

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS PARA INDÚSTRIA
AUTOMOTIVA

SAULO LIMA DA SILVEIRA

**SISTEMA DE SENSORES PARA MONITORAMENTO DE PESO EM
VEÍCULOS DE CARGA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2021

SAULO LIMA DA SILVEIRA

SISTEMA DE SENSORES PARA MONITORAMENTO DE PESO EM VEÍCULOS DE CARGA

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos

CURITIBA
2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria
Automotiva



TERMO DE APROVAÇÃO

SISTEMA DE SENSORES PARA MONITORAMENTO DE PESO EM VEÍCULOS DE CARGA

por

SAULO LIMA DA SILVEIRA

Esta monografia foi apresentada em 08 de Dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

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

Dedico este trabalho à minha família,
pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Não existem páginas que possam contemplar o meu agradecimento a todas as pessoas que me ajudaram tanto na monografia quanto durante a especialização. Agradecimentos em especial a minha família, a Original Indústria e ao orientador Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos.

RESUMO

SILVEIRA, Saulo Lima da. **Sistema de Sensores para Monitoramento de Peso em Veículos de Carga**. 2021. 27 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

Este trabalho visa propor um sistema de sensores para monitorar o peso da carga de veículos de transporte. A proposta tem como base evitar que o motorista troque de carga, ou até mesmo faça fretes sem o conhecimento da companhia de transporte (proprietária do veículo). A solução proposta não é de um sistema único, mas sim de um produto que possa auxiliar o sistema de rastreamento, e telemetria, a monitorar e obter informações do compartimento de carga. A ideia apresentada consiste em estimar a altura do caminhão e o esforço na suspensão para correlacionar com o peso da carga. Para estimar a altura do veículo, propõem-se o uso de um sensor ultrassônico, enquanto que o esforço na suspensão propõe-se o uso de uma célula de carga acoplada diretamente em pontos estratégicos. Esta ideia de estimativa de peso com ultrassom já foi proposta no artigo do Jai Ganesh (*Truck Weighing Based on the Suspension of the Vehicle*). E a estimativa de peso através de célula de carga também já foi apresentada pela Scania. Devido às limitações de disponibilidade, não foi possível testar em um caminhão, sendo os dados apresentados somente provenientes de testes com um sensor ultrassônico.

Palavras-chave: Sistema. Sensores. Monitoramento. Ultrassom. Dados.

ABSTRACT

SILVEIRA, Saulo Lima da. **Sensors System for Monitoring Weight in Cargo Vehicles**. 2021. 27 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

This work aims to propose a sensor system to monitor the load weight of transport vehicles. The proposal is based on preventing the driver from changing the cargo, or even making freight without the knowledge of the transport company (the owner of the vehicle). The proposed solution is not a single system, but a product that can help the tracking and telemetry system to monitor and obtain information from the cargo compartment. The proposed idea is based on estimating the height of the truck and the tension in the suspension to correlate with the weight of the load. In order to estimate the vehicle height, it is proposing the use of an ultrasonic sensor, while the tensions in the suspension it is proposing the use of a load cell directly coupled in strategic points. This idea of ultrasound weight estimation was already proposed in the article by Jai Ganesh (Truck Weighing Based on the Suspension of the Vehicle). And the weight estimate through load cell has also been presented by Scania. Due to availability limitations, it was not possible to test in a truck. The data presented here is only coming from tests done with an ultrasonic sensor.

Keywords: System. Sensor. Monitoring. Ultrasound. Data.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 – Corte transversal de uma célula de carga.....	14
Figura 2 – Exemplos de transdutores ultrassônicos.....	15
Figura 3 – Exemplos de diretividade em sensores ultrassônicos.....	15
Figura 4 – Exemplos de transmissão e recepção do sinal de ultrassom.....	16
Figura 5 – Exemplos de transmissão e recepção do sinal de ultrassom.....	17
Figura 6 – Esquema de um sensor ultrassônico.....	18
Figura 7 – Exemplo de altura veículo sem carga e com carga.....	19
Figura 8 – Foto do teste do sensor ultrassônico.....	20
Tabela 1 – Comparação entre a fita métrica e a medição do sensor ultrassônico	21

