fio entre os dispositivos;
- e) Obter baixo consumo energético;
- f) Medir o centro de gravidade do veículo.

1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

No curso de manutenção automotiva desta instituição de ensino há uma necessidade de mensurar a massa dos veículos, bem como a divisão dessa massa em percentual para cada eixo do veículo, visto isso esse projeto visa sanar essa necessidade do curso já citado bem como aplicar uma funcionalidade ainda não disponível nas balanças comerciais analisadas - a função de cálculo de centro de gravidade do veículo.

Quando se analisa o produto no âmbito social este é mais utilizado no âmbito industrial, como em projetos de veículos automotores e elétricos, mas também atende as necessidades de oficinas especializadas em desenvolvimentos e aprimoramentos de veículos de competição.

Com este equipamento é possível estimar numericamente, se o veículo encontra-se com sua massa bem distribuída pelo seu chassi, podendo descobrir se durante uma curva o veículo irá sair de sua trajetória com o eixo traseiro ou com o eixo dianteiro, sendo possível assim, aprimorar os veículos para que eles se comportem da maneira a suportar tais solicitações mecânicas.

Devido as explicações anteriores o projeto proposto é relevante por ser interdisciplinar e reunir mecânica, eletrônica e computação; Desta forma expõem boa parte dos conhecimentos adquiridos no decorrer do curso de engenharia mecatrônica, resultando no domínio da integração destas matérias e do desenvolvimento de produtos.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Para compreender o funcionamento dos sistemas de medição de massas através de células de carga faz-se necessário um entendimento sobre transdutores de massa, bem como dos seus circuitos eletrônicos que possibilitam a leitura disponibilizada pelo sistema de medição. Outro ponto importante para o entendimento do projeto seria a conversão de leituras de massas para uma leitura de posição de centro de massa.

2.1. Transdutores de massa

Segundo ALMEIDA (2004) transdutores são dispositivos capazes de converter um sinal em outro, para assim permitir que algum tipo de controle ou, de medição de uma grandeza seja efetuado, estes transdutores tem a capacidade de efetuar a aferição da massa através de quatro diferentes princípios sendo eles: mecânicos, elétricos, acústicos e ópticos.

Dentre esses sistemas de transdução para aferição de massa os mais utilizados são os baseados em extensômetros, toda via também há possibilidade de se utilizar transdutores baseados na variação de pressão de um fluido, devido a uma aplicação de cargas, transdutores ótico de aferição de massa, entre outros (WERNECK, 1996).

Dentre os exemplos citados o mais indicado devido a sua simplicidade e facilidade na fabricação são os com base em extensômetros, pois estes não fazer uso de fluído hidráulico, tampouco de lasers de alto custo para a aferição de massas, pois isso os transdutores baseados em extensômetro serão explicados no capítulo seguinte.

2.2. Transdutores de extensômetro

Os extensômetros são equipamentos amplamente utilizados para a conversão de uma pequena variação de comprimento, em uma variação de tensão elétrica. Esse tipo de equipamento é amplamente utilizado, principalmente ao se tratar de ensaios de tração, onde o extensômetro consegue realizar a leitura do comprimento do material até que o mesmo atinja a tensão de ruptura (WEBER, 2008).

Sabendo que estes dispositivos variam de acordo com a tensão mecânica que atua sobre o mesmo, e tem a capacidade de medir a deformação mecânica, ele também consegue medir as forças axiais através da lei de Hooke, como pode ser visto na equação 1 (WERNECK, 1996).

$$\frac{dl}{l} = \frac{F}{YA} \quad (1)$$

Onde:

dl/l = Derivada do comprimento;

F = Força;

Y = Modulo de Young;

A = Área de secção transversal.

Através da equação de Hooke consegue-se perceber como os extensômetros podem correlacionar a força com a deformação mecânica, pois, a mesma afirma que a variação do comprimento $[dl/l]$ é diretamente proporcional ao módulo de Young do material $[Y]$, da área de secção transversal $[A]$, e inversamente proporcional à força aplicada $[F]$.

Porém as leis de Hooke são validas apenas para tensões mecânicas, que se encontrem abaixo do valor de tensão limite elástico do material, após tal deformação ocorrem rearranjos na estrutura molecular do material, onde a partir deste ponto, todas as deformações que ocorrem no material são de forma plástica, fazendo com que o material não tenha a capacidade de retornar ao estado anterior à aplicação da força (TOGINHO FILHO; PANTOJA, 2012).

Visto a relação de deformação mecânica com força através da lei de Hooke, apresentada anteriormente, elencaram-se as tecnologias que constituem os extensômetros como: os resistivos - os mais comuns serão os aplicados no decorrer deste projeto, sendo que os semicondutores, integrados, e os de arame vibrantes ficarão sem mais detalhes de funcionamento.

Os extensômetros resistivos são constituídos por uma fina película polimérica, que sustenta uma camada de material do extensômetro, este conjunto é colado sobre a superfície que se deseja aferir a deformação. À resistência elétrica varia conforme a segunda lei de Ohm (equação 2) que representa a resistividade do material (WERNECK, 1996).

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

Onde:

R = Resistencia;

ρ = Resistividade do material;

L = Comprimento do material;

A = Área de secção transversal;

Nesse caso a resistência dada em Ohms, é inversamente proporcional à área de seção transversal do condutor e, inversamente proporcional à resistividade do material $[\rho]$ e de seu comprimento; como nos extensômetros não há variação da área de seção transversal do condutor sobre a camada polimérica, além da falta de variação do material, a curva de resposta do extensômetro é praticamente linear (IFSC, 2018).

Uma das perturbações que podem surgir nas medições com extensômetros é a variação da temperatura, que por sua vez influencia no comprimento, em todo o conjunto de medição da peça desde a fiação que liga o sensor até o conversor analógico digital, entretanto consegue-se fazer uma compensação de temperatura sobre as medições fazendo a seleção do extensômetro com o mesmo coeficiente de dilatação do material. Todavia a compensação de temperatura só é possível quando a ligação entre sensores é feita em meia ponte de Wheatstone ou ponte completa (GRANTE, 2004).

Antes de se obter a função de saída de força em função da tensão elétrica, é necessário entender sobre o desempenho dos extensômetros. Esse desempenho é medido de acordo com a variação da resistência elétrica em função da extensão sofrida, desta forma fica a equação 3, que representa o relacionamento de variáveis descrito (WEBER, 2008).

$$K = \frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dl}{l}} \quad (3)$$

Onde:

K = Constante de desempenho;

dr/r = Derivada da resistência elétrica;

dl/l = Derivada do comprimento.

Um dos parâmetros muito importantes é que se consegue obter melhorias através, das conexões elétricas e da sensibilidade, desta forma quando se usa

apenas um extensômetro em uma ponte de Wheatstone, também conhecido como ¼ de ponte, se obtém a saída a equação 4, e quando se substitui a equação 1 e 3, obtém-se a equação 5 (WERNECK, 1996).

$$\frac{V_o}{E} = \frac{1}{4R} dR \quad (4)$$

$$\frac{V_o}{E} = \frac{K}{4AY} \quad (5)$$

Onde:

V_o = tensão de saída do sistema;

E = Modo de elasticidade do material;

R = Resistência Elétrica;

A = Área de secção transversal;

Y = Módulo de Young;

K = Constante de desempenho.

Da mesma forma consegue-se perceber que, a constante de sensibilidade do extensômetro $[K]$ e a força $[F]$ influenciam inversamente a relação da tensão de saída do sistema $[V_o]$ sobre a tensão de entrada do sistema $[K]$, enquanto a área $[A]$ e o módulo de Young $[Y]$ influenciam diretamente na relação.

Logo podemos concluir que a mesma relação para ponte completa é dada pela equação 6, onde pode-se perceber que o sistema utilizado em ponte completa, além de compensar a temperatura no decorrer da medição, também consegue ser quatro vezes mais sensível que o mesmo sistema funcionando em um quarto de ponte (WERNECK, 1996).

$$\frac{V_o}{E} = \frac{K}{AY} \quad (6)$$

Onde:

V_o = tensão de saída do sistema;

E = Modo de elasticidade do material;

A = Área de secção transversal;

Y = Módulo de Young;

K = Constante de desempenho.

Visto isso conseguimos correlacionar a tensão de saída do sistema com a deformação sofrida pelo material, esta deformação é facilmente convertida para força aplicando a equação 1 visto anteriormente.

2.3. Medição da posição de centro de massa

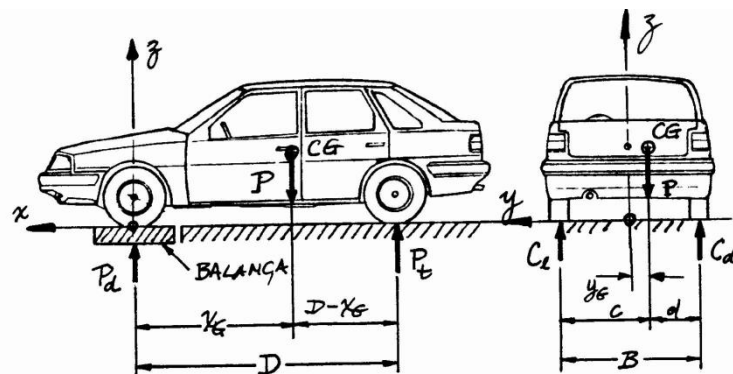
Para que possamos aferir o centro de massa de um veículo e necessário que se execute uma série de medidas do veículo, tais como: a largura, distância entre eixos, diâmetro das rodas e a variação da inclinação do veículo, já que o mesmo encontra-se inclinado durante a última etapa de aferição da posição da altura do centro de gravidade.

O sistema de medição proposto não faz a leitura destes dados, desta forma o usuário necessitará de um instrumento de medição complementar, como um clinômetro e uma trena, desta forma poderá medir a inclinação do carro quando apoiado sobre as quatro balanças e também com o carro apoiado apenas sobre as rodas frontais do veículo, desta forma a medição do centro de massa ocorrerá de forma indireta segundo Albertazzi (2008).

De acordo com Madureira (1995) o centro de massa de um veículo é o ponto no qual pode se considerar toda a massa do veículo concentrada e esta posição X, Y e Z do centro de gravidade de um veículo é fundamental para que se possa fazer qualquer estudo sobre a dinâmica de automóvel ou de uma motocicleta, essa posição pode ser facilmente aferida através de quatro balanças e os dados acima informados.

