

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA

DIEGO ESTEBAM
VINICIUS PEREIRA DE JESUS

**MÓDULO DE DETECÇÃO DE CARGA PARA VEICULOS COMERCIAIS
LEVES.**

Santo André

2025

MÓDULO DE DETECÇÃO DE CARGA PARA VEICULOS COMERCIAIS LEVES

Trabalho de conclusão de Curso
apresentado ao curso de tecnologia em
eletrônica automotiva da Fatec Santo André,
orientado pelo professor Doutor Edson Caoru Kitani, como
requisito parcial para obtenção do título de
Tecnólogo em eletrônica automotiva

São Paulo

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

E795m

Estebam, Diego

Módulo de detecção de carga para veículos comerciais leves /
Diego Estebam, Vinicius Pereira de Jesus. - Santo André, 2025.
– 53f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Sensores ópticos. 4. Tecnologia. 5. Suspensão. 6. Deformação. 7. Dispositivo eletrônico. 8. Módulo de detecção. 9. Carga. 10. Calibração. 11. Projeto. 12. Balança veicular. I. Jesus, Vinicius Pereira de. II. Módulo de detecção de carga para veículos comerciais leves.

629.2

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 28 de junho de 2025.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: “MÓDULO
DE DETECÇÃO DE CARGA PARA VEÍCULOS COMERCIAIS LEVES” DOS
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. EDSON CAORU KITANI _____

MEMBROS:

PROF. NOURIANDRES LIBORIO _____

PROF. NICOLINO FOSCHINI _____

**ALUNOS:**

DIEGO ESTEBAM _____



VINICIUS PEREIRA DE JESUS _____



Dedicatória

Dedicamos este trabalho a todos os familiares e profissionais do ramo logístico que possam ser afetados com o resultado deste dispositivo.

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus pela oportunidade de concluir mais uma etapa em nossas vidas, aos nossos familiares pela paciência, apoio e incentivo na elaboração deste projeto.

Agradecemos a todos os professores pelos ensinamentos que permitiram apresentar este projeto e especialmente ao nosso orientador, Prof. Dr. Edson Caoru Kitani, pelo seu vasto conhecimento e toda atenção dedicada e tempo despendido ao projeto.

Agradecemos à instituição Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC, Santo André).

“Esforce-se para não ser um sucesso, mas sim para ser valioso”.

Albert Einstein

Resumo:

Esse trabalho trata-se de um projeto de um módulo eletrônico automotivo de detecção de carga para veículos comerciais leves, como MERCEDES SPRINTER, FIAT DUCATO, RENAULT MASTER entre outros veículos desta categoria, esse projeto visa atender os usuários destes veículos tenham a capacidade de detectar a carga que o veículo está carregando, devido ao número de problemas encontrados no transporte de cargas em comerciais leves que são utilizados principalmente em áreas urbanas. O projeto utilizará sensores ópticos para medir a deformação da suspensão dos veículos para relativizar com a obtenção da carga carregada, sendo possível calibrar o dispositivo de acordo com o veículo.

Abstract:

The work is a project of an automotive electronic load detection module for light commercial vehicles, such as MERCEDES SPRINTER, FIAT DUCATO, RENAULT MASTER among other vehicles of this category, this project aims to serve the users of these vehicles have the ability to detect the load that the vehicle is carrying, due to the numerous number of problems encountered in the transportation of cargo in light commercial vehicles that are used mainly in urban areas. The project will use optical sensors to measure the deformation of the vehicle's suspension to relativize the obtained load, making it possible to calibrate the device according to the vehicle.

Lista de Ilustrações:

Figura 1 Capacidade de carga Ducato 2012.....	20
Figura 2 Suspensão de molas helicoidal (AUTOGLASS, 2020).....	22
Figura 3 Suspensão independente. (AUTOGLASS, 2020).....	23
Figura 4 Suspensão eixo rígido. (RASSINI NHK AUTOMOTIVE)	23
Figura 5 Mola helicoidal com amortecedor (COFAP, 2022).....	24
Figura 6 Molas helicoidais COFAP (COFAP, 2022).....	25
Figura 7 Feixe de Molas	26
Figura 8 Feixe de mola Linear.....	27
Figura 9 Feixe de Molas Progressiva	28
Figura 10 Diagrama de Blocos Projeto Fonte: Autor	29
Figura 11 ECU placa ESP32	31
Figura 12 Módulo sensor ótico	31
Figura 13 Diagrama de Bloco Programa	32
Figura 14 Fluxograma modulo de carga.....	33
Figura 15 Maquete simulando veículo sem carga	34
Figura 16 Carga utilizada para calibração da maquete	35
Figura 17 Carga aplicada sobre a maquete	35
Figura 18 Carga parcial, porcas metálicas	37
Figura 19 Peso parcial sobre a maquete.....	38
Figura 20 Grafico de carga x deslocamento.....	39
Figura 21 Maquete com modulo de carga instalado.....	40
Figura 22 Programa funcionando na tela do smartphone	40

Lista de Tabelas:

Tabela 1 Projetos comparados, Fonte: autor.....	18
Tabela 2 VLC mais utilizados atualmente, Fonte Autor.....	19
Tabela 1 Capacidade veículos, Stellantis (FIAT, 2020).....	34
Tabela 4 Especificações TOF050C, v16800 (STMICROELECTRONICS [STMICROELETRÔNICA], 2022).....	30
Tabela 5 Tabela de calibração maquete	36
Tabela 6 Tabela deslocamento peso parcial.....	37
Tabela 7 Comparação dos resultados com trabalhos pesquisados	41

Lista de Abreviaturas e Siglas:

CMT	Capacidade máxima que o veículo consegue tracionar.
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
ECU	Eletronic Control Unit
PBT	Peso bruto total
VLC	Veículo leve de carga
Wifi	Wireless Fidelity

Lista de símbolos:

K	Constante Elástica Da mola
F	Carga Exercida sobre a mola
X	Deformação da mola
L	Comprimento da mola
I	Momento de inércia da seção da Lâmina
E	Módulo de Elasticidade do Material (em Newtons/m ²)
Δy	Deflexão vertical do feixe de molas
V	Volts
Cm	Centímetros
mm	Milímetros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 MOTIVAÇÃO	14
1.2 OBJETIVO	15
2 DESENVOLVIMENTO.....	16
2.1 TIPOS DE VEÍCULOS.....	19
2.2 SUSPENSÕES	22
2.3 TIPOS DE MOLAS	24
2.3.1 MOLAS HELICOIDAL.....	25
2.3.2 FEIXES DE MOLAS	26
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	28
3.1 ALGORITMO DE PROGRAMA	31
3.2 DESENVOLVIMENTO PRÁTICO MAQUETE.....	34
4 TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	41
5 CONCLUSÃO	42
5.1-PROPOSTAS FUTURAS.....	43
REFERÊNCIAS.....	41
APÊNDICE A	46

1 Introdução

O transporte de cargas no Brasil começou com os caminhos coloniais, antes do século XIX, que eram feitos por trilhas precárias onde animais e escravos transportavam as cargas. Nesta época, em torno de 1835 começou o planejamento de estradas de ferro e em 1852 aconteceu a primeira inauguração da estrada de ferro de Mauá, no Rio de Janeiro, e posteriormente houve extensões da linha férrea com 418 km, nos anos seguintes teve construções de linhas férreas em outros estados, como Pernambuco, Bahia e São Paulo. Enquanto as ferrovias levavam grande atenção na sua construção, as estradas de rodagem não tinham muita atenção na sua expansão, e permaneciam como no período colonial.