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ASDIC	<i>Anti-Submarine Detection Investigation Committee</i> – Comitê de Investigação de Detecção Anti-submarino
SONAR	<i>Sound Navigation and Ranging</i> – Navegação e Determinação de Distância pelo Som
T	Temperatura
v(t)	Velocidade em função da temperatura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 PROBLEMA	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
1.3 JUSTIFICATIVA	11
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 CÉLULAS DE CARGA	13
2.2 SENSORES ULTRASSÔNICOS.....	14
2.2.1 Funcionamento de um Sensor Ultrassônico.....	16
2.2.2 Limitações	16
2.2.3 Elemento Sensitivo.....	17
3 DESENVOLVIMENTO	19
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	21
4.1 ITEM 1 DOS RESULTADOS.....	21
5 CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS.....	23
APÊNDICE A - Código do Programa Usado Para Testar o Sensor.....	25

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho sugere um sistema de medição de peso para veículos de carga, a fim de permitir ao controlador monitorar variações no peso que está no compartimento de carga do veículo. Como a variação da carga irá exercer variações na estrutura da suspensão, pode se observar dois pontos de possibilidade para monitorar a alteração na carga, sendo a altura do veículo e o esforço na suspensão. Jai Ganesh publicou um artigo a respeito de monitoramento de peso com ultrassom, em seu artigo *Truck Weighing Based on the Suspension of the Vehicle*¹, que serviu de base para este trabalho.

Para o monitoramento, será proposto um sistema que consiste em uso simultâneo de um (ou mais) sensor ultrassônico e uma (ou mais) célula de carga para estimar o peso no momento em que é feita a carga do veículo e periodicamente durante o trajeto do frete.

1.1 PROBLEMA

Este monitoramento será útil para que a empresa frotista possa monitorar se o condutor está fazendo “frete por fora”, ou fazendo troca da carga sem autorização durante a fase de transporte. Dentre os sistemas já existentes, por exemplo controle de abertura da porta do baú, esse sistema servirá de complemento em casos onde o motorista ou um terceiro burle o sistema atual. Mesmo que o infrator consiga burlar a abertura do baú, será possível monitorar a alteração no peso do compartimento. Este problema não é crítico, entretanto pode gerar bastante economia para empresa pois ao evitar o transporte não autorizado de demais cargas, o consumo de combustível pode cair drasticamente.

¹ Disponível em: <<https://www.irjet.net/archives/V6/i5/IRJET-V6I5933.pdf>>. Acesso: 04 nov. 202q.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho, relativos ao problema anteriormente apresentado.

1.2.1 Objetivo Geral

Estabelecer uma forma de estimar e monitorar o peso de carga transportada em veículos de transporte de carga.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral, neste trabalho de conclusão de curso de especialização, os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Correlacionar o peso da carga com um ou mais sensor(es) ultrassônico(s);
- Correlacionar o peso da carga com um ou mais células de carga (também conhecidos como *strain gauges*);
- Estimar o peso da carga através da relação entre os sensores ultrassônicos e a célula de carga.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com um sistema de monitoramento de peso, além de apenas monitorar o peso do compartimento de carga, será possível identificar motoristas infratores que fazem uso pessoal do veículo da empresa. Com a identificação, será possível tomar medidas para que se evite serviços não contratados pela empresa frotista, pois cargas extra não irão gerar receita para a companhia proprietária do caminhão, e além de não gerar receita, irão gerar mais gastos com combustível e manutenção do veículo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi elaborado em seções a fim de permitir melhor entendimento. Foram desenvolvidas 5 seções, sendo a primeira a introdução, onde se apresenta o problema e a solução proposta. Também são apresentados os objetivos e justificativas.

Na segunda seção, trata-se do “Referencial teórico”, onde são apresentados a fundamentação teórica que foi necessária para elaborar a proposta.

Já a terceira seção, tem-se o “Desenvolvimento”, que apresenta como foram feitos os testes.