Para determinar a posição do centro de massa no plano XY (Figura 4), Madureira (1995) discursa sobre a necessidade de aferir a massa separadamente de cada uma das rodas do veículo, neste caso pode-se calcular a posição do centro de massa a partir da equação 7 e 8 abaixo.

Figura 4 – Medição no plano XY



Fonte: Madureira (1995).

$$X_g = \frac{(t_e + t_d) \cdot \text{Det}}{(t_e + t_d + f_e + f_d)} \quad (7)$$

$$Y_g = \frac{((t_e + f_e) - (t_d + f_d)) \cdot \text{Den}}{2 \cdot (t_e + t_d + f_e + f_d)} \quad (8)$$

Onde:

Xg = Posição X do centro de massa;

Yg = Posição Y do centro de massa;

Te = Peso roda traseira esquerda;

Td = Peso roda traseira direita;

Fe = Peso roda frontal esquerda;

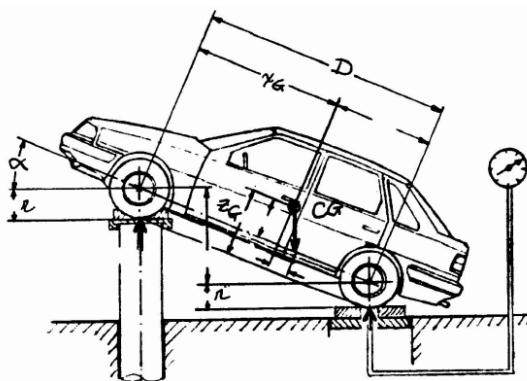
Fd = Peso roda frontal direita;

Det = Largura do veículo

Den = Distancia entre eixos;

Já para a determinação da posição Z do centro de gravidade como pode ser visto na figura 5 Madureira (1995) recomenda que se execute a inclinação do veículo em um ângulo conhecido e com a suspensão travada realizar a medição da massa do eixo dianteiro ou traseiro do veículo, com isso pronto realiza-se a seguinte equação que determina a posição da altura do centro de gravidade, isso pode ser visualizado na figura 5.

Figura 5– Medição no plano z



Fonte: Madureira (1995).

$$Zg = \frac{Det * (Patual - Panterior)}{(te + td + fe + fd) * tg(\alpha)} + aro \quad (9)$$

Onde:

Zg = Posição Z do centro de massa;

Den= Distancia entre eixos;

Te = Peso roda traseira esquerda;

Td= Peso roda traseira direita;

F_e = Peso roda frontal esquerda;

F_d = Peso roda frontal direita;

P_{atual} = Peso do eixo na condição inclinada;

$P_{anterior}$ = Peso do eixo na condição plana;

α = Ângulo de inclinação do veículo;

a = diâmetro da roda do veículo

Com as informações do posicionamento X, Y e Z do centro de massa do veículo, as análises dinâmicas da estabilidade do mesmo podem ser realizadas e assim o projetista consegue dar continuidade ao projeto de estabilidade do veículo.

3. Metodologia

Visando estabelecer um desenvolvimento sistemático e organizado dos produtos, a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste produto foi proposta por Romano e Back em 2003, também conhecida como PRODIP, nela a divisão do trabalho de desenvolvimento ocorre em quatro grandes áreas sendo elas: o informacional, conceitual, preliminar e o projeto detalhado.

Ao fim da concretização destes passos, é possível estar com um produto bem especificado e que contenha todos os requisitos esperados pelos clientes, desta forma o produto irá atender as expectativas criadas pelos mesmos, tendo assim um produto de sucesso no mercado.

3.1. Projeto informacional

De acordo com CARPES JUNIOR (2014), o projeto informacional consiste na primeira etapa do desenvolvimento de um produto. Durante esta fase do projeto é definido algumas das características desejadas ao produto, inclui-se as necessidades elencadas pelos clientes, descreve-se as ideias levantadas para o projeto, e por fim podem-se prever algumas das especificações do produto.

3.1.1. Definição do problema

Quando se projeta um veículo, seja ele para participações em competições, ou até mesmo alguma modificação de suspensão e distribuição de massa sobre a carroceria, é necessário saber se seu centro de gravidade, bem como a distribuição de massa foram também alterados durante este procedimento, com isso pode-se prever se o carro tenderá ao capotamento em curvas, decidas e também em situações de solicitações extremas.

Outra grande aplicação deste produto é em competição automobilística, visto que todo veículo que participa deste tipo de evento precisa passar por uma série de inspeções por parte do evento, para que a partir daí o veículo seja liberado para competir, um dos testes realizados pelo evento é o levantamento da massa do automóvel, desta forma a comissão organizadora do evento garante que os competidores participam em condições semelhantes.

Este produto terá uma interface de interação com o usuário através de um smartphone que executará um aplicativo com base no sistema operacional Android,

através deste aplicativo o usuário poderá armazenar os dados levantados em um banco de dados, fazer a leitura da massa total de seu automóvel, massa percentual por roda, e também centro de gravidade.

3.1.2. Descrição do produto

O produto consiste em quatro balanças que realiza a leitura individual de cada uma das rodas do veículo, através de quatro módulos de leitura de massa, que por meio de quatro microcontroladores e quadro conversores analógicos digitais fazem a leitura dos dados e entregam estes valores a um smartphone que interpreta e transmite a informação ao usuário de forma didática.

Este sistema de medição tem por objetivo satisfazer os seguintes requisitos de projeto: ter pequenas dimensões, ser leve, seguro, preciso e ser de fácil operação. O projeto ainda possui algumas características não desejadas como: alta frequência de manutenção, baixa sensibilidade nas medições e altos erros de medições.

Com as características do produto já levantadas faz-se necessário entender o mercado em que o mesmo encontra-se inserido, esta etapa do projeto foi solucionada, através da técnica do brainstorming, realizado pela equipe de desenvolvimento do projeto. Foi levantado como potenciais clientes: indústrias automobilísticas, oficinas especializadas em modificações veiculares, eventos de competição veicular, hobbistas, entre outros.

A partir disso com a realização de um benchmarking, que nada mais é que um processo em que compara os produtos, serviços ou práticas comerciais já existentes no mercado, foi levantado no mercado atual os seguintes concorrentes explicitados na tabela 1.

Tabela 1- Tabela de concorrentes

Fabricante	Modelo
Proform Parts	7000 lb. Slim Wireless Vehicle Weighing System
Longacre Racing	Wireless Scales

Fonte: PROFORM,2018; LONGACRE, 2018; Elaborado pelo autor, 2018.

Os produtos ofertados pela concorrência são muito semelhantes ao produto proposto, do ponto de vista de aferição de massas e sua distribuição em percentil por roda do veículo, entretanto quando se tratando de centro de gravidade ambos os produtos não apresentam esta funcionalidade integrada a sua IHM, sendo assim é necessário que o usuário realize os cálculos e também algumas medidas externamente ao sistema proposto para que seja aferida a posição do centro de massa dos veículos.

3.2. Determinação das especificações de projeto

Com base no benchmarking executado anteriormente e das necessidades dos consumidores, desenvolveu-se a tabela 2, que demonstra os limites de valores praticados no mercado pelos concorrentes e as devidas necessidades técnicas ou desejo dos consumidores (CARPES JUNIOR, 2014).

Tabela 2- Tabela de comparação das características do produto

Requisitos	Características	Unidade	Lb7000 – Proform Parts	Wireless Scales – Longacre Racing	Valor Alvo
Versatilidade	Massa	kg	0- 3175	5440	3500
Portátil	Massa do conjunto	kg	50	50	25
	Largura	mm	381	381	300
	Comprimento	mm	381	381	300
	Desvio entre aferições de massa	%	-	-	1
Repetibilidade					
Baixo Custo	Custo	R\$	4207,05	15969,92	1000,00

Fonte: PROFORM,2018; LONGACRE, 2018; Elaborado pelo autor, 2018.

Comparando o produto projetado com os concorrentes do mercado foram encontradas as especificações esperadas para o produto, com peso máximo suportado pelas balanças de 3500 quilogramas, largura e comprimento de 300 mm, massa total do equipamento de 25 quilogramas, desvio entre as aferições de no máximo de 1%, tudo isso com um custo máximo de mil reais.

Estes valores foram adotados pois conseguem realizar a aferição de massa da maioria dos veículos desta faixa de peso, entretanto essa configuração

que não permite a aferição de massa de veículos Off-Road com largura de rodas maiores que 300 mm.

3.3. Projeto Conceitual

Depois da elaboração do projeto informacional, segue-se para a próxima etapa do projeto, sendo necessário acompanhar o bom desenvolvimento do produto, com a finalidade de assim, conseguir um resultado final mais perto do desejado.

De acordo com as especificações do projeto adquiridas na etapa anterior do mesmo, esta fase conta com o objetivo desenvolver a concepção do produto, para isso existem ferramentas e métodos de criatividade e organização. As escolhidas e praticadas pela equipe foram métodos de brainstorming para criatividade e matriz morfológica, enquanto a síntese funcional foi empregada para uma boa organização das concepções e assim desenvolvimento um conceito para o produto.

3.3.1. Desenvolvimento dos conceitos de produto

Durante esta parte do projeto de acordo com CARPES JUNIOR (2014), a função global do produto e a síntese funcional estarão sendo abordadas, onde se encontra a essência do problema. Determina-se a estrutura funcional do produto buscando princípios de soluções alternativas e após isso, escolhe-se entre as opções levantadas aquela considerada a que entrega as melhores qualidades ao produto.