A partir de 1926, no governo de Washington Luís, houve um grande desenvolvimento nas rodovias brasileiras. Rio-Petrópolis foi a primeira rodovia asfaltada no país e considerada um marco na engenharia nacional. Em 1944 foi criado o Plano Rodoviário Nacional, que pretendia ligar o país de norte a sul e em outras direções.

Na década de 1950, com a implantação da indústria automobilística, a aceleração do processo de industrialização e ainda a mudança da capital federal para Brasília, a rede rodoviária ampliou-se notavelmente e tornou-se a principal via de transporte de cargas e passageiros. No fim do século XX, a precária malha rodoviária já ocupava 65% do transporte de cargas e 92% do transporte de passageiros.

Nos dias de hoje, de acordo com a Secretaria Nacional de Trânsito, há mais de 3,5 milhões de caminhões em circulação no Brasil e cerca de 75% de todas as mercadorias que são movimentadas pelo território brasileiro utilizam o modal rodoviário, com isso existe um grande impacto na manutenção de rodovias e também na frota de veículos comerciais que desempenham o serviço de escoamento destas mercadorias. (COIMBRA, 1974) (TRANSPORTES, 2014)

Um dos problemas que mais impactam na manutenção, tanto nas rodovias quanto nos veículos: é o excesso de carga. Que no primeiro caso acabam deformando a malha asfáltica devido ao excesso de peso por eixo nos veículos, e nos veículos esse excesso de peso causa prejuízos danificando os componentes da suspensão, desgastes de

pneus, maior consumo de combustível e estrutura dos chassi ou no caso de longarinas nos veículos monoblocos, comprometendo a segurança veicular.

Nas grandes cidades, devido a proibição de circulação de veículos pesados esse serviço é feito massivamente por veículos leves de carga, ou VLC, como são chamados, e esses por ter uma menor capacidade de carga acabam sendo muito exigidos nas logísticas de empresas de transportes, que acabam transportando cargas acima do que foi projetado e é muito comumente exigências de veículos para logísticas nas cidades com cargas acima do que o veículo foi projetado, acarretando inevitavelmente em maiores manutenções na suspensão e estrutura dos veículos.

1.1 Motivação

A sobrecarga em veículos comerciais é muito comum no mercado de veículos leves de carga, pois eles são isentos de pesagem de balança rodoviária, ou seja, não há fiscalização do peso das cargas nas rodovias. Nas cidades não tem este dispositivo para que essa fiscalização, tornando assim mais comum um VLC com sobrecarga, por causa de exigências irresponsáveis realizadas por algumas empresas do ramo logístico que visam apenas o lucro e resultado, realizando pressão nos transportadores que em sua maioria são agregados autônomos ou pequenas empresa de transportes que se sujeitam a realizar entregas de cargas acima do limite da especificação do veículo, resultando um desgaste prematuro e prejuízo ao veículo e ao proprietário.

Na cidade o maior impacto da sobrecarga nos veículos são para os proprietários dos mesmos, que muito das vezes são terceirizados e agregados em empresas de logística, que ficam com a manutenção do veículo que tem sérios problemas de suspensão e os mais graves que são danos a estrutura do veículo, que em sua maioria são veículos monoblocos, que uma vez danificado seu reparo torna-se caro e perigoso, ainda mais quando esses são realizados sem qualquer responsabilidade técnica sem garantia da integridade e segurança do seu uso posterior, já nas estradas onde o transporte é feitos

por veículos pesados a sobrecarga também afeta o proprietário do veículo com danos a suspensão, mas também afeta a malha asfáltica que também foi projetada para atender um limite de peso por área de força peso aplicada, gerando manutenção tanto para os proprietários dos veículos, tanto para o governo ou concessionários das estradas que acabam sendo avariadas pelo excesso de carga nos veículos.

Em uma pesquisa realizada com motoristas de “entrega porta a porta” na categoria de entregas de mercadorias de comércio eletrônico, principalmente na área de alimentos, relatam que é comum as remessas para entrega não saírem com o peso exposto no romaneio das entregas, ficando esses motoristas às cegas quanto ao peso da carga que estão transportando, e ficando apenas com a garantia dita que as mercadorias selecionadas estão de acordo com a capacidade de carga do veículo e esses excessos são omitidos pelos contratantes.

1.2 Objetivo

Considerando essas questões com o transporte de cargas, através de pesquisas para desenvolver o projeto de um dispositivo que será instalado, a princípio, em um veículo leve de carga (VLC), mas que futuramente pode ser instalado em qualquer veículo de carga, mesmo nos pesados, que irá medir o peso que o veículo está transportando, para que o motorista e/ou proprietário saiba o peso real da carga transportada, e esse tendo a intenção de garantir o bom desempenho de seu veículo e de sua estrutura, possa conferir o peso que seria designada a cada tipo de veículo comercial de carga, evitando assim manutenções prematuras na estrutura de seu veículo. A priori foi escolhido o VLC pois a maioria destes atendem logísticas dentro de cidades e quando estão nas estradas são isentos de fiscalização por balança, mas o projeto visa uma extensão futura, para que possa ser utilizado por toda a frota de veículos comerciais, podendo também auxiliar os fabricantes de veículos por poder entender a distribuição dos pesos nos veículos de carga, e assim entender a dinâmica veicular para aprimoramento dos dispositivos de segurança passiva do veículo.

2 Desenvolvimento

Para o desenvolvimento do trabalho do "módulo de medição de carga de Veículos Leves" usando como base esses três projetos, incluindo-se as tecnologias desses três projetos, pode resultar em um sistema muito mais completo e eficiente. Isso poderia resolver os problemas de precisão e praticidade, oferecendo um monitoramento robusto que não só ajuda a evitar problemas, mas também melhora a segurança e a eficiência do transporte de carga. O monitoramento da carga de veículos é um aspecto crucial para garantir a segurança e eficiência no transporte rodoviário. Excesso de peso pode resultar em multas, aumento no consumo de combustível, desgaste excessivo de componentes e até mesmo acidentes. Além disso, a distribuição inadequada da carga pode comprometer a estabilidade do veículo, tornando-o mais suscetível a acidentes durante o trajeto. Para resolver esses problemas, foram desenvolvidas diversas tecnologias que buscam monitorar a carga de maneira precisa e contínua, e esta monografia tem como objetivo explorar três abordagens distintas que se complementam, criando uma solução mais eficiente e integrada.