A quarta seção, “Apresentação e Análise dos Resultados” apresenta os dados obtidos através de testes.

A quinta, e última seção, traz a conclusão do trabalho.

Por último tem-se as referências, anexos e apêndices.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão apresentados os referenciais teóricos, frutos de pesquisa, que possibilitaram a elaboração da ideia, sendo em sua maioria com base em livros do setor automotivo.

2.1 CÉLULAS DE CARGA

As células de carga são compostas pelos *strain gages*, que são montados em peças de metal que permitam a compressão ou tensão. Os *strain gages* são diretamente inseridos no material, e apresentam diversos modelos e faixas de tolerância. Devido às limitações das células de carga, as forças de tração e compressão devem manter-se inferiores aos limites para que não haja danos ao dispositivo. Deve-se observar também a temperatura, pois esta irá interferir diretamente no sinal de saída da célula de carga. Para evitar danos a célula de carga, travas mecânicas devem ser adicionadas ao sistema para limitar os movimentos de tração e compressão. O erro de medição nos dispositivos de medição de podem ser estimados através de processos de calibração, conforme as normas: ASTM E 74, EM 10002-3, ISO 376 e BS EN 10002-3 (DAVIS, 2004, p. 75).

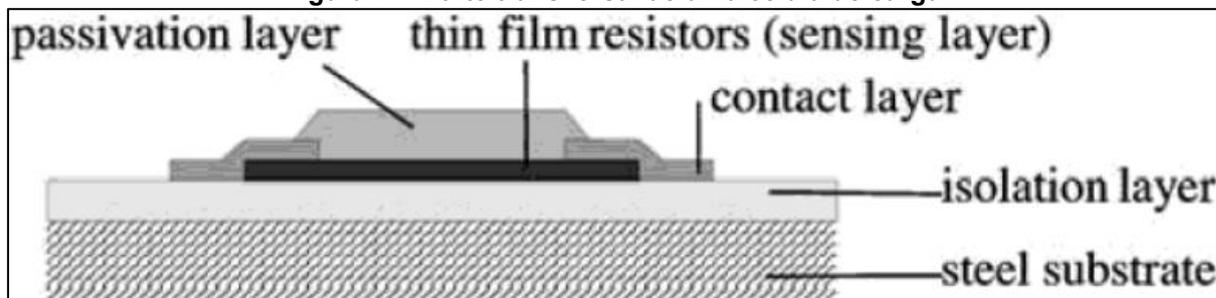
Assim como outros dispositivos, as células de carga também possuem suas limitações e aplicações. Alguns órgãos, com muita experiência, são capazes de calibrar células com desvio que chegam a 1 ppm (partes por milhão) (ANDERSON; RAYBOLD, 1969, p. 3).

Não se deve calibrar uma célula de carga em sua capacidade máxima, pois nesse ponto a célula poderá ser danificada. Ao se trabalhar com a célula de carga em sua capacidade máxima, esta poderá alterar o seu ponto de zero. Normalmente é recomendado que se utilize metade da carga máxima suportada pela célula de carga (GARDINER *et al.*, 2003, p. 48)

As células de carga são elementos capazes de converter esforço mecânico em um sinal elétrico. Um dos modelos mais importantes é o de resistor de filme fino (*thin film resistor*), que é muito utilizado em sistemas para medir grandes pressões. Essa cama é feita de óxidos de silício e óxidos de alumínio. Na célula de carga, encontra-se o suporte metálico (feito de aço inoxidável), camada isolante, e o

resistor de filme fino (que é preso na camada de contato, e uma camada de proteção. Essa descrição pode ser vista na Figura 1 (MAREK *et al.*, 2006, p. 127).

Figura 1 – Corte transversal de uma célula de carga



Fonte: Marek *et al.* (2006).

2.2 SENSORES ULTRASSÔNICOS

Os sensores ultrassônicos são usados nas mais diversas aplicações, tanto como sensores de presença, quanto para medir distâncias. Os sensores ultrassônicos funcionam com base na recepção e transmissão de uma onda sonora.