3.3.2. Função Global

Com a finalidade de buscar um melhor entendimento do produto em desenvolvimento, foi criado um diagrama que irá demonstrar de uma maneira simplificada a função geral do produto, que nada mais é do que realizar a aferição de massas individuais de cada roda, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Função Global do produto

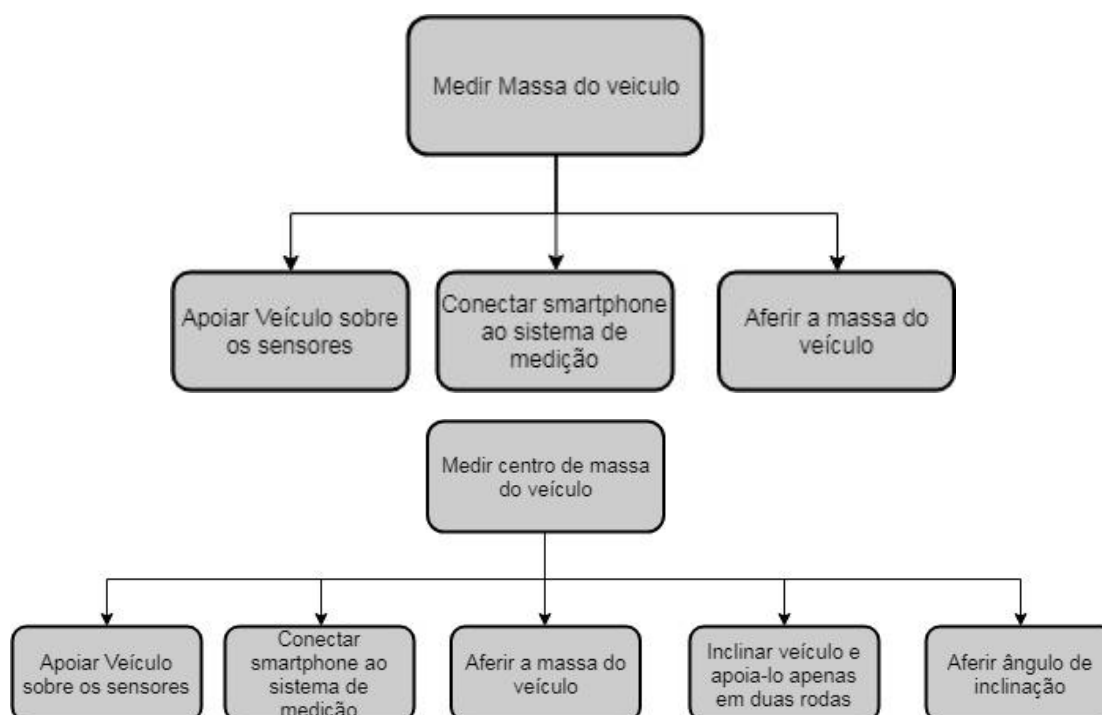


Fonte: O autor (2018).

3.3.3. Síntese Funcional

No decorrer da síntese funcional se obtém a estrutura de funções do produto, tendo como ponto inicial a função principal, ou seja, a função mais primitiva do produto ou o que ele de fato realizará. Neste caso a função global é efetuar a medição de massas individualmente nos pneus. Tendo isto como base, divide-se a função global em subfunções de modo que se tenha uma visão detalhada do projeto, como pode ser visto na figura 7.

Figura 7- Funções e subfunções do Produto



Fonte: O autor (2018).

3.3.4. Alternativas para as partes do produto

Com a finalidade de buscar possíveis alternativas para a resolução do problema descrito anteriormente, será elaborada uma matriz morfológica, tabela 3, onde será relacionado parâmetros de produtos ou subfunções com métodos para satisfazê-los. Após relacionar estas informações, as alternativas serão avaliadas através do método de Pugh. No final, elaboram-se três conceitos de produtos que são avaliados pelo método para que se obtenha o melhor desempenho possível para o produto.

Tabela 3- Matriz Morfológica

Função	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 4
Apoiar Veículo	Sobre a célula de carga	Cavaletes	Elevacar	Macaco Hidráulico
Conectar ao Smartphone	Bluetooth	Cabo de dados	WI-FI	Infravermelho
Aferir Massa do veículo	Célula de carga De extensômetro	Sistema hidráulico com transdutor de pressão	Balança puramente mecânica	Célula de carga com princípio óptico
Aferir ângulo de inclinação	Clinômetro	Giroscópio do smartphone	Manualmente (trigonometria)	-

Fonte: O autor (2018).

3.3.5. Seleção das alternativas encontradas

Para que se escolhesse a melhor solução possível ao projeto de produto, foi realizada a avaliação por comparação de cada uma das alternativas levantadas para as subfunções do produto, para isso elaborou-se matrizes de avaliação para as soluções possíveis para cada uma das partes do produto como pode ser visto nos tópicos a seguir.

3.3.5.1. Matriz de Avaliação

Após a construção da matriz morfológica escolheu-se, a partir das matrizes de avaliação a seguir, quais das alternativas que apresentam melhores soluções para o problema descrito.

Para esta avaliação, a principal característica do projeto e também o principal critério é ter um custo acessível, não havendo peso entre os fatores

analisados, entretanto será utilizado pela equipe de projeto todo material que já estiver à disposição no IFSC.

3.3.5.2. Matriz Morfológica com os Resultados

Para a comparação dos itens foi elaborado uma série de tabelas de Pugh que segundo CARPES JUNIOR (2014), este método busca comparar as opções de solução, neste caso foi utilizado como base a solução de projeto de apoiar o veículo sobre uma célula de carga, o método funciona da seguinte maneira: Quando o resultado da comparação de duas soluções é favorável a uma delas, coloca-se o sinal de “+”, e o de “-” quando a solução é pior que aquela tomada como referência, caso ocorra um empate atribui-se o sinal de “=”.

Quando queremos avaliar a subfunção de apoiar o veículo levaremos em consideração os quesitos de segurança, economia, fácil aplicação e facilidade de transporte, essas condições serão analisadas levando em consideração a comparação com a solução de apoiar o veículo sobre uma célula de carga, o resultado desta avaliação encontra-se disponível na tabela 4 (tabela abaixo).

Tabela 4– Diagrama de Pugh da subfunção de apoiar veículo			
Crítérios	Cavaletes	Elevacar	Macaco Hidráulico
Segurança	+	+	=
Economia	=	-	=
Fácil Aplicação	-	-	-
Transporte	=	-	=
Total	0	-2	-1

Fonte: O autor (2018).

Analisando os resultados obtidos através da tabela de Pugh pode-se perceber que apoiar o veículo sobre a célula de carga é a melhor opção, já que além de apoiar-lo, ela também poderá efetuar a função de aferir a massa do mesmo, facilitando assim o desenvolvimento do projeto, além disso, do ponto de vista econômico o seu uso é vantajoso.

Com objetivo de avaliar a melhor solução proposta para a subfunção de conectar o smartphone ao sistema de medição, como referência foi utilizada a solução que usa o sistema de WI-FI, e com isso pode-se analisar os seguintes

critérios: economia de bateria, facilidade da aplicação, economia, facilidade no transporte, economia de recursos financeiros. Esta comparação encontra-se na tabela 5.

Tabela 5– Diagrama de Pugh da subfunção de conectar ao sistema de medição

Crítérios	Bluetooth	Cabo de dados	Infravermelho
Economia de bateria	-	+	-
Economia	=	-	+
Fácil Aplicação	=	-	-
Transporte	=	-	=
Total	-1	-2	-1

Fonte: O autor (2018).

Visto a tabela 5 é possível concluir que o uso do WI-FI se dá pela economia de bateria, já que os smartphone vigentes no mercado também apresentam Bluetooth integrado, desta forma a troca de dados via WI-FI acontece de forma a tornar a bateria do aparelho telefônico mais durável.

Quando se tem como objeto de avaliação o subsistema de aferição de massas do veículo, pode-se considerar como objeto base de comparação a solução que utiliza células de carga baseadas em extensômetros, e da mesma forma os critérios serão: economia, fácil aplicação, repetitividade nas medições, facilidade no transporte. Com base nisso foi elaborada a tabela 6 que apresenta este comparativo.

Tabela 6– Diagrama de Pugh da subfunção aferir a massa do veículo

Crítérios	Sistema hidráulico com transdutor de pressão	Balança puramente mecânica	Célula de carga com princípio óptico
repetitividade	=	=	+
Economia	-	+	-
Fácil Aplicação	-	-	-
Transporte	=	=	=
Total	-2	0	-1

Fonte: O autor (2018).

Como se pode analisar na tabela 6, o uso da célula de carga baseada em extensômetro é a mais adequada ao projeto, visto seu custo intermediário quando se compara as opções disponíveis e o seu custo-benefício, sendo assim, a solução será adotada como a mais adequada a esta subfunção do produto.

Por fim para que se possa aferir a inclinação na qual o veículo se encontra, o giroscópio do smartphone como solução base para comparação foi tomado como referência, os critérios para a comparação serão: repetitividade, economia, fácil aplicação, facilidade no transporte, com isso definido elaborou-se a tabela 7.

Tabela 7– Diagrama de Pugh da subfunção aferir a inclinação do veículo

Crítérios	Clinômetro	Cálculos Trigonométricos
Repetitividade	+	-
Economia	-	+
Fácil Aplicação	-	+
Transporte	=	+
Total	-1	2

Fonte: O autor (2018).

Visto a comparação da tabela 7 e a previa utilização do smartphone, será implementada duas das soluções propostas, cabendo ao usuário selecionar se deseja informar o ângulo calculado por cálculos trigonométricos, ou se o mesmo prefere fazer o uso do giroscópio de seu smartphone.

3.4. Projeto Preliminar

A construção do projeto preliminar abrirá caminho para as demais etapas, sendo que, “o princípio que deve orientar o projeto preliminar é busca do cumprimento das especificações, mantendo este cumprimento dentro da ideia de desenvolver um produto simples e claro na sua essência.” (CARPES, 2014).

Seguindo esta caracterização, a terceira etapa desta metodologia de projeto irá apresentar uma configuração geral do produto, juntamente com esboços, lista de materiais e processos de fabricação.

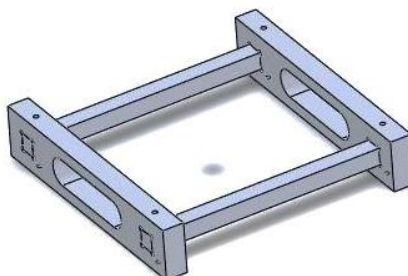
3.4.1. Configuração do produto

O projeto da Balança sem fios conta com a configuração modular, que segundo HUANG (2000) traz como benefícios ao projeto: economia na produção em escala, ampliação da variedade de produtos, redução do tempo de preparação das máquinas para fabricação, fácil manutenção, divisão da função do produto.

Essa ideia também vai de encontro com o princípio da engenharia de precisão que diz que cada uma das partes do produto deve ter uma única função, desta forma, a sua utilização acontece de forma a não interferir em outras funções do produto, como no caso de um parafuso que regula um ajuste e desregula outro ajuste em um produto qualquer.