O projeto de "Saulo Lima da Silva Silveira" a ser analisado é o "Projeto Sensor de Medição de Carga" de 2022, que utiliza sensores ultrassônicos para medir a altura do veículo em relação ao solo e, assim, estimar o peso da carga. A lógica é simples: à medida que o veículo é carregado, a suspensão se comprime e a altura do veículo diminui, permitindo uma estimativa do peso baseada nessa variação. Esta abordagem oferece uma solução prática e relativamente barata para monitoramento contínuo de carga. No entanto, uma das limitações dos sensores ultrassônicos é a sua sensibilidade a vibrações e condições ambientais adversas, como poeira e umidade, que podem afetar a precisão das medições. Embora esse sistema funcione bem em situações controladas, sua confiabilidade pode ser comprometida em ambientes mais desafiadores. (SILVEIRA, 2021)

A outra proposta interessante é a "Victor Magalhães Cosme" do "Sistema inteligente para Medição de Carga Veicular" desenvolvido em 2020. Esse sistema se diferencia pelo

uso de sensores a laser para monitorar o deslocamento da suspensão, uma abordagem que oferece maior precisão e estabilidade em comparação com os sensores ultrassônicos. Os sensores a laser são capazes de fornecer medições muito precisas, mesmo em ambientes com vibrações, o que torna o sistema confiável para monitoramento contínuo da carga durante o transporte. Por outro lado, a precisão tem seu custo: os sensores a laser são mais caros, o que pode representar um investimento maior para empresas que precisam equipar suas frotas com esse tipo de tecnologia. Contudo, para evitar problemas com multas e garantir a segurança, esse investimento pode ser compensador a longo prazo. (COSME, 2020)

O último projeto que merece destaque de “Bruno Possamai Della” é o "Sistema de Medição de Massa para Veículos via Conexão Sem Fios", de 2018. Esse projeto adota uma abordagem um pouco diferente ao usar células de carga instaladas sob cada roda do veículo. Essas células de carga medem diretamente o peso que cada roda suporta, fornecendo dados extremamente precisos sobre a distribuição de peso. Isso não só ajuda a determinar o peso total do veículo, mas também permite calcular o centro de gravidade, o que é essencial para garantir que a carga está distribuída de forma equilibrada. Uma das vantagens desse sistema é que ele oferece uma precisão muito alta e pode ser usado para ajustar a distribuição de peso antes do veículo iniciar sua jornada. No entanto, como esse sistema é estático, ele só pode medir a carga enquanto o veículo está parado, e sua instalação é mais complexa e cara. (TOMASI, 2018)

Após explorar as características de cada sistema, a ideia é integrar os melhores aspectos dessas tecnologias em um sistema híbrido e mais eficiente. O que propomos é combinar sensores a laser para monitoramento contínuo durante o trajeto com células de carga sobre as rodas para garantir uma medição precisa da distribuição de peso. Essa combinação permite obter um sistema que não só monitora a carga em tempo real, mas também ajuda a ajustar e balancear a carga antes de partir, garantindo um transporte seguro e eficiente. Adicionalmente, integrar um sistema de comunicação sem fio que transmita todos os dados para um dispositivo móvel (como um smartphone ou tablet) seria crucial para facilitar o acesso às informações em tempo real. O condutor ou gestor logístico poderia, assim, monitorar o peso total, a distribuição e até o centro de gravidade, tudo de forma prática e intuitiva.

Quando colocamos as três abordagens lado a lado, podemos ver claramente seus pontos fortes e fracos. O projeto com sensores ultrassônicos oferece um sistema simples e barato, mas com limitações em termos de precisão em ambientes adversos. O sistema inteligente com sensores a laser se destaca pela precisão e estabilidade, mas a um custo mais elevado. Por fim, o sistema com células de carga é o mais preciso para medir a distribuição de peso, mas é mais caro e complexo, além de ser limitado a medições estáticas.

Absorvendo essas ideias, a proposta é criar um sistema que use sensores a laser para monitoramento contínuo e células de carga para ajuste da distribuição antes da viagem, e futuramente com que possa ter uma comunicação sem fio para facilitar a leitura dos dados. Esse sistema híbrido poderia oferecer o melhor de ambos os mundos: a precisão necessária para evitar multas e problemas mecânicos, e a praticidade de um monitoramento contínuo para garantir a segurança durante todo o transporte.

Critérios	Saulo Lima da Silva Silveira (2022)	Victor Magalhães Cosme (2020)	Bruno Possamai Della (2018)
Tecnologia Principal	Sensor ultrassônicos	Sensor a laser	Células de carga
Precisão	Média	Alta	Muito Alta
Custo	Baixo	Média a alto	Alto
Monitoramento Contínuo	Sim	Sim	Não
Portabilidade	Sim embarcado	Sim embarcado	Limitado, mais adequado pra ambiente fixo
Complexidade de instalação	Simple	Moderada	Complexo
Comunicação	Não específico	Sim, dados exibidos em display	Sim, via Wi-Fi para dispositivos móveis
Medição distribuída	Limitado	Limitado	Alta (medição por rodas)

Tabela 2 Projetos comparados, Fonte: autor.

2.1 Tipos de Veículos

A proposta do projeto de medição de carga, a princípio, baseou-se em medir a carga carregada de veículos leves de carga (VLC), muito utilizados na distribuição de mercadorias em grandes centros urbanos, por esses veículos serem em sua maioria da categoria “caminhonete” e de eixo traseiro de rodagem simples. Foram utilizados como alvo VLCs mais utilizados no transporte de cargas no Brasil, já que estes são os veículos mais afetados pela sobrecarga, pois não sofrem fiscalizações por balanças rodoviárias.

Para referência foram pesquisadas especificações técnicas dos fabricantes dos veículos quanto a sua capacidade de carga e tolerância quando apresentada pelo mesmo.

Os veículos alvos para a proposta do projeto são os seguintes listados por montadora e modelo do veículo.

Fabricante	Modelo
Grupo Stellantis	Ducato/Boxer/Jumper/ Expert/Jumpy/Scudo
Ford	Transit
Mercedez-Benz	Sprinter/ Vito
Renault	Master
Volkswagen	Delivery Express
Kia	K2500

Tabela 3 VLC mais utilizados atualmente, Fonte Autor.

A seguir estarão especificações técnicas obtidas no manual dos fabricantes de veículos da Stellantis, para ilustrar as capacidades de carga de cada um de seus respectivos fabricantes: Stellantis Fiat Ducato/ Peugeot Boxer / Citroën Jumper

PESOS E CARGAS

Especificações (kg)

Peso/carga	Cargo L1H1	Cargo L2H1	Maxicargo L4H2	Multi L4H2	MaxiMulti XL4H2	Chassi Cab L4H1
Peso a vazio (com todos os líquidos e reservatório de combustível cheio a 90%), roda de reserva, ferramentas e acessórios.	2122	2171	2296	2331	2368	1910
Capacidade de carga	1378	1329	1204	1419	1382	1590
Cargas máximas admitidas (*)						
— eixo dianteiro	2000	2000	2000	2000	2000	2000
— eixo traseiro	2200	2200	2200	2200	2200	2200
— total	3500	3500	3500	3750	3750	3500
Cargas máximas rebocáveis (reboque sem freio)	750	750	750	750	750	750

(*) Cargas a não ultrapassar. É da responsabilidade do condutor dispor as mercadorias no vão do porta-malas e/ou no plano de carga, respeitando as cargas máximas admitidas.

Tabela 4 Capacidade veículos, Stellantis (FIAT, 2020)

Pode-se verificar na figura 1, a Fiat Ducato 2020 tem capacidade de carga em torno de 1380 kg, variando de acordo com a versão. Com isso temos um parâmetro para estabelecer limites na calibração do equipamento, de acordo com as especificações do fabricante de cada veículo. A seguir será exibida uma foto da etiqueta de um veículo Fiat Ducato, do ano 2012, com suas respectivas tabelas de carga.