Em 1917 Langevin formulou um método para evitar colisão com icebergs, que consistia em utilizar o princípio de transmissão/recepção de ondas sonoras. Após um determinado tempo essa técnica foi utilizada para estimar profundidades de água. Com o passar do tempo o processo foi evoluindo e se transformando, permitindo o uso em inovações como SONAR (*Sound Navigation and Ranging* – navegação e determinação de distância pelo som) e o ASDIC (*Anti-Submarine Detection Investigation Committee* – Comitê de investigação de detecção Anti-submarino). Ambos para fins de mapeamento marítimo. Posteriormente, o ultrassom também passou a ser usado em representações visuais na medicina, na ordem de 1 a 10 MHz (POVEY; MASON, 1997, p. 7).

Embora as primeiras tecnologias empregadas na eco localização se assemelhem muito as utilizadas no ultrassom, estas não estão dentro da faixa de ultrassom pois estas operavam na faixa de 500 Hz a 22 kHz. Já os equipamentos de ultrassom funcionam com frequências entre 20 kHz a 1 GHz, enquanto que a capacidade média de audição humana está entre 20 e 20.000 Hz. Na Figura 2, tem-se exemplos de transdutores ultrassônicos, que possuem frequência de 1 GHz, 200 MHz e 100 MHz (FUHR; ZIMMERMANN, 2021).

Figura 2 – Exemplos de transdutores ultrassônicos



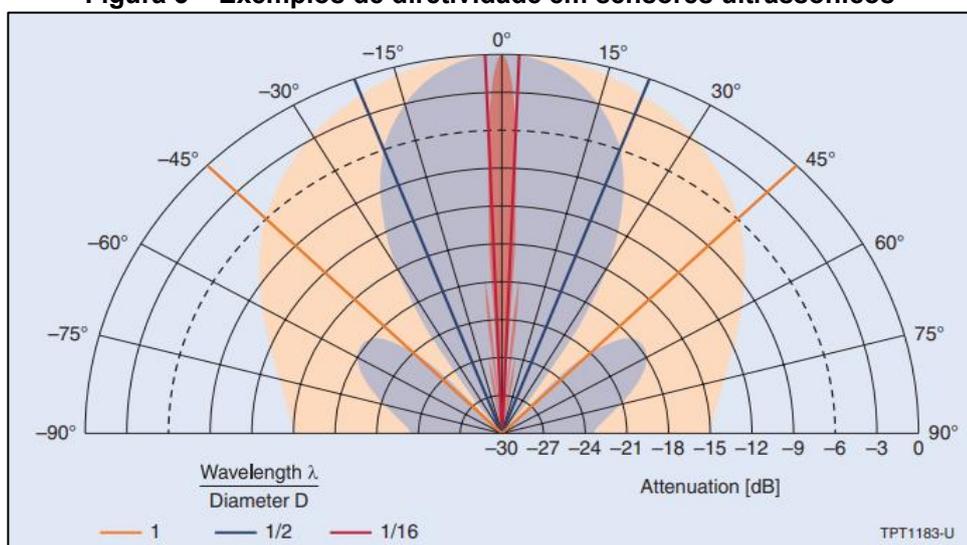
Fonte: Fuhr e Zimmermann (2021).

A frequência que o sensor atua irá influenciar na faixa de medição do transdutor, pois a resolução aumenta com frequências elevadas. Entretanto a medida em que a frequência aumenta diminui-se a distância de atuação do sensor, pois com frequências elevadas o sinal se atenua mais intensamente. De acordo com Huang *et al.* (2010) pode-se classificar os sensores ultrassônicos em duas classes:

- Alta diretividade: sensores cujo feixe de abertura é 15°;
- Baixa diretividade: sensores cujo feixe de abertura é 50°.

A área de sensibilidade do feixe ultrassônico pode ser entendida como a diretividade. Ângulos menores possuem área de mapeamento menor, entretanto a precisão é maior em relação aos de ângulos maiores. De acordo com TDK Electronics (2019) o cociente entre o diâmetro da membrana e o comprimento de onda está fortemente correlacionado com a diretividade. Os feixes de baixa diretividade são constituídos de membranas que possuem diâmetros menores. Na Figura 3 é possível visualizar um exemplo gráfico de feixes de baixa diretividade e de alta diretividade, sendo representados pelas áreas roxo e rosa na devida ordem.