O projeto foi dividido em duas grandes partes: uma elétrica e uma mecânica. Sendo que nos módulos elétricos se encontra: o módulo de medição e o módulo de comunicação. Enquanto na parte mecânica tem-se o módulo de apoio das células de carga e o módulo de células de carga, a configuração do produto será semelhante à exposta na figura 8.

Figura 8 – Representação dos módulos mecânicos do produto em CAD



Fonte: O autor (2018).

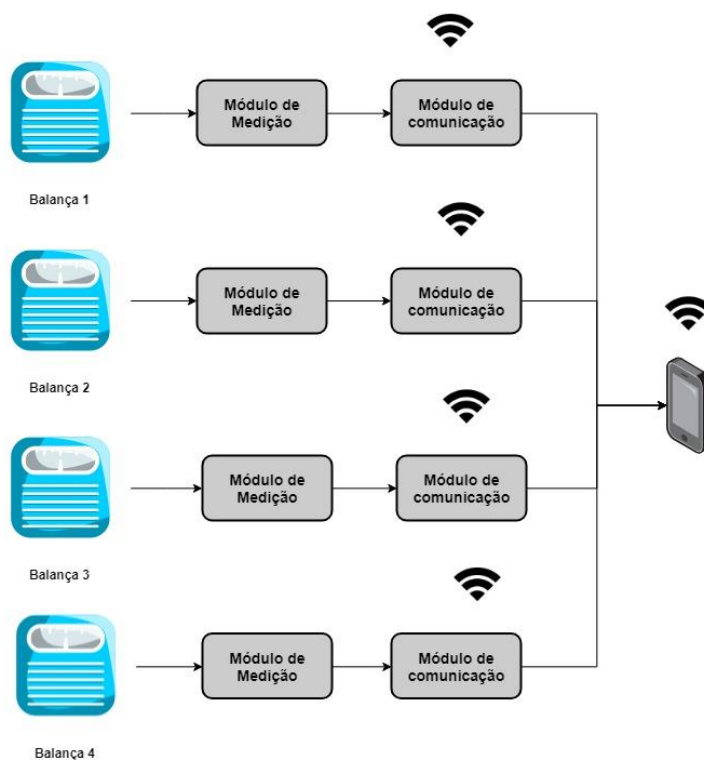
3.4.1.1. Módulos Mecânicos

O módulo de apoio das células de carga tem como função se apoiar sobre o solo e fazer com que o módulo de célula de carga funcione como uma viga bi engastada, que se flexiona quando uma massa é aplicada sobre as mesmas. Enquanto o módulo de célula de carga funciona de modo que ao aplicar uma carga sobre as vigas ocorre uma pequena deformação próxima ao engaste destas vigas, que serão interpretadas pelos extensômetros que ficaram colados nas proximidades da base de apoio.

3.4.1.2. Módulos Elétricos

Nos módulos elétricos tem-se um módulo de medição que tem por função realizar a leitura da variação da deformação dos extensômetros presentes nos módulos de células de carga, desta forma o sistema conta com um conversor analógico digital, que lê os sinais gerados pelas células de carga e passa para o sistema de comunicação, para que o mesmo envie as informações para o aplicativo presente no smartphone, a comunicação entre os módulos elétricos pode ser mais bem visualizada na figura 9.

Figura 9– Diagrama de Relacionamento dos módulos elétricos

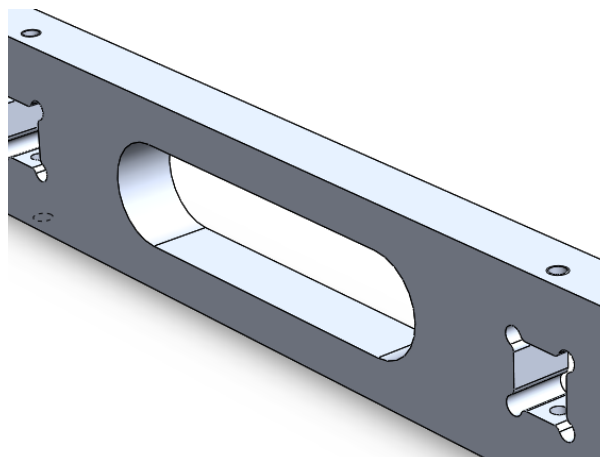


Fonte: O autor (2018).

3.4.2. Projeto para Ergonomia do produto

Com a finalidade de melhorar a experiência do consumidor final ao transportar o produto, o mesmo conta com alças de carga acoplada ao corpo desta forma o consumidor consegue carregar até duas balanças em uma única mão, o local designado para o transporte do produto pode ser visualizado na figura 10 onde pode se observar o oblongo construído pensando na ergonomia ao carregar o produto.

Figura 10– Oblongo de transporte do produto



Fonte: O autor (2018).

3.4.3. PROJETO PARA ECONOMIA DO PRODUTO

Durante todas as fases do projeto, a parte relacionada a gastos teve muita influência nas decisões do mesmo. Contudo, sempre foi muito bem destacado que o produto não pode ser somente barato, sendo que no mercado, preza-se bastante a eficiência do projeto, para que não ocorra uma má qualidade e consequentemente custos desnecessários. Por isso, foi elaborado a tabela 8, que está disposta a seguir para demonstrar o destino da quantia monetária a ser investida e seus possíveis desdobramentos.

Tabela 8 - Custos diretos e indiretos

Custos Diretos	• Execução do projeto
	• Protótipo
	• Testes
	• Material
	• Ferramentas
	• Energia
	• Supervisão
	• Limpeza
	• Proteção
	• Depreciação de máquinas
	• Software
Custos Indiretos	• Manutenção dos ambientes
	• Saúde
	• Conforto dos operadores
	• Supervisão

Fonte: O autor, 2018.

3.4.4. PROJETO SUSTENTÁVEL DO PRODUTO

A sustentabilidade está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e material, para garantir que não exista uma agressão ao meio ambiente, visto que, os recursos naturais têm de ser usados de forma inteligente, para que os mesmos não se tornem escassos, e continuem disponíveis no meio ambiente, para que possam ser utilizados pelas gerações futuras. Seguindo esses parâmetros, o produto foi desenvolvido a partir de peças e equipamentos foram concebidos utilizando um alumínio 7076-T6, que pode ser reciclado com facilidade, caso o mesmo seja descartado de forma correta.

3.4.5. PROJETO DE PRODUTIBILIDADE

Produtibilidade é a qualidade de um produto de ser facilmente produzido. Consegue-se atingir uma excelente produtividade quando se acerta nas escolhas dos processos produtivos de cada uma das peças, pois isso influencia o projeto na qualidade, na quantidade de material utilizado. A tabela 9 apresenta os principais processos de fabricação definidos para os módulos produzidos para o projeto, caso fossem produzidos em grandes quantidades:

Tabela 9 - Módulos e seus processos

Módulo	Material	Fabricação
Módulo de apoio	Alumínio 7076 – T6	Fresamento e Corte a laser
Módulo de células de carga	Alumínio 7076 – T6	Fresamento
Módulo elétrico	Componentes Eletrônicos	Corrosão e brasagem

Fonte: O autor, 2018.

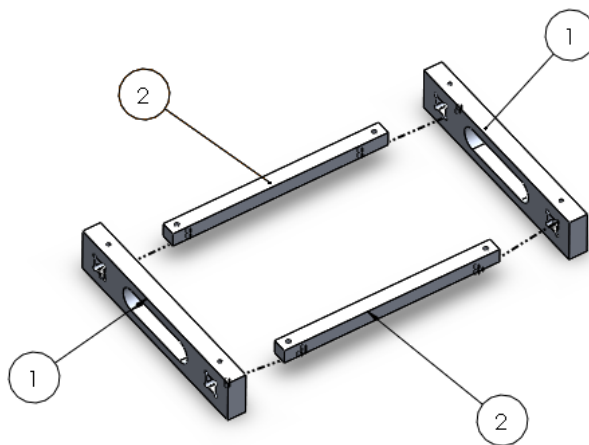
3.4.6. ESBOÇO DOS COMPONENTES E DO PRODUTO

Após determinar os módulos dos produtos faz-se necessário esboçar os componentes, para isso será realizado a definição do processo de fabricação bem como o material que o mesmo será fabricado, para cada peça do projeto. Desta forma o projeto ganhará vida e terá a sua forma física definida.

Com os esboços já prontos, será definida uma lista de componentes do produto, indicando a quantidade dos componentes, processos de fabricação e

material a ser utilizado podem ser visto na tabela 9 no projeto para a produtividade do produto. Na figura 11, é possível visualizar a configuração do produto e suas respectivas peças em uma vista explodida.

Figura 11 - Desenho técnico da balança em vista explodida.



Fonte: O autor, 2018.

3.5. Projeto Detalhado

Durante a última fase da metodologia de projeto, segundo explica CARPES JUNIOR (2014) deve-se formular a documentação capaz de permitir que o produto seja fabricado, incluindo informações sobre a configuração do mesmo, sua geometria e dimensões, acabamentos, seleção de matérias, métodos de produção e maquinário necessário para a fabricação.

Para isso é necessário que se produza o desenho técnico de cada uma das partes mecânicas do produto, layout de placas de circuito eletrônico, dimensionamento de componentes mecânicos e eletrônicos, esquemático elétrico e seleção de fixadores para o projeto, para melhor explicar a fabricação das partes do produto serão, explicadas as construções por módulos do produto, partindo do módulo elétrico e seus componentes, até os módulos mecânicos.

3.5.1. Módulos Elétricos

Para a fabricação dos módulos elétricos projeto é necessário que os equipamentos a serem utilizados no projeto sejam escolhidos, como: reguladores de tensão, resistores, capacitores, microprocessadores e conversores analógicos digitais. Para melhor entendermos esse processo no tópico de seleção de

equipamentos serão citados os componentes utilizados, e mais tarde no tópico de esquema elétrico mostraremos o relacionamento entre estes componentes.

3.5.2. Seleção de Equipamentos

Para o desenvolvimento deste produto utilizou-se um microcontrolador que é amplamente aplicado em aplicações de internet das coisas (ESP-12), este controlador permite que o usuário tenha acesso à internet sem fio, bem como criar uma rede de internet sem fio a partir deles, dispensando assim o uso de um roteador wireless para a criação a rede WI-FI (ELECROW, 2016).