FIAT DUCATO					
MODELO	ENTRE-EIXO (MM)	TARA (KG)	LOTAÇÃO (KG)	PBT (KG)	CMT (KG)
CARGO	2850	1760	1540	3300	3700
	3200	1770	1530	3300	3700
MAXICARGO	3200	1880	1620	3500	3900
	3700	1960	1540	3500	3900
MULTI	3200	1770	1530	3300	3700
	3700	1970	1530	3500	3900
COMBINATO	3200	2000	10 PASSAG.	3300	3700
MINIBÚS	3200	2100	16 PASSAG.	3300	3700
	3700	2310	16 PASSAG.	3500	3900

Figura 1 Capacidade de carga Ducato 2012

Conforme a exibição da foto anterior, vamos esclarecer os termos utilizados na mesma,

- Modelo: modelo dos veículos
- Entre eixo: distância entre o eixo dianteiro e o eixo traseiro do veículo.
- Tara: peso do veículo sem carga.
- Lotação: carga admitida para carregamento.
- PBT: peso bruto total, soma do peso do veículo mais a carga admitida.
- CMT: capacidade máxima que o veículo consegue tracionar.

Com esses dados já pode-se definir o início de uma calibração para um veículo específico, unindo os dados que o veículo possui adicionando dados da especificação técnica que não estão na etiqueta veicular, como é mostrado na figura 1, que é a capacidade por eixo do veículo.

A proposta do projeto além de verificar a sobrecarga do veículo por inteiro, também permitirá acompanhar a sobrecarga por eixo e por cada roda, mostrando como está a dinâmica veicular do veículo carregado, se a carga está bem distribuída ou se está mais dianteira ou traseira e ainda se está com peso em algum lado de um determinado eixo. A sobrecarga nos veículos afeta não somente a segurança, mas também a estrutura e a manutenção do veículo, e com este projeto visamos obter um maior controle sobre a dinâmica veicular, ainda de poder verificar a sobrecarga através da deformação da suspensão de acordo com o peso sobre o mesmo, este projeto pode ser instalado em qualquer veículo que possua suspensão de molas, onde o objetivo do equipamento é medir a deflexão da suspensão ao ser adicionado carga ao veículo, onde qualquer veículo que utilize suspensão de molas será possível o uso do equipamento., só é excluído o uso do equipamento de medição de sobre carga em veículos que possuem suspensão a ar, ou suspensão pneumática, pois elas na maioria das vezes corrigem a altura do veículo de acordo com a carga, para explicar melhor vamos apresentar os tipos suspensão utilizados nos veículos de carga.

2.2 Suspensões

A suspensão é o sistema responsável por conectar o chassi do veículo às rodas e por garantir estabilidade, controle e conforto ao conduzir. Seu principal papel é absorver impactos causados pelas irregularidades da estrada, mantendo o contato adequado entre as rodas e o solo e proporcionando segurança ao motorista e aos passageiros. Um sistema de suspensão eficiente ajuda a estabilizar o veículo em curvas, frenagens e acelerações, melhorando o controle do motorista e reduzindo a transferência de impactos para o interior do veículo, a seguir podemos observar os componentes de uma suspensão com molas helicoidal e seus componentes:



Figura 2 Suspensão de molas helicoidal (AUTOGLASS, 2020)

Tipos de Suspensão

Existem diferentes tipos de sistemas de suspensão, sendo os principais

Suspensão Independente: As rodas de um lado não afetam diretamente as do outro. Isso proporciona mais controle e conforto, pois cada roda reage de forma independente.

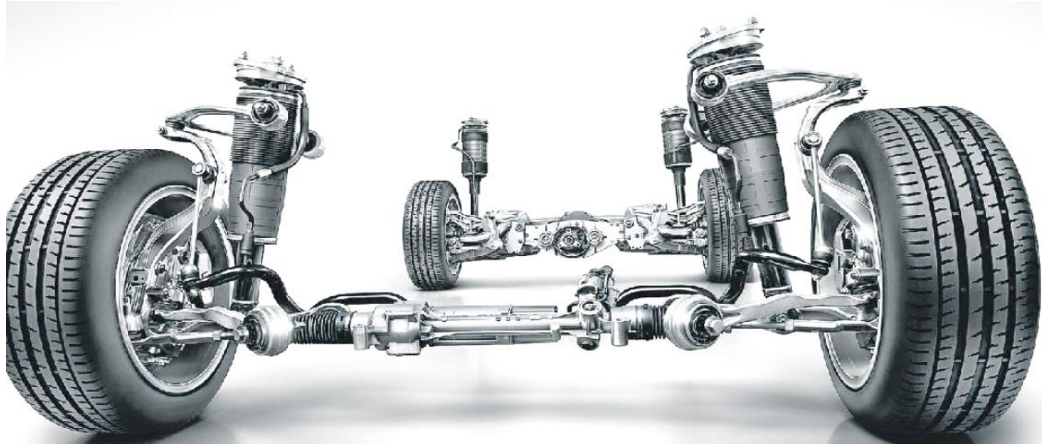


Figura 3 Suspensão independente. (AUTOGLASS, 2020)

Suspensão Semi-Independente: Utiliza um eixo que oferece certa flexibilidade. Embora as rodas influenciem uma na outra, o sistema ainda proporciona um bom nível de conforto.

Suspensão Dependente: Um eixo rígido conecta as rodas de cada lado, fazendo com que o movimento de uma roda afete a outra. Esse sistema é mais comum em veículos de carga e fora de estrada.



Figura 4 Suspensão eixo rígido. (RASSINI NHK AUTOMOTIVE)

Cada componente da suspensão é essencial para garantir a segurança, estabilidade e conforto, e a manutenção adequada é crucial para prolongar a vida útil desses elementos e preservar o desempenho do veículo.

O componente da suspensão que mais sofre deformação é a mola, seja ela helicoidal ou em lâminas de aço, e como nosso projeto usará principalmente a deformação ou variação de deslocamento vertical, o principal componente que sofre deformação é a mola.

2.3 Tipos de Molas

Nesta parte do trabalho serão descritos os tipos de molas mais utilizadas em suspensão em veículos, as molas helicoidais são classificadas de acordo com o tipo de esforço a que são submetidas e com a finalidade para a qual foram projetadas.



Figura 5 Mola helicoidal com amortecedor (COFAP, 2022)

O feixe de molas é muito comum em veículos pesados, como caminhões, ônibus e veículos fora de estrada, pois é projetado para suportar grandes cargas e absorver.

2.3.1 Molas Helicoidal

Um dos componentes principais junto a um conjunto do amortecedor são as molas helicoidais um dos componentes fundamentais do sistema de suspensão de diversos tipos de veículos, sendo essenciais para a segurança e o conforto ao dirigir.

Quando o veículo passa sobre um obstáculo, as molas helicoidais se comprimem, absorvendo parte da energia do impacto. Em seguida, o amortecedor controla o movimento de retorno, liberando a energia acumulada de forma gradual para evitar oscilações bruscas e estabilizar o veículo. Essa combinação garante um passeio mais confortável e seguro.