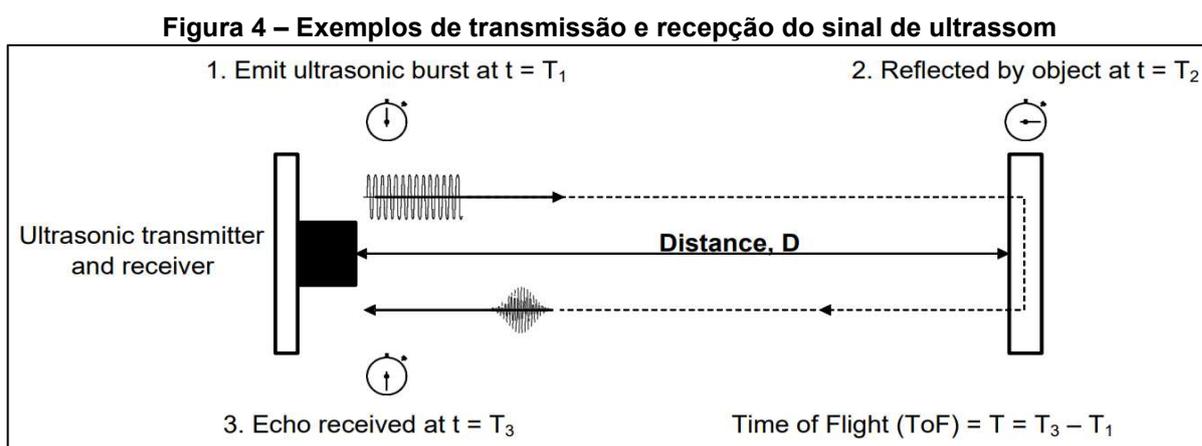
Figura 3 – Exemplos de diretividade em sensores ultrassônicos



Fonte: TDK Electronics (2019).

2.2.1 Funcionamento de um Sensor Ultrassônico

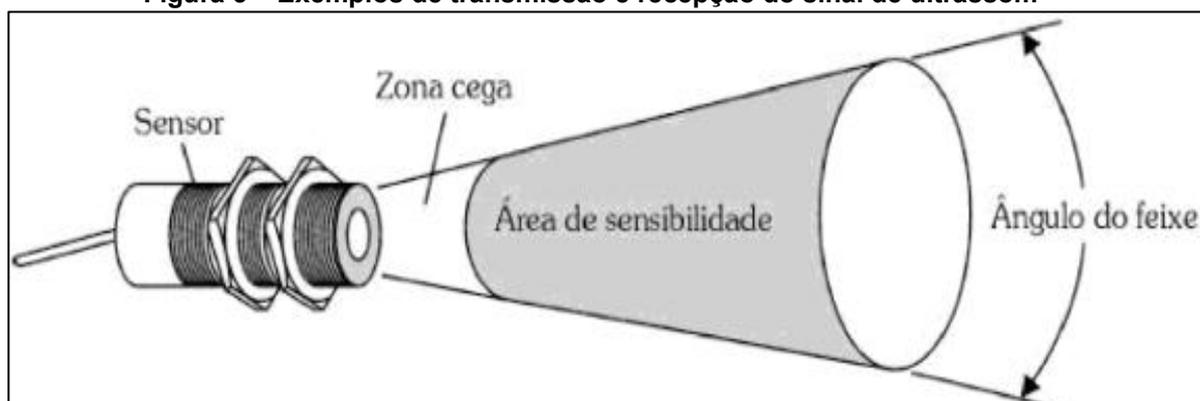
Através da transmissão e recepção sonora, o ultrassom é capaz de identificar um objeto ou ainda estimar sua distância. Quando o sensor envia um sinal de ultrassom, caso haja algum objeto em seu caminho a onda enviada irá incidir no objeto e esta será refletida. Com base na onda que retorna (eco) é feita a estimativa da posição do objeto pelo ToF (*time off light* – tempo de percurso). A Figura 4 apresenta um esquema ilustrativo da transmissão e recepção do sinal. A aplicação irá definir a frequência de operação do sensor, que poderá variar de 25 a 500 kHz. Se a frequência for inferior a 50 kHz pode se utilizar o sensor para objetos que estejam a mais de 10 m de distância, enquanto que se a frequência de operação do sensor for superior a 200 kHz é indicado para medir posições cuja distância não ultrapasse 1 m (TEXAS INSTRUMENTS, 2015, p. 5).