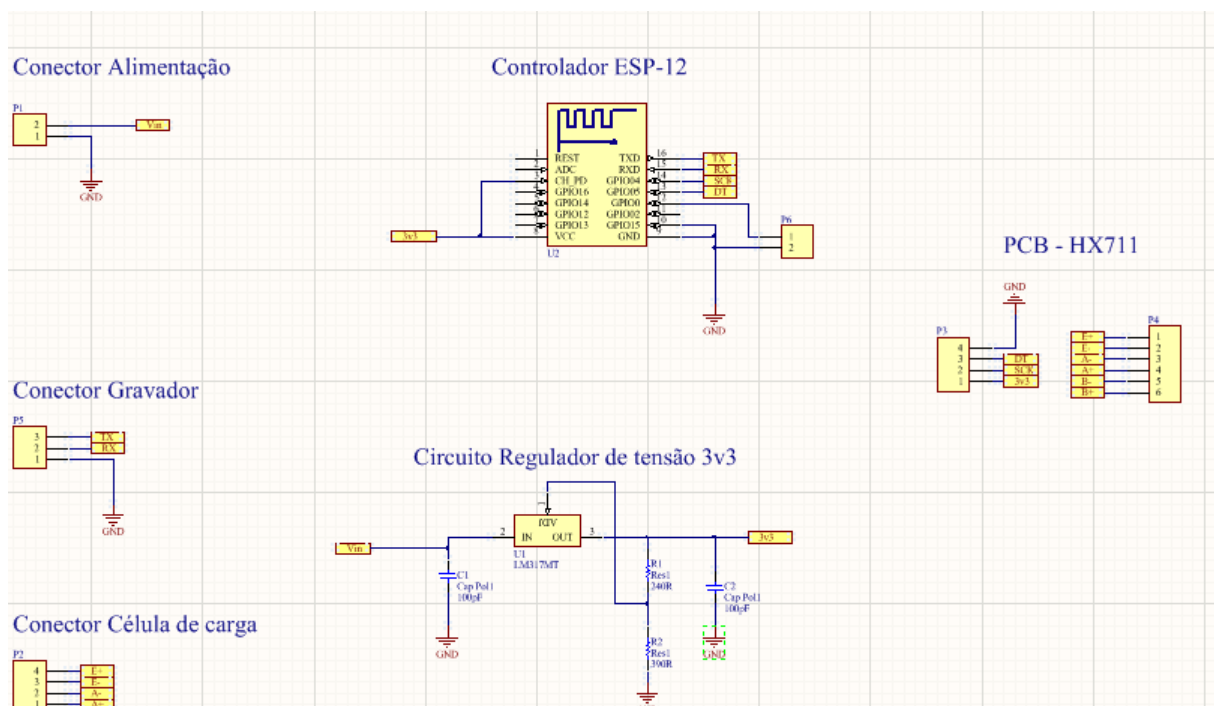
Trabalhando junto ao microcontrolador teremos um conversor analógico-digital de 24 bits, conhecido como HX-711, este circuito integrado e desenvolvido para aplicações especificar de células de carga, com eles não é necessário o uso de fontes simétricas para a alimentação do circuito, facilitando a eletrônica embarcada no projeto.

Para a alimentação dos circuitos selecionou-se um regulador de tensão variável (LM317), que tem a sua tensão de saída em função de dois resistores, desta forma as tensões de entrada serão sempre convertidas para a tensão de operação do microcontrolador e do conversor analógico digital (INSTRUMENT, 2016).

3.5.3. Esquema Elétrico

Com a descrição do circuito apresentada anteriormente, elaborou-se o circuito elétrico que descreve o que foi explicado anteriormente, desta forma a figura 12 vem trazendo o esquemático elétrico detalhado no projeto.

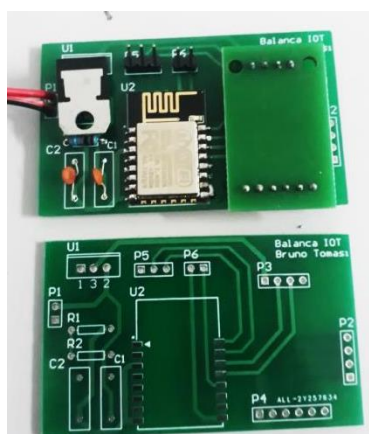
Figura 12 - Esquemático elétrico



Fonte: O autor, 2018.

A partir deste esquemático elétrico foi desenvolvida uma placa de circuito impresso que possibilitasse a construção do protótipo, figura 13, para isso elaborou-se o layout da placa de circuito impresso e a mesma foi construída viabilizando assim o início dos testes do produto.

Figura 13 - Protótipo Completo e Placa de circuito impresso



Fonte: O autor, 2018.

Durante a confecção do esquemático elétrico foi necessário dimensionar os resistores R1 e R2, que podem ser vistos na imagem acima, para que na saída do regulador de tensão posamos obter uma tensão de 3,3V ou próxima a isso, com isso utilizando a folha de dados do componente foram selecionados dois resistores,

sendo eles R1 com 240 Ohms e R2 com 383 Ohms, resultando assim em uma saída de 3,24V suficiente para o funcionamento do microcontrolador e também do conversor analógico digital.

A placa conta com uma barra de pinos P5 que serve para a conexão de um conversor USB para serial para que o microcontrolador possa ser regravado, entretanto para que isso seja possível é necessário que o conector p6 seja fechado e o microcontrolador seja reiniciado, desta forma este componente será inicializado no modo de gravação.

3.6. Módulos Mecânicos

A parte mecânica do projeto é basicamente constituída de duas bases que servem de apoio para as células de carga, a união destas partes é feitas através de quatro parafusos passantes, que realizam a fixação das células de carga nas bases de sustentação da mesma.

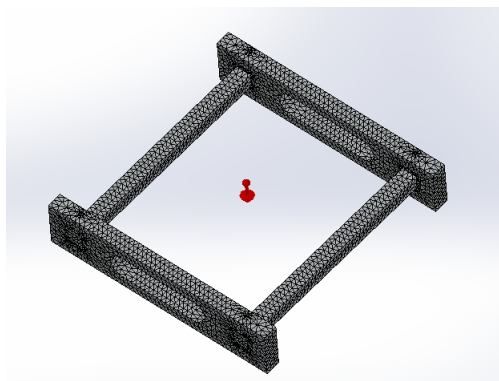
3.6.1. Dimensionamento Mecânico

O dimensionamento das partes mecânicas do projeto será feita através da técnica de elementos finitos, ou simplesmente FEA que segundo NORTON (2013), será cada vez mais encontrada nos projetos devido à facilidade de aplicação desta técnica e da vasta gama de softwares CAD que tem integrado a FEA, reduzindo assim o tempo de desenvolvimento e cálculo dimensional dos componentes.

O dimensionamento da parte mais crítica do projeto, as células de carga, foram feitas através de elementos finitos, utilizando um software de simulação de esforços nativo do Solidworks, nele definimos a carga máxima que o equipamento precisa suportar (1000 kg) e aplicamos essa carga no local onde a força vai solicitar a peça.

Com a região selecionada precisamos selecionar o grau de refinamento da malha que constitui o elemento mecânico, quanto mais grosseiro a malha que se seleciona para a parte, menor será o grau de detalhes dos esforços mecânicos serão apresentados no estudo da aplicação das forças, como pode ser visto na figura 14 logo abaixo.

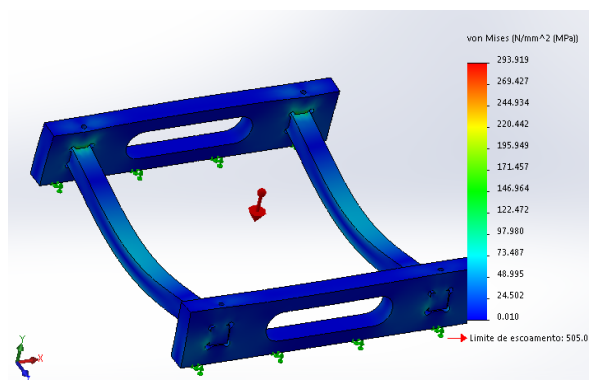
Figura 14 - Construção da malha de elementos finitos



Fonte: O autor, 2018.

Com a malha finalizada elaborou-se testes de tensão de Von Mises, desta forma podemos saber se em uma condição estática haverá ou não a falha do conjunto testado, o resultado da análise de tensões de Von Mises foram expostas na figura 15.

Figura 15 - Construção da malha de elementos finitos



Fonte: O autor, 2018.

Analisando a imagem, conseguimos perceber que com o alumínio selecionado, uma liga 7076-T6 conseguimos suportar a carga de 1 tonelada por roda do veículo com certa facilidade, visto que a tensão máxima que podemos observar na análise fica em torno de 171 MPa, quando a tensão máxima suportada pelo material antes que o mesmo chegue em seu limite de escoamento e de 505 Mpa.

3.6.2. Desenhos Técnicos

Visando manter uma construção dentro dos padrões esperados foram elaborados desenhos técnicos das peças a serem usinadas. Estes desenhos serão disponibilizados no apêndice A deste trabalho, basicamente teremos disponível o desenho da base de apoio das células de carga.

Para as células de carga também foi desenvolvido um desenho que representa o posicionamento dos extensômetros sobre a célula de carga, no local indicado devemos colar os extensômetros e realizar as ligações necessárias.

3.7. Montagem dos extensômetros

A montagem dos extensômetros foi realizada de acordo com a ASTM E1237-92, onde buscamos na fase inicial da colagem realizar a limpeza e preparação da superfície para que possamos aplicar o elemento colante sobre a peça, em um segundo momento realizou-se marcações para que o sensor possa ficar alinhado à posição de medição, com as marcações feitas aplica-se o elemento colante e fixamos o sensor sobre a peça e aguardamos o tempo de cura do elemento colante como pode ser observado na figura 16.