As molas helicoidais são formadas pelo enrolamento de um fio de metal em formato helicoidal e são comumente usadas em suspensões de veículos leves e outros equipamentos. Elas têm duas categorias principais: cilíndricas lineares e cilíndricas progressivas. Sua rigidez é definida pela constante elástica K , e a força que elas suportam é determinada pela **Lei de Hooke**:

$$F = K \cdot x$$

F é a força aplicada na mola,

K é a constante elástica (rigidez) da mola, expressa em N/m,

x é a deformação ou compressão da mola, expressa em metros.



Figura 6 Molas helicoidais COFAP (COFAP, 2022)

2.3.2 Feixes de Molas

Os **feixes de molas** são conjuntos de lâminas de aço sobrepostas, formando um arco, e são mais comuns em veículos pesados. Eles são projetados para suportar cargas maiores e absorver os impactos com rigidez progressiva, já que cada lâmina contribui para suportar a carga total. Ao aplicar uma força sobre o feixe, ocorre uma deflexão vertical proporcional ao peso, que pode ser calculada com base na rigidez do feixe de molas e nas características de cada lâmina.

Para o **cálculo da deflexão do feixe de molas**:

$$\Delta y = \frac{F \cdot L^3}{8 \cdot E \cdot I}$$

onde:

- Δy *Delta* é a deflexão vertical do feixe de molas;
- F é a carga aplicada;
- L é o comprimento da mola;
- E é o módulo de elasticidade do material (em N/m²);
- I é o momento de inércia da seção da lâmina; (COSME, 2020)



Figura 7 Feixe de Molas

Fonte: RNA (Rassini NHK Automotive)

Feixes de Molas Linear e Progressivas

Existem diferentes tipos de feixes de molas, cada um com características específicas para aplicações variadas:

Feixe de Molas Convencional

Consiste em várias lâminas de aço sobrepostas, sendo que as lâminas mais curtas ficam na parte superior e as mais longas na parte inferior.

É o tipo mais comum e tradicional, usado em caminhões e veículos pesados.

Feixes de ação linear

São um tipo específico de feixe de molas projetado para oferecer uma resposta direta e proporcional à carga aplicada, de maneira linear. Ao contrário de feixes progressivos, que aumentam sua rigidez com o aumento da carga, os feixes de ação linear têm uma rigidez constante em toda a sua faixa de operação. Isso significa que, para cada incremento de carga, o deslocamento ou deformação do feixe é proporcional e previsível, sem alterações na taxa de rigidez.

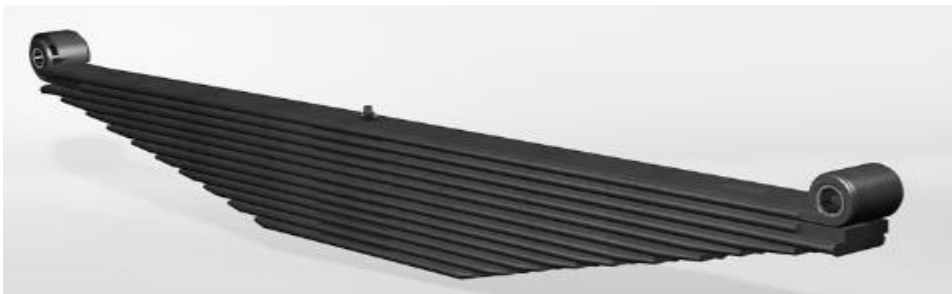


Figura 8 Feixe de mola Linear

Fonte: RNA (Rassini NHK Automotive)

Feixe de Molas Progressivas

As lâminas possuem uma forma cônica, com a espessura variando ao longo do comprimento da lâmina (mais espessa no centro e mais fina nas extremidades).

Esse formato reduz o peso do feixe e melhora a flexibilidade e absorção de impactos, proporcionando uma suspensão mais macia.

É usado em veículos que requerem maior conforto na suspensão, como ônibus e veículos utilitários leves.

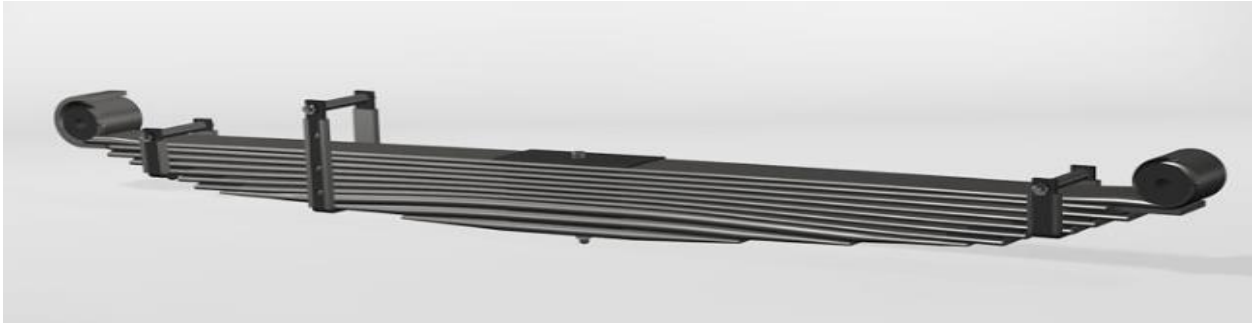


Figura 9 Feixe de Molas Progressiva

Fonte: RNA (Rassini NHK Automotive)

3 Desenvolvimento do Projeto

O projeto baseia-se na ideia de conseguir medir a capacidade de carga que o veículo está transportando, verificar a dinâmica veicular, como a carga está distribuída no veículo, utilizando a variação de deflexão da suspensão,

Para medir a variação de altura do veículo de acordo com a carga aplicada sobre ele, usaremos quatro sensores óticos, que serão instalados sob cada apoio da suspensão, nos quatro apoios que um veículo possui, próximo das molas que estão ligadas a suspensão do veículo, e estes sensores estarão ligados a uma unidade de controle eletrônica para administrar os dados coletados e transmiti-los via *wifi* a um aparelho de celular que estará conectada a *ECU* para que seja gerado os dados de deflexão dos pontos da suspensão, e com esses dados adquiridos serão calculados o peso da carga e como essa carga está distribuída sobre o veículo.

Para entender a proposta a seguir está um diagrama simplificado dos componentes utilizados no projeto.