2.2.2 Limitações

Apesar de bastante utilizados, os sensores não conseguem medir completamente toda a área a sua frente, mesmo respeitando a limitação de distância / frequência, pois estes possuem pontos de sombra (ou ainda zonas cegas) sendo um próximo ao sensor e o outro mais a frente do sensor. A Figura 5 apresenta os pontos de zonas cega. Além desses pontos de zona cega, os sensores possuem limitações quanto ao material utilizado, pois matérias menos densos tendem a absorver a onda ultrassônica (FRANCHI; CAMARGO, 2009, p. 3-39).

Figura 5 – Exemplos de transmissão e recepção do sinal de ultrassom



Fonte: Franchi e Camargo (2009).

O receptor de eco e o gerador estão sujeitos a avarias externas, pois grandes variações de pressões podem danificá-los. Caso turbulências e temperaturas extremas não danifiquem os elementos do sensor, ainda assim podem interferir na medição, gerando valores corrompidos. A fim de minimizar a interferência da temperatura muitos fabricantes incluem um sensor de temperatura para compensar o erro de medição. Como o som varia sua velocidade de propagação em função da temperatura, a Equação 1 apresenta a fórmula de correção quando o meio de propagação é o ar, permitindo a correção da velocidade em função da temperatura (TERZIC *et al.*, 2013, p. 3)

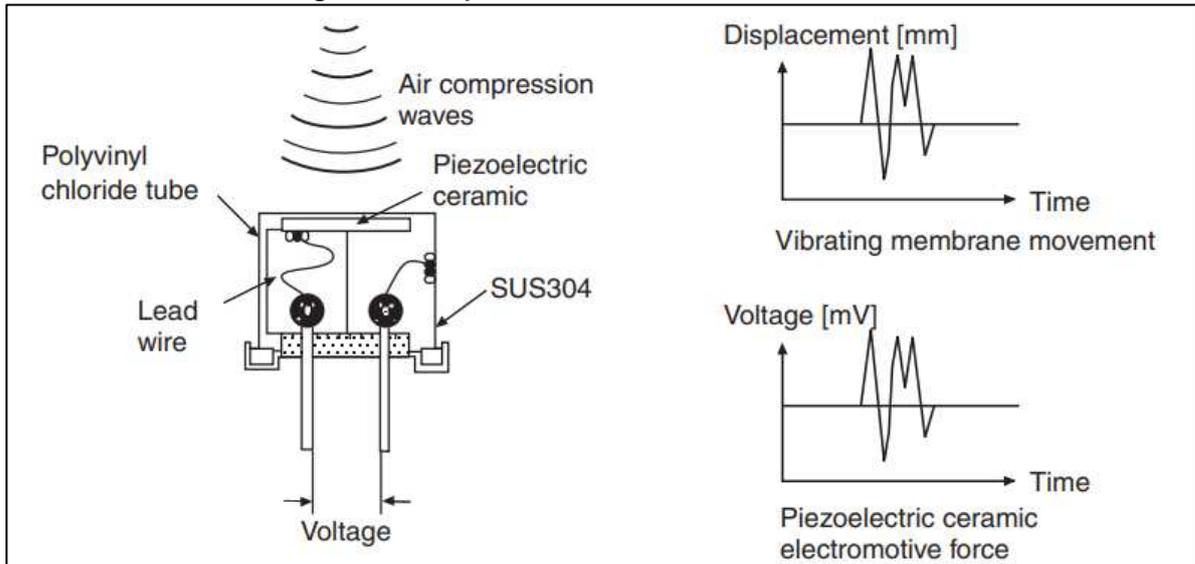
$$v(T) = 331,3 + 0,607T \quad [\text{m/s}] \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo T a temperatura ambiente em graus Celsius.