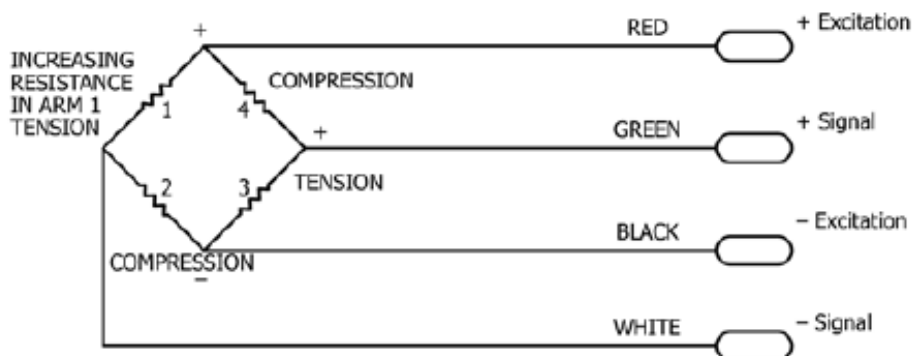
Figura 16 - Colagem dos extensômetros



Fonte: O autor, 2018.

Os extensômetros utilizados no projeto foram o BF350-3AA que encontram-se arranjados de forma a formar uma ponte completa de medição, neste quesito ainda buscou-se manter o padrão solicitado na ASTM E1237-92 que mostra que para ponte completa devemos manter a colocação da fiação vermelha para positivo, preta para negativo, verde para Sinal positivo e branco para o sinal negativo, como pode ser visto na figura 17 abaixo.

Figura 17 - Construção da ponte de Wheatstone com os extensômetros



Fonte: ASTM, 2014.

É importante ressaltar que os extensômetros devem ser ligados conforme mostra a figura 17, sempre levando em consideração mecânica no qual o extensômetro se encontra, caso o sistema não seja montado levando em consideração suas solicitações mecânicas a ponte fica desequilibrada e o sistema de medição não funcionará como o esperado.

3.8. Calibração das balanças

A calibração das balanças desenvolvidas neste projeto, segundo Albertazzi (2008) serão calibradas através do método de calibração direta, onde o método consiste em usar um objeto com massa padrão previamente calibrada e verificar se o dispositivo indica o mesmo valor de referência.

3.8.1. Calibração da balança projetada

Para a balança projetada a calibração foi realizando um ensaio utilizando um veículo suspenso através de um macaco, sobre uma balança convencional, que suporte até 160 kg com uma precisão de medição de 0,1kg, foi posicionada a balança a ser calibrada e colocado sobre as mesmas um veículo para que o mesmo servisse como carga sobre ambas as balanças.

A carga sobre a balança convencional e a balança a ser calibrada foi controlada através do macaco, quanto mais carga aplica-se sobre ambas as balanças mais descemos o veículo, isto fica evidente na figura 18 onde é mostrado o procedimento de calibração da balança proposta em projeto.

Figura 18 - Procedimento de calibração da balança projetada



Fonte: O autor, 2018.

Com a balança calibrada coletamos uma serie de leituras obtidas para esta massa conhecida, desta forma gerou-se a tabela 10, que apresenta os valores de massas coletados após a calibração de ganho da balança, com estes dados conseguimos aferir o erro de medição desta balança, que seguindo diretrizes de projeto deveria ser menor ou igual a 10 kg, já que este erro de medição representa 1% de erro em relação ao valor máximo de leitura proposto por célula de carga.

Tabela 10 - Tabela de calibração de balança

Valor lido	Valor absoluto	Erro (%)
152,50	157,7	-3,3%
149,10	151,1	-1,3%
153,50	153,5	0,0%
157,00	152,3	3,1%
153,60	152,3	0,9%
152,90	153,9	-0,6%
152,90	152,4	0,3%
158,70	153,4	3,5%
158,60	153,0	3,7%
161,60	155,8	3,7%

Fonte: O autor, 2018.

Através deste levantamento de valores conseguimos levantar a incerteza de medição gerada através de nosso instrumento de medição, para isso, segundo Albertazzi (2008) deve-se assumir como erro de medição sendo o erro máximo do instrumento que foi utilizado para realizar a calibração, logo 0,1 kg, mais a incerteza padrão das “n” indicações multiplicadas pelo t de student de 95%. Com isso chegamos a um resultado de incerteza de medição de 0,85% quando comparado ao valor máximo que pode ser aferido com o equipamento, no caso 1000 kg.

3.9. Desenvolvidos dos Softwares

Para a integração da mecânica e eletrônica com o usuário faz-se necessário o desenvolvimento de uma IHM (interface homem-máquina), para isso um aplicativo Android foi desenvolvido, através dele nos conectamos nas balanças que se encontram abaixo de cada uma das rodas no veículo e realizamos a leitura da massa de cada uma das rodas.

Para que o sistema baseado em Android consiga acessar a leitura de cada uma das balanças, a balança que deve ser posicionado na roda dianteira esquerda assume a função de master e cria uma rede WI-FI para que possamos integrar todos os dispositivos, todos os demais dispositivos de conectam nesta balança e trocam informações com o Android.

Tanto o master quanto os slaves tem um endereço de IP fixo dentro desta rede e criam em uma determinada porta do IP uma saída de dados para que o Android possa acessá-lo, desta forma quando ocorre uma requisição de determinado IP com a porta correta, recebemos de volta o valor da massa que se encontra aplicada na balança solicitada.

3.9.1. Android Studio

Na interface do Android Studio elaborou-se um software através da linguagem de programação JAVA, nesta plataforma, na página inicial do software (figura 19) pedimos para que o usuário se conecte ao sistema de medição, no momento em que o usuário clica no botão de conectar o Android se desconecta da rede atual e conecta-se na rede da balança.

Figura 19 - Pagina inicial do aplicativo Android



Fonte: O autor, 2018.

A partir deste momento o Android começa a solicitar determinados endereços de IP através da porta 80, e esta começa a retornar o valor das massas lidas através das células de carga do endereço de IP especificado como pode ser visto na figura 20 onde é exibido a pagina de aferição de medidas das balanças.

Figura 20 - Pagina de medição de massa



Fonte: O autor, 2018.

Tomadas às medições de massa o usuário tem a opção de aferir o centro de gravidade do veículo, para isso ele necessita inclinar o veículo e apoiá-lo

exclusivamente sobre as rodas frontais, após isso deve informar ao sistema qual o ângulo o veículo encontra-se, caso o usuário não possua um giroscópio nativo em seu aparelho também é possível informar manualmente a inclinação do veículo, como pode ser visto na figura 21, entretanto mesmo usando o modo automático o usuário ainda necessitará informar as informações complementares ao cálculo de centro de massa.

Figura 21 - Página de entrada de dados complementares do veículo

Balança Automotiva 1.0

Modo Manual ☒

Inclinação do veículo (Graus)

15

Distancia entre eixos (Metros)

2

Largura do veículo (Metros)

1

Diâmetro da roda (Metros)

.4

Massa roda esquerda 5.84 kg Massa Roda Direita 0.87 kg

CONFIRMAR

Fonte: O autor, 2018.

Finalizado a aferição de massa inclinada do veículo o software irá informar ao usuário a posição em relação à roda dianteira esquerda do veículo do seu centro de massa, como pode ser visto na figura 22, onde podemos observar a altura do centro de gravidade em relação ao solo, e os afastamentos em torno de X e Y ao longo da carroceria do veículo.

Figura 22 - Página de cálculo de centro de massa



Fonte: O autor, 2018.

3.9.2. Arduino IDE

No software desenvolvido na interface do Arduino presente na placa principal (master), ocorre à criação de uma rede WI-FI que serve de base para a comunicação dos demais dispositivos, este mesmo software realiza a leitura da massa na roda frontal esquerda do carro, com a leitura finalizada o software inicializa um servidor web onde disponibiliza as informações lidas através de um IP específico.

Já nas placas escravas (slaves), da mesma forma que a placa principal, realiza a leitura de suas células de cargas e disponibilizam em as leituras em um endereço de IP específico para cada uma das placas da rede. Ao contrario da placa master, que cria uma rede WI-FI, nas placas slaves ocorre apenas o acesso à rede já disponibilizada pela placa master, caso as placas slaves não consigam estabelecer a conexão com a placa master nada ocorre no programa da mesma, nem mesmo a leitura das células de carga. Todos os códigos desenvolvidos serão disponibilizados nos apêndices B e C.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. Fabricação da balança projetada

Para fabricar as balanças em alumínio liga 7075 – T6, os processos de fabricação utilizados foram fresamento, furação e corte por eletroerosão a fio, o primeiro processo de fabricação utilizado foi o fresamento, no qual colocamos o material bruto nas dimensões solicitadas pelo desenho técnico.

Com o material bruto nas medidas adequadas foi realizado três furos por onde se daria o início da fabricação por eletroerosão a fio, desta forma facilitaria o posicionamento do fio de corte na peça, posicionado o fio iniciou-se os cortes do oblongo das bases e também do quadrado com alívios de tensões por onde passaria os cabos elétricos (figura 23).

Figura 23 - Corte eletro erosão a fio e seus resultado final

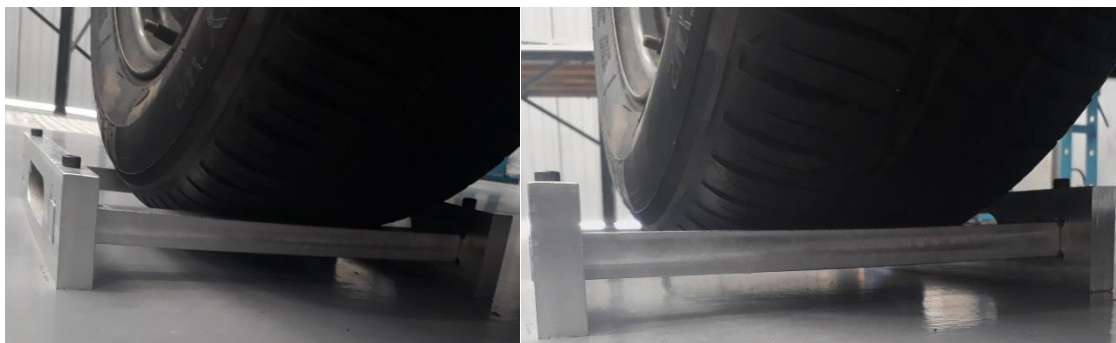


Fonte: O autor, 2018.

Finalizados os cortes por eletroerosão a fio obtivemos as bases na sua forma quase acabada, necessitando apenas realizar as furações para a fixação das células de carga que haviam sido fabricadas no processo de fresamento, entretanto ainda necessitava de furações que coincidisse com as furações das bases que sustentam as células de carga.