A

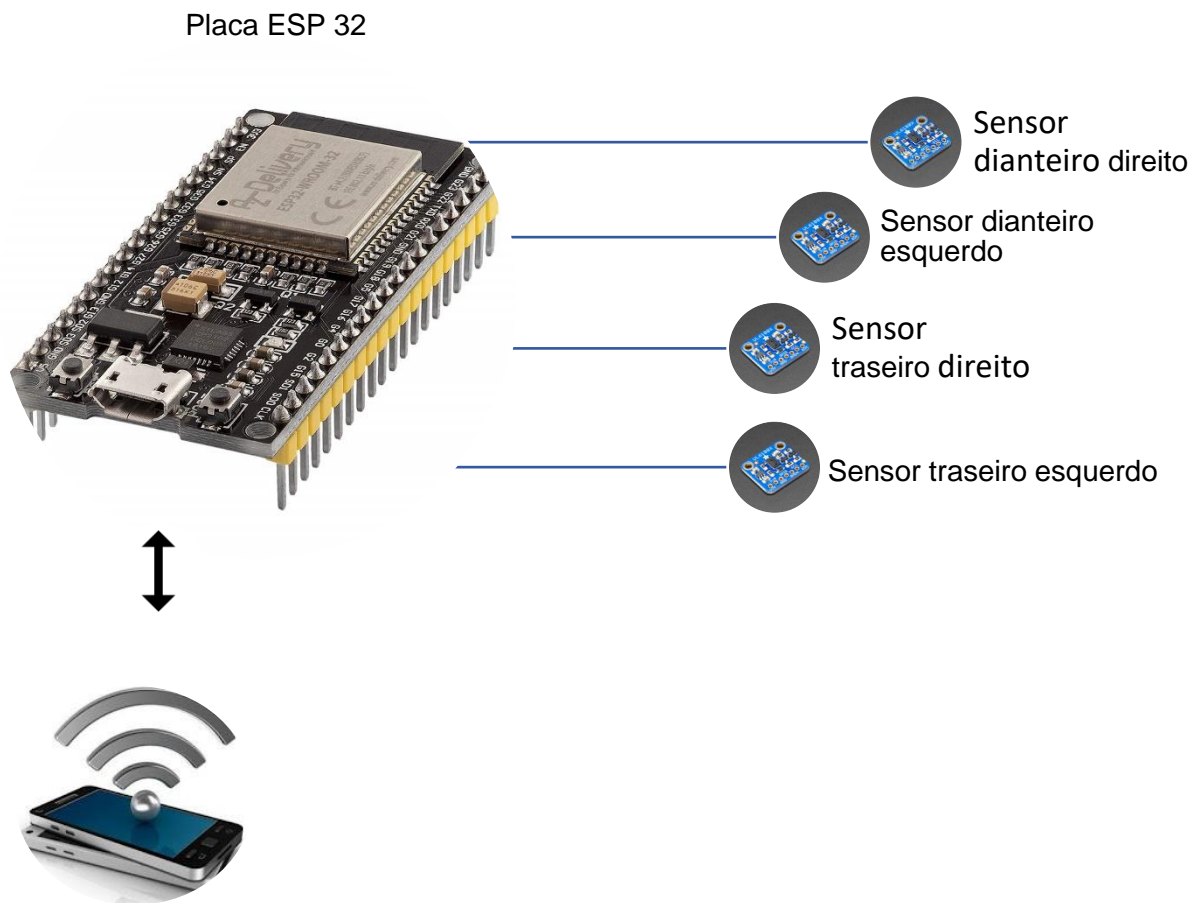


Figura 10 Diagrama de Blocos Projeto Fonte: Autor

Como ilustrado na imagem acima, será utilizado uma placa *ESP32* como unidade de controle do sistema, alimentada diretamente do veículo, terá de ser utilizada uma fonte transformadora para atender suas especificações, pois ela opera com 5 volts, e os veículos operam com 12 volts ou 24 volts. Os sensores óticos, serão ligados em cada ponto da carroceria inferior do veículo e conectados a *ECU (ESP32)* através de cabos de rede cat6 para inibir qualquer efeito eletromagnético, os cabos *CAT 6*, são de excelente uso em componentes que são instalados a longa distância em um veículo, pois possuem

blindagem, fios trançados em pares e boa resistência para ser instalado do lado externo em inferior em um veículo além de evitar distorção de dados e de comunicação por interferência de algum outro componente no veículo. Os sensores utilizados serão sensores óticos “VL6180”, que são acoplados em um módulo TOF50C, que são capazes de medir distância de até 50 cm, o que atende bem ao projeto.

A seguir alguns dados do módulo do sensor ótico a ser utilizado.

Características do sensor utilizado:

• Alcance	• 2 a 50 cm
• Zona morta	• 0 a 2 cm
• Interface	• I2C
• Endereço I2C	• 0x29
• Ângulo de visão (FOV)	• 25°
• A capacidade de detectar gestos	•
• Capa protetora	•
• Dois furos de montagem M2	•
• Fonte de alimentação	• 3 a 5 V
• Consumo de corrente	• 40 mA
• Temperatura de trabalho	• -20 a 70°C
• Dimensões	• 20 x 11 mm

Tabela 5 Especificações TOF050C, vl6800 (STMICROELECTRONICS [STMICROELETRÔNICA], 2022)

O sensor em si precisa de uma alimentação de 2,7 V a 3 V para um perfeito funcionamento, porém, como já está acoplado em uma placa, ele pode ser alimentado diretamente pela placa ESP32, sem a necessidade de gerar uma outra fonte para 3 Volts.

A placa de controle eletrônica ou a ECU (*Electronic Control Unit*), será uma *ESP 32* com *wifi*, ela fará a leitura dos sensores e fará o cálculo das distâncias, peso e inclinação do veículo e transmitirá via *wifi* para um celular, englobando assim conhecimentos de eletrônica, programação, telemática e outras áreas de conhecimento do curso.

É um projeto totalmente embarcado no veículo com transmissão de dados para um celular através de *wifi*, para que o usuário tenha uma resposta do peso da carga que está sendo transportada e assim como a distribuição da carga sobre o veículo.

A seguir estão imagens dos principais componentes utilizados no projeto, o módulo TOF050C, com sensor ótico e a placa *ESP32* que será a ECU.

(ESPRESSIF [SISTEMAS ESPRESSIF (XANGAI) CO., LTD.], 2022) (STMICROELECTRONICS [STMICROELETRÔNICA], 2022)

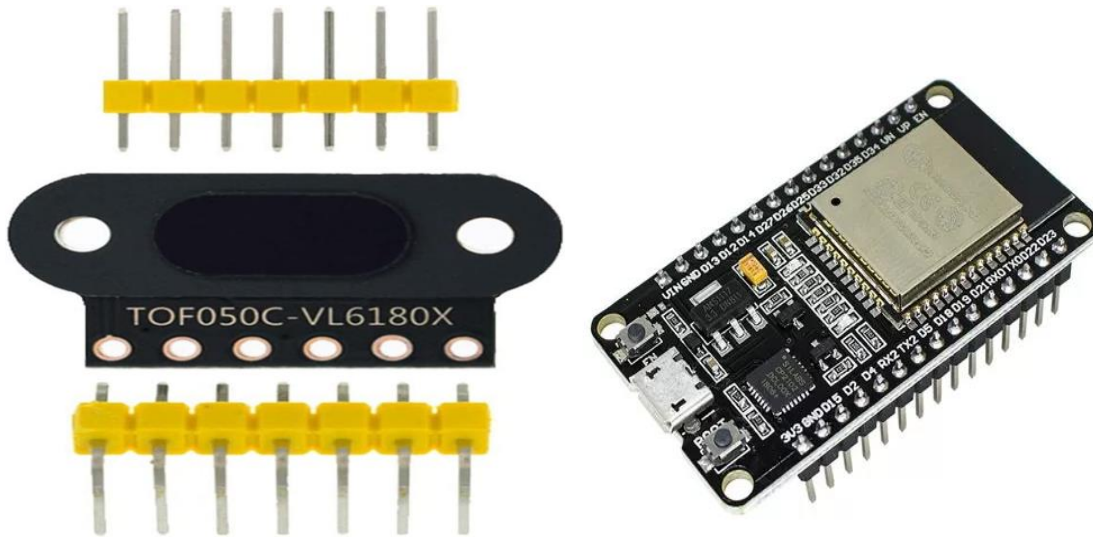


Figura 11 ECU placa ESP32

Figura 12 Módulo sensor ótico

3.1 Algoritmo de programa

O programa foi pensado em um modo de que o usuário final não possa interferir na calibração, então a calibração foi feita em código, trocando apenas o coeficiente de multiplicação, e com isso diminuimos chances de erros de compilação por interferência do usuário, a medição de carga começara automaticamente após a definição da tara, na qual é a condição para que os sensores comecem a atuar. Após a tara estar definida, os sensores começam a medir o deslocamento das molas, e caso haja, mostrará via Bluetooth no smartphone que estiver conectado e quando desconectar o programa.