2.2.3 Elemento Sensitivo

O piezoelétrico (cerâmico) é o principal elemento construtivo usado nos sensores ultrassônicos. O piezoelétrico é capaz de produzir força eletromecânica através de uma fonte elétrica. Da mesma forma, quando se aplica uma força eletromecânica, observa-se uma tensão elétrica proporcional em seus eletrodos. Na Figura 6 tem-se um exemplo dessa geração (OMRON, 2016, p. 1).

Figura 6 – Esquema de um sensor ultrassônico



Fonte: Omron (2016, p. 1).

3 DESENVOLVIMENTO

Ao se carregar o caminhão, a parte do chassi tende a baixar de acordo com a carga colocada. Esse processo é normal, desde que seja respeitado o limite máximo de carga do veículo. A Figura 7 apresenta a imagem de (a) um caminhão sem carga e (b) com carga. O sistema proposto funcionará com base nesta movimentação do chassi.



Fonte: Adaptada de guia do TRC².

O sensor ultrassônico possibilitará monitorar a distância entre o chassi e o chão, de tal forma que o peso será estimado com base nessa diferença. Já a célula de carga irá monitorar a deformação da suspensão, possibilitando a medição de forma semelhante a uma balança. A Scania³ possui um sistema um pouco parecido, sendo uma célula de carga acoplada entre o chassi e a suspensão. Mas no caso deste trabalho, pretende-se utilizar o *straining gauge* diretamente na suspensão. Para fase inicial de projeto, foi utilizado um sensor ultrassônico HC-SR04. Este sensor permite medir distâncias de 2 cm a 450 cm com precisão de 3 mm.

Para simular a variação de altura do chassi, o sensor foi posicionado diante de um obstáculo sobre uma fita métrica. Então variando-se a distância do sensor e o objeto, foi possível comparar o valor de saída com a posição da fita métrica. O sistema montado pode ser observado na Figura 8, onde é apresentado a foto da simulação.

² Disponível em: <<http://www.guiadotrc.com.br/noticias/not.asp?id=26984&areas=not>>. Acesso: 14 nov. 2021.

³ Disponível em: <https://til.scania.com/w/bwm_0000911_01>. Acesso: 04 fev. 2022.

Figura 8 – Foto do teste do sensor ultrassônico



Fonte: Autoria própria.

Para testar o sensor, foi utilizado um Seeeduino Mega, que é uma variação do Arduino Mega. Esta versão utiliza um microcontrolador ATmega2560, que é compatível com a interface de desenvolvimento do Arduino Mega.

Não foi possível simular a célula de carga, pois o sensor não chegou a tempo. O código da simulação do sensor ultrassônico encontra-se disponível no Apêndice A.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta os dados obtidos dos testes em bancada do circuito de teste.

4.1 ITEM 1 DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos do teste do sensor ultrassônico, estão disponível na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação entre a fita métrica e a medição do sensor ultrassônico

Distância na fita métrica	Distância lida pelo sensor	Erro
10 cm	8,98 cm	10,2 %
20 cm	17,83 cm	10,9 %
30 cm	27,57 cm	8,1 %
40 cm	37,52 cm	6,2 %
50 cm	47,33 cm	5,3 %
60 cm	57,77 cm	3,7 %

Fonte: Autoria própria.

Os testes com a célula de carga não foram possíveis, pois a célula disponível foi danificada, e não houve tempo de ser substituída. O sistema também não pode ser testado, pois não havia veículo e nem carga disponível para que fosse realizados os testes.