Finalizadas as furações a balança foi montada e um veículo de passeio teve uma de suas rodas apoiadas sobre a balança para verificar se a balança conseguiria sustentar o peso de um veículo. Nesta condição também foi verificado se a roda do veículo tocava o solo quando o mesmo fosse realizar a pesagem, isto pode ser visualizado na figura 24, vale salientar que o veículo utilizado no teste é um Santana com rodas aro 14 e tem uma massa total de 1095 kg.

Figura 24 - Veículo suspenso sobre a balança montada



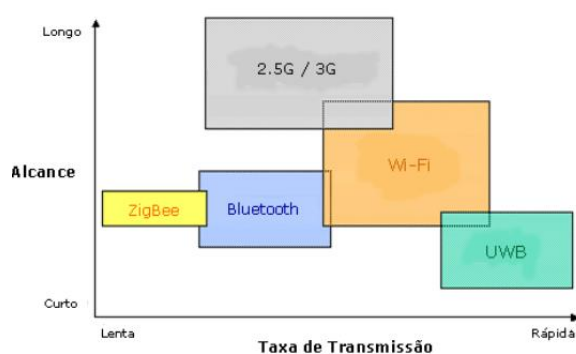
Fonte: O autor, 2018.

4.2. Comunicação sem fios

A parte eletrônica do produto foi concebida pensando em utilizar partes eletrônicas de baixo custo, mas sem abrir mão da precisão e da qualidade dos componentes, para isso utilizou-se um microcontrolador que possui conexão WI-FI integrado a mesmo (ESP-12), desta forma simplifica o projeto eletrônico do produto.

A comunicação WI-FI foi utilizada devido ao moderado consumo de energia elétrica quando comparada as demais formas de comunicação sem fio, como o bluetooth e a comunicação via zigbee, esta comunicação também tem uma boa taxa de transferência de arquivos como pode ser visto na figura 25 (SILVA, 2007).

Figura 25 - Comparativo de redes sem fios



Fonte: Silva (2007)

A troca de informações entre o aplicativo e as balanças ocorre a cada 1 segundo, tempo este que não interfere no resultado final da medição, já que a leitura sempre tenderá a estabilizar em um valor de massa. Uma das limitações da rede

criada pelo microcontrolador é quanto ao número de dispositivos que podem se conectar a rede.

Porém como pode ser visto na figura 25 a velocidade de comunicação pode ser elevada, pois dentre as redes de comunicação sem fios a WI-FI é uma das mais rápidas disponíveis, podendo transmitir até 54 Mb/s através da tecnologia utilizada no projeto, o que faz com que o tempo de atualização das leituras dos transdutores de massa possa ser feita muito mais rápido que uma vez a cada segundo.

4.3. Desempenho do aplicativo desenvolvido

O aplicativo desenvolvido se comporta muito bem em quase todas suas telas, tendo uma perda de desempenho na página em que o usuário entra com os dados adicionais para o cálculo da posição do centro de massa do veículo, neste momento o aplicativo apresentou alguns travamentos e perda de desempenho.

Esta perda de desempenho por parte do aplicativo acontece devido ao processamento em segundo plano estar sendo utilizada pela página de pesagem do veículo na condição inicial, fazendo com que o Android não libere mais um núcleo de processamento em segundo plano pra essa nova janela aberta.

Todavia o programa desenvolvido na linguagem de programação JAVA através do Android Studio se comportou conforme esperado e assim possibilitou realizar através dele medições satisfatórias das massas aferidas.

4.4. Medição da massa do veículo

O sistema metrológico desenvolvido funcionou conforme o esperado, respeitando o erro tolerado de medição é de 10 quilogramas, sendo que o valor máximo de massa a ser suportado pela balança será de uma tonelada, todavia mesmo com o erro de medida dentro dos padrões aceitáveis a uma célula de carga desta faixa de medição realizou-se dez ensaios variando a pressão dos pneus do veículo para verificar a mesma influência na medida obtida.

4.4.1. Medição com Variação da pressão do pneu

A fim de verificar se o sistema de medição é sensível à variação dos pneus do veículo, realizou-se dez ensaios em cada uma das pressões de pneus

disponíveis na tabela 12, a aferição do sistema de medição foi feito da mesma forma que a primeira calibração, entretanto desta vez utilizou-se uma balança comercial da marca Longacre modelo 72594 como pode ser visto na figura 26.

Figura 26 - Procedimento de variação da pressão dos pneus



Fonte: O autor, 2018.

Na tabela 11 encontram-se a média dos 10 ensaios realizados que compara a indicação da balança comercial com a balança desenvolvida, esta tabela mostra a leve variação da leitura da massa que ocorreu no decorrer das medições devido a força perpendicular a força peso que ocorre sobre as barrar que apoiam o veículo, quanto menor é a pressão dos pneus, melhor será o contato entre pneu e balança melhorando o resultado da medição obtida.

Tabela 11 - Resultados obtidos com a variação dos pneus

Pressão do pneu (psi)	Indicação Balança Projetada (kg)	Indicação Balança Comercial (kg)
32	362	352
30	362	352
28	361	351
26	359,5	351
24	355,4	351
22	352	351

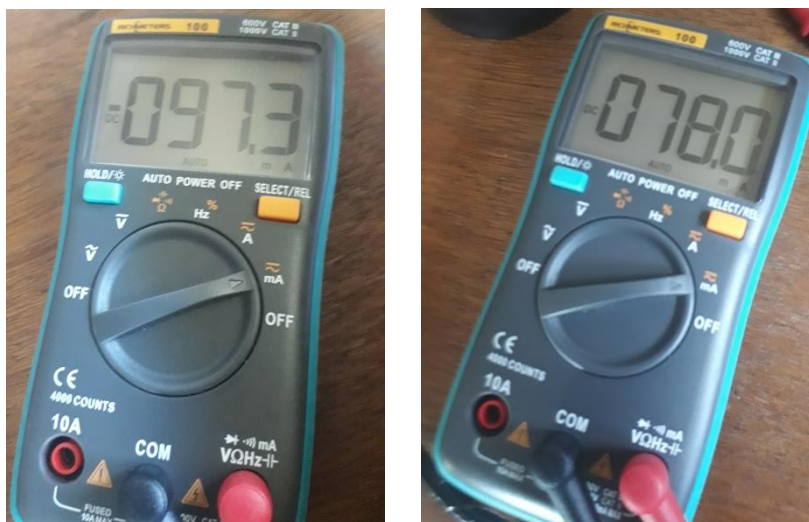
Fonte: O autor, 2018.

A partir das medições foi possível constatar que ocorreu um desvio padrão da medição de 4,1 quilogramas, erro este que fica dentro do escopo do projeto de produto que prevê um erro de medição de até 10 kg ou 1%.

4.5. Consumo energético do sistema eletrônico

Visando um baixo consumo energético devido o sistema trabalhar através de baterias, foi colocado um amperímetro em série com as placas master e slave desenvolvidas para o sistema, como mostra a figura 27, através deste teste foi possível identificar qual a potência utilizada pra cada uma das placas.

Figura 27 - Indicação do multímetro do consumo da placa master e slave



Fonte: O autor, 2018.

Como já podíamos prever a placa que gera a rede de WI-FI e se comunica com as demais redes tem um consumo energético de aproximadamente 24,7 % maior em relação as placas slaves, que fazem apenas o acesso a rede gerada pela placa master, o consumo da placa master de 97,3 mA a 5 V tem por resultado uma potência consumida de 0,5 W, já as placa slaves que consome 78 mA a 5 V tem por resultado uma potência consumida equivalente a 0,4 W em cada uma das placas.

Estes consumos são satisfatórios quando pensamos em dispositivos que se comunicam através de redes sem fios, entretanto este consumo poderia ser reduzido caso fosse utilizado o modo modem-sleep do microcontrolador, que tornaria o consumo quando o dispositivo estivesse ocioso na faixa de 15 mA (AI-THINKER, 2016).

4.5.1. Comparações com balança comercial longacre

Comparando as balanças da longacre com as balanças fabricadas durante este projeto, concluímos que em média o usuário da balança longacre

carrega aproximadamente 33 kg de equipamentos quando deseja realizar uma medição em campo, enquanto um usuário que tiver acesso a uma balança desenvolvida no decorrer deste projeto terá que carregar apenas 9 kg.

Ainda do ponto de vista mecânico uma vantagem do produto desenvolvido é a alça de transporte incorporada ao produto, facilitando o transporte e eliminando o uso de caixas de transporte, que no caso da longacre agrega 7 kg ao produto, peso no qual o usuário da balança desenvolvida consegue carregar praticamente todo seu equipamento.

Outro ponto em que a balança desenvolvida supera a longacre é quanto à resolução de medição, a longacre é sensível a medições de 0,5 em 0,5 kg, enquanto a balança desenvolvida responde na casa de 0,1 kg. Com isso o usuário consegue obter muito mais precisão nas medidas efetuadas.

4.6. Medição do centro de massa

A medição do centro de massa foi implementada no software do aplicativo, as equações sugeridas por MADUREIRA (1995) foram configuradas na aplicação e com isso o software encontra-se preparado para efetuar a aferição de centro de massas.

Os testes de medição de centro de massa não puderam ser realizados devido a uma limitação institucional de matéria prima para a produção de mais três balanças, que seriam utilizadas para pesar o carro nas condições planas e inclinada, os resultados destas medições seriam convertidos em uma posição X, Y e Z do centro de massa do veículo.

5. CONCLUSÃO

A pesquisa sobre medições através de transdutores de massa, ponto que deu início a este trabalho é imprescindível para que se entenda bem o funcionamento das balanças eletrônicas, suas normas de fabricações, dificuldades de fabricação. Conhecendo as normas que regem a produção de balanças comerciais partimos para o desenvolvimento eletrônico e mecânico das partes desejadas ao produto, com isso foi dado início a fase construtiva do projeto.

No decorrer da construção mecânica do produto, alguns processos de fabricação foram alterados visando fabricar de maneira mais fácil e precisa o instrumento de medição projetado, para isso a fabricação a laser foi substituída pela eletroerosão a fio, devido à disponibilidade institucional. Um grande problema da construção mecânica foi a baixa produção de uma balança, desta forma não sendo possível realizar todos os testes necessários.