A conexão via *Bluetooth* é uma condição para que o programa inicie.

A conexão será exclusivamente via celular, para que possa ter uma interação com o produto como se fosse uma tela e um teclado, uma forma de conectividade prática e ágil.

A seguir será exibido um diagrama de bloco do programa:

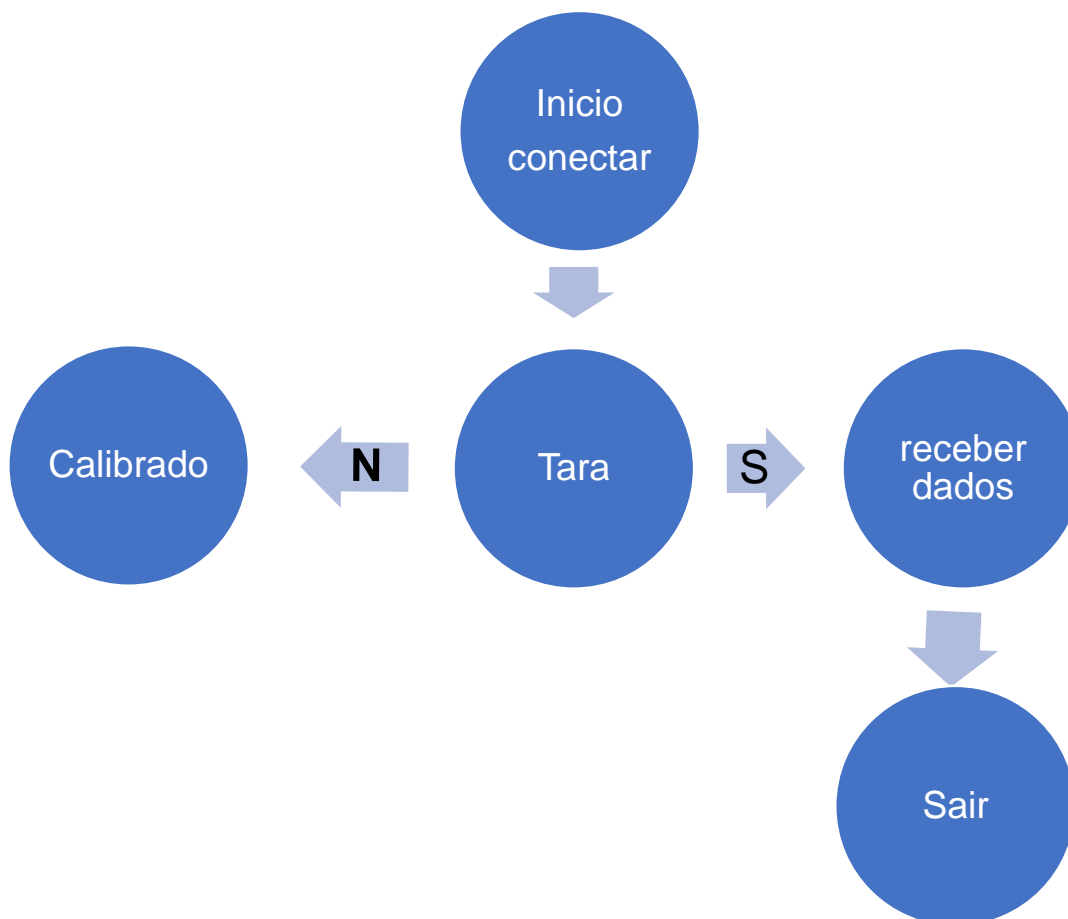


Figura 13 Diagrama de Bloco do Programa

A seguir será exibido o fluxograma do modulo de detecção de carga e sobrecarga.

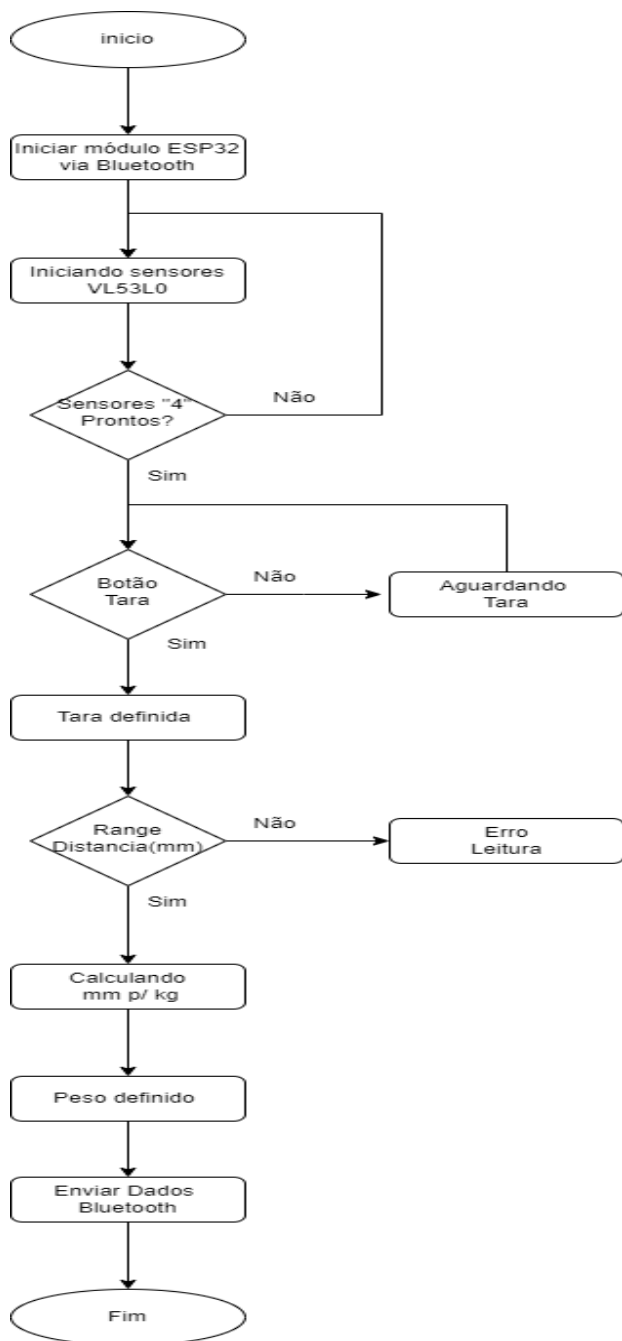


Figura 14 Fluxograma módulo de carga

As linhas de código de programação do projeto estão anexadas no Apêndice A.