5 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento do trabalho foi possível obter as bases e os fundamentos para elaboração do sistema de monitoramento de peso em veículos de carga, embora devido a eventos adversos, nesse momento não tenha sido possível finalizar completamente o sistema. O sensor ultrassônico apresentou uma boa resposta para monitorar a distância. Os erros obtidos com o teste do sensor, podem ser minimizados caso este esteja fixo em uma base, e não sofra rotação/inclinação. Futuramente espera-se que seja possível realizar testes com veículos que estejam aptos e disponíveis para testar os efeitos da carga no chassi, na suspensão e na altura do veículo. Propõem-se também que para trabalhos futuros, sejam considerados a utilização de sensores de pressão, pois veículos modernos costumam utilizar sistema de suspensão a ar, assim como o uso de sensores óticos ao invés dos de ultrassom.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, Gordon B.; RAYBOLD Robert C. **Studies of Calibration Procedures for Load Cells and Proving Rings as Weighing Devices**. Washington, DC: U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1969.

DAVIS, Joseph R. **Tensile Testing**. 2. ed. Ohio: ASM International, 2004.

FRANCHI, Claiton M.; CAMARGO, Valter L. A. de. **Controladores Lógicos Programáveis: sistemas discretos**. 2. ed. Brasil: Editora Érica, 2009.

FUHR, Günter R.; ZIMMERMANN, Heiko. High-frequency ultrasound transducers. **Fraunhofer Institute for Biomedical Engineering IBMT**. Ingbert, Germany. Disponível em: <https://www.ibmt.fraunhofer.de/content/dam/ibmt/en/documents/PDFs/ibmt-product-information-sheets/ibmt-ultrasound/US_am_High%20Frequency_en.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021.

GARDINER, Mary S.; *et al.* **Resilient Modulus Testing for Pavement Components**. West Conshohocken, PA: astm, 2003.

HUANG, De-Shuang; *et al.* **Advanced Intelligent Computing Theories and Applications**. Changsha, China: Springer, 2010.

MAREK, J.; *et al.* **Sensors for Automotive Technology**. v. 4. Wiley, 2006.

OMRON. Technical explanation for ultrasonic sensors. **Application note**. Copyright© OMRON, publicado em: 24 abr. 2016. Disponível em: <https://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/50/ultrasonic_tg_e_1_1.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2021.

POVEY, Malcolm J. W.; MASON, Timothy J.. **Ultrasound in Food Processing**. U.S.: Blackie Academic & Professional, 1998.

TDK ELECTRONICS. **Ultrasonic sensor disks for automotive and industrial application.** Application Note. 2019. Disponível em: <<https://www.tdk-electronics.tdk.com/download/2596934/d91a3323b17a563bc71e056fe354fbac/ultrasonic-sensors-an.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2021.

TEXAS INSTRUMENTS. Ultrasonic distance measurement boosterpack. **Application Note.** 2015. Disponível em: <<https://www.ti.com.cn/cn/lit/ug/tiduai8a/tiduai8a.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

TERZIC, J.; *et al.* **Ultrasoni Fluid Quantity Measurement in Dynamic Vehicular Appliations.** Switzerland: Springer International Publishing, 2013.

APÊNDICE A - Código do Programa Usado Para Testar o Sensor

Código do Programa Usado Para Testar o Sensor

```

/*
 * Código adaptado de:
 *      https://en.wikiversity.org/wiki/User:Dstaub/robotcar
 */

#define trigPin 13
#define echoPin 12

void setup()
{
    Serial.begin (9600);
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);
}

float leitura()
{
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10); // Added this line
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

    float distance = (float) 0.034 * duration / 2.0;

    if (distance >= 400 || distance <= 2)
    {
        Serial.println("Out of range");
        return -1.0;
    }

    return distance;
}

#define N 5.0

void loop()
{
    float auxD = 0;
    int i = (int)N;

    while(1)
    {
        float tempD = leitura();

```

```
if(tempD > 0)
{
    auxD = auxD + tempD;
    i--;

    if(i <= 0)
    {
        auxD = auxD/N;
        Serial.print(auxD);
        Serial.println(" cm");
        auxD = 0;
        i = (int)N;
    }
}

delay(70); //minimo 60 ms
}
```