O desenvolvimento eletrônico do produto partiu de um microcontrolador comercial, que tem integrado uma rede de comunicação WI-FI, desta maneira é possível se comunicar com as balanças e também realizar a leitura das células de carga de maneira satisfatória, este circuito funcionou de maneira satisfatória e realizou a medição das células de carga e também a comunicação entre elas com muita eficiência.

Para a integração da balança projetada para a pesagem do veículo com o usuário, foi desenvolvido um aplicativo que realiza a comunicação sem fio com as balanças, este aplicativo foi desenvolvido em JAVA com o auxílio do software Android studio, este software funcionou conforme o esperado e apresenta uma IHM bastante amigável ao usuário.

O consumo energético do sistema como um todo ficou um pouco abaixo do esperado, sendo que em algumas folhas de dados do componente a corrente consumida seria de aproximadamente 120 mA por placa, entretanto a corrente medida durante a operação foi de no máximo 100 mA, isso na placa master que gera a rede de Wi-Fi para os demais dispositivos utilizarem.

Devido à limitação da fabricação mecânica não foi possível aferir o centro de massa do veículo, pois não havia balanças suficientes para realizar este processo de medição, entretanto esta funcionalidade já está habilitada em software e

encontra-se na dependência da fabricação de novas balanças e da colagem dos extensômetros conforme normatizado na ASTM.

Como sugestão para trabalhos futuros seria o melhoramento do aplicativo, utilizando mais processamento em segundo plano, tornando assim a aplicação um pouco mais rápida e estável, outro ponto a ser melhorado no aplicativo é a verificação da comunicação a cada janela que exige medição, otimizando o tempo de processamento da aplicação.

Outro ponto importante para os trabalhos futuro seria a fabricação das demais balanças faltantes, fazendo com que o procedimento de medição de centro de massa dos veículos possa ser realizado com sucesso, e desta forma poderíamos testar o aplicativo por completo, é de extrema importância realizar estes testes com balanças idênticas, pois a variação da altura das balanças influencia na medição do centro de gravidade.

Para o melhoramento do consumo energético dos microcontroladores poderia ser utilizado à postagem dos dados lidos a cada variação de medição, ou seja, se o valor já foi postado no servidor de dados o microcontrolador entra em modo modem-sleep reduzindo o consumo de energia para menos da metade do consumo do consumo quando em operação de postagem de conteúdo, só voltando a entrar neste modo de postagem de conteúdos caso ocorra um novo evento de leitura.

6. REFERÊNCIAS

MERLING, Michael Cordeiro Carvalho. **Uma abordagem gerencial para o procedimento de projeto de suspensões de veículos terrestres**. 2007. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Puc-rio, Rio de Janeiro, 2007.

MADUREIRA, Osmar Moore de. **Dinâmica de Veículos**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, 1995. 58 p.

PROFORM. **7000 lb. Slim Wireless Vehicle Weighing System**. 2018. Disponível em: <<https://www.proformparts.com/product-detail/67645/billet-aluminum-vehicle-scale-wireless-7-000lb-total-capacity-hard-case-incld>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

WERNECK, Marcelo Martins. **Transdutores e interfaces**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996. 255 p.

IFSC. **Normas para Apresentação de Trabalhos Acadêmicos: Monografias e TCC**. Florianópolis: Ifsc, 2014. 41 p.

WEBER, Albano Luiz. **METROLOGIA E INSTRUMENTAÇÃO: Extensometria (Instrumentação)**. 2008. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM117/Arquivos%20H%E9lio/Strain_gauge%20e%20xtensometria.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2018.

TOGINHO FILHO, D. O.; PANTOJA, F. V. D.. **Lei de Hooke - coeficiente de elasticidade**. 2012. Disponível em: <[http://www.uel.br/pessoal/inocente/pages/arquivos/12-Lei de Hooke - coeficiente de elasticidade.pdf](http://www.uel.br/pessoal/inocente/pages/arquivos/12-Lei%20de%20Hooke%20-%20coeficiente%20de%20elasticidade.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2018.

IFSC, Instituto de Física de São Carlos. 2018. **Resistência e Corrente Elétrica**. Disponível em: <[http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2FFI0106 LabFisicaIII/04-ResistenciaCorrenteEletrica.pdf](http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2FFI0106%20LabFisicaIII/04-ResistenciaCorrenteEletrica.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2018.

GRANTE, Grupo de Análise e Projeto Mecânico UFSC. 2004. **Apostila de Extensometria**. Disponível em: <<http://grante.ufsc.br/download/Extensometria/SG-Apostila.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1030 p.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquinas de Shigley**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

ALMEIDA, Pedro Afonso de Oliveira. **TRANSDUTORES PARA MEDIDA DE DESLOCAMENTOS LINEARES**: Notas de aula. 2004. Disponível em: <<http://www.lem.ep.usp.br/pef5003/TRANSDUTORES-1.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

HUANG, C. C. **Overview of modular product development. Proceedings of the National Science Council – ROC (A)**, v. 24, n. 3, p. 149-165, 2000.

ASTM INTERNATIONAL. **E1237 – 93**: Standard Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages. 1 ed. Denvers, Ma: Astm, 2014. 4 p.

ALBERTAZZI, Armando; SOUZA, André Roberto de. **Fundamentos em metrologia científica e industrial**. Barueri: Manole Ltda, 2008. Cap. 5.

SILVA, André Teixeira da. **Módulos de Comunicação Wireless para Sensores**. 2007. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade do Porto, Porto, 2007. Disponível em: <<https://web.fe.up.pt/~ee02055/RelatorioTEC15.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2018.

AI-THINKER. **ESP-12E WiFi Module**. China: Ai-thinker, 2016.

INSTRUMENT, Texas. **LM317 3-Terminal Adjustable Regulator**. Florianópolis: Texas Instrument, 2016. 32 p. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018. Hx711

ELECROW. **ESP-12S**. Florianópolis: Elecrow, 2016. 17 p. Disponível em: <https://www.elecrow.com/download/ESP-12S_User_Manual.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.

TECH, Ags. **Coding System of Strain Gauges**. China: Ags Tech, 2012. 8 p. Disponível em: <<https://www.elecrow.com/download/Coding%20System%20of%20Strain%20Gauges-AGS-TECH%20Version.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2018.

WEBSTER, J.G. **The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook**. Boca Raton: CRC Press LLC, p. 22.1-22.19, 1999.

MARTINS JUNIOR, Sérgio Luiz et al. STEPE – SISTEMA TELEMÉTRICO DE PESAGEM AUTOMOTIVA. **Revista Ilha Digital**, Florianópolis, v. 4, n. 49, p.49-60, jan. 2013. Disponível em:

<<http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/index.php/ilhadigital/article/view/58/57>>.
Acesso em: 13 jul. 2018.

VISHAY PRECISION GROUPS. **Precision Strain Gages - Micro-Measurements Interactive Data Book (VMM-DB0103-1011)**. Disponível em
<<http://www.vishaypg.com/docs/50003/precsg.pdf>>. Acessado em 18 jun. 2018.

8. Apêndice B – Código ESP-12 Master

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <HX711_ADC.h>

//HX711 constructor (dout pin, sck pin)
HX711_ADC LoadCell(4, 5);
long t;
float i = 0;

const char *ssid = "ESPMaster";
const char *password = "12345678";
String Leitura_FE = "";

ESP8266WebServer server(80);

void handleRoot() {
  server.send(200, "text/plain", "OI");
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println();
  Serial.print("Configuring access point...");
  WiFi.softAP(ssid, password);
  IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
  Serial.print("AP IP address: ");
  Serial.println(myIP);
  server.on("/", handleRoot);
  server.begin();
  Serial.println("HTTP server started");
  LoadCell.begin();
  long stabilisingtime = 500; // tare preciscion
  can be improved by adding a few seconds of
  stabilising time
  LoadCell.start(stabilisingtime);
  LoadCell.setCalFactor(1101); // user set
  calibration factor (float)

  void loop() {
    Serial.println("entrou no loop");
    Serial.println("Entrando no loop");
    server.handleClient();
    LoadCell.update();

    if (millis() > t + 250) {
      i = LoadCell.getData();
      Serial.print("Load_cell output val: ");
      Serial.println(i);
      Leitura_FE = String(i);
      t = millis();
    }

    if (Serial.available() > 0) {
      i;
      char inByte = Serial.read();
      if (inByte == 't') LoadCell.tareNoDelay();
    }

    //check if last tare operation is complete
    if (LoadCell.getTareStatus() == true) {
      Serial.println("Tare complete");
    }

    server.handleClient();
    server.on("/FE", []() {
      server.send(200, "text/plain", Leitura_FE);
    });
    delay(1000);
  }
}
```

9. Apêndice C - Código ESP-12

Slave Traseiro direito

```
String Leitura_FD = "null";
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <HX711_ADC.h>

//HX711 constructor (dout pin, sck pin)
HX711_ADC LoadCell(4, 5);
long t;
float i=0;

float leitura_tdfloat = 300;
const char* ssid    = "ESPMaster";
const char* password = "12345678";
ESP8266WebServer server(80);

void handleRoot() {
  server.send(200, "text/plain", "OI");
  Serial.println("passou aqui");
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
  IPAddress ip(192, 168, 4, 10);
  IPAddress gateway(192, 168, 4, 1);
  IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);
  WiFi.config(ip, gateway, subnet);
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
  LoadCell.begin();
```

```
  long stabilisingtime = 100; // tare preciscion
  can be improved by adding a few seconds of
  stabilising time
  LoadCell.start(stabilisingtime);
  LoadCell.setCalFactor(696.0); // user set
  calibration factor (float)
```

```
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
```

```
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  server.begin();
  server.on("/", handleRoot);
}
```

```
void loop() {

  Serial.println("Entrando no loop");
  server.handleClient();
  LoadCell.update();

  if (millis() > t + 250) {
    i = LoadCell.getData();
    Serial.print("Load_cell output val: ");
    Serial.println(i);
    leitura_tdfloat = i;
    t = millis();
  }

  if (Serial.available() > 0) {
```

```
    i;
    char inByte = Serial.read();
    if (inByte == 't') LoadCell.tareNoDelay();
}

if (LoadCell.getTareStatus() == true) {
    Serial.println("Tare complete");
}
server.on("/TD", []() {
    server.send(200, "text/plain",
String(leitura_tdfloat));
});
delay(1000);
}
```