3.2 Desenvolvimento prático da maquete.

Para testar a ideia do projeto, foi criada uma maquete de bancada para simular um chassi de veículo, para entender como que seria o comportamento do mesmo perante os testes. Pegando uma chapa de alumínio simulando o chassi do veículo, e colocando 4 molas para simular as molas do mesmo, e com isso medindo a variação da altura da maquete, simulando o veículo vazio de um veículo com carga, para sabermos se a lógica de cálculo fará sentido.

Para a aferição da carga foi utilizada uma balança com capacidade máxima de 10 kg, para compararmos o peso real com o peso medido pela maquete, para simular a carga foram utilizadas porcas metálicas variadas.

A altura de cada eixo não é muito importante nesse projeto, pois calcularemos a variação da altura do veículo sem carga e do veículo com carga. Não é exigido que cada sensor esteja na mesma altura, mas a posição em que é colocado é, pois terá que ser sempre próximo à área de apoio ao solo, que neste caso são as molas, pois como um veículo, o peso contido no mesmo está concentrado e é distribuído nos quatro pontos em contato com o solo.

A seguir uma foto do teste realizado da maquete simulando um chassi de um veículo com as molas.

O primeiro passo foi medir a altura em relação ao solo da maquete sem a carga, como na figura a seguir está demonstrado.

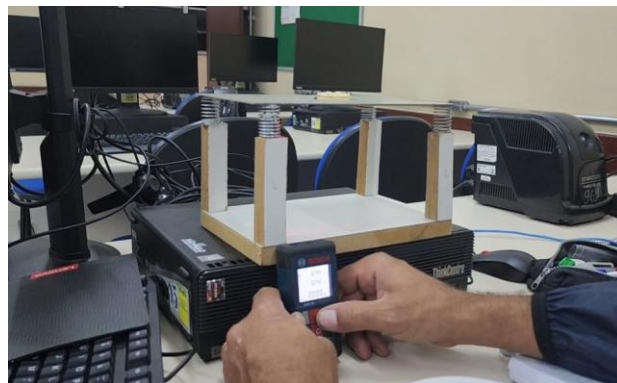


Figura 15 Maquete simulando veículo sem carga

Após medição dos 4 pontos de apoio da maquete conseguimos os seguintes valores:

- ponto 1 = 244 mm
- ponto 2 = 243 mm
- ponto 3 = 245 mm
- ponto 4 = 245 mm

O próximo passo será calcular a altura da mola da maquete com carga, para isso foi usada uma balança com um volume de porcas metálicas para simular a carga que será adicionada à maquete. A seguir uma figura mostrando a carga adicionada à maquete.



Figura 16 Carga utilizada para calibração da maquete

Após a utilização da balança para obter o real valor da carga, obtivemos 1925 gramas. Com esse valor obtido na balança, colocaremos a mesma carga na maquete para verificar o quanto as molas foram comprimidas. A seguir será demonstrado como foi colocada a carga sobre a maquete.



Figura 17 Carga aplicada sobre a maquete

Com a carga inserida sobre a maquete, medimos os quatro pontos de apoio para obter a deflexão das molas em relação ao ponto inicial, maquete sem carga, e com isso os valores obtidos em cada ponto de apoio foram os seguintes.

- Ponto 1 = 238 mm
- Ponto 2 = 237 mm
- Ponto 3 = 239 mm
- Ponto 4 = 239 mm

Após a coleta de dados foram realizados os cálculos de deflexão das molas, que são a altura inicial da maquete menos a altura com a carga, para obter a distância que o peso da carga deslocou as molas, então os cálculos. A seguir uma tabela que será utilizada para a calibração:

	Altura inicial	Altura final	deslocamento
Ponto 1	244 mm	238 mm	6 mm
Ponto 2	243 mm	237 mm	6 mm
Ponto 3	245 mm	239 mm	6 mm
Ponto 4	245 mm	239 mm	6 mm

Tabela 6 Tabela de calibração maquete

Com esses dados podem observar que as molas tiveram um deslocamento de 6mm em cada ponto, então com uma carga de 1925 gramas chegamos a um deslocamento de 6mm em cada ponto e somando todos esses pontos chegamos a um valor de 24mm de deslocamento total, com isso teremos uma base de calibração para que seja feitos o cálculo do peso da carga estimada.

Como as molas são lineares, os cálculos serão executados por regra de três., com os dados obtidos.

$$\text{Deslocamento} = \text{Altura inicial} - \text{Altura final}$$

De cada ponto, ou seja, o deslocamento do ponto 1 ao ponto 4, pois se o peso está distribuído sob o chassi e esse chassi tem 4 pintos de apoio, temos que calcular o deslocamento dos quatro pontos.

Então:

Deslocamento total = deslocamento ponto1 + deslocamento ponto 2 + deslocamento ponto 3 + deslocamento ponto 4

Ou seja: deslocamento total = 6 + 6 + 6 +6 = 24mm.

Com isso podemos afirmar que 24mm de deslocamento é igual a 1925 gramas.

Para provar essa a teoria de que as molas são lineares, iremos fazer um teste com uma quantidade parcial das molas, com isso, o próximo passo foi pesar na balança uma parte destas porcas metálicas para averiguar se a deformação das molas com um peso diferente, na figura a seguir, representa a quantidade parcial de porcas pesadas na balança.



Figura 18 Carga parcial, porcas metálicas

Após colocar a carga parcial na maquete, medindo novamente o deslocamento das molas para obter o deslocamento das mesmas com uma carga parcial. A carga parcial adicionada medida na balança foi de 166 gramas e os valores obtidos em cada ponto estão na tabela a seguir.

	Altura inicial	Altura final	deslocamento
Ponto 1	244 mm	243 mm	1 mm
Ponto 2	243 mm	242 mm	1 mm
Ponto 3	245 mm	244 mm	1 mm
Ponto 4	245 mm	246 mm	-1 mm

Tabela 7 Tabela deslocamento peso parcial

Cálculos:

Para fazermos os cálculos utilizaremos o valor da carga total, que representa o valor calibrado e utilizaremos regra de três. Teremos então que pegar o valor aferido na calibração e comparar com o valor da pesagem parcial, a seguir estará o cálculo para averiguação da teoria.

Peso total calibração = 1925 gramas = deslocamento 24mm

A seguir figura do peso parcial sobre a maquete.



Figura 19 Peso parcial sobre a maquete

Peso parcial =?

Deslocamento do peso parcial = 1 + 1 + 1 -1 = 2mm

Então: regra de 3

1925 gf - 24mm

peso - 2mm

Logo Peso = $1925 \times 2 / 24 = 160,4166$ gramas.

Foram encontrados 160,41 gramas fazendo o cálculo pelo deslocamento e na balança foi medido o valor de 166 gramas. Uma diferença de 4 %, ou seja, uma precisão de 96% que está ótima para uma maquete de tamanho reduzido.

Acreditando que se medisse com precisão menor que 1mm, teria um resultado melhor, e poderia chegar mais próximo de 100% de precisão, mas com 96% já atende ao nosso projeto.

A seguir será exibido um gráfico com os resultados obtidos nas pesagens realizadas para com peso parcial e total, onde pode ser verificada a progressão linear do deslocamento das molas em relação ao peso adicionado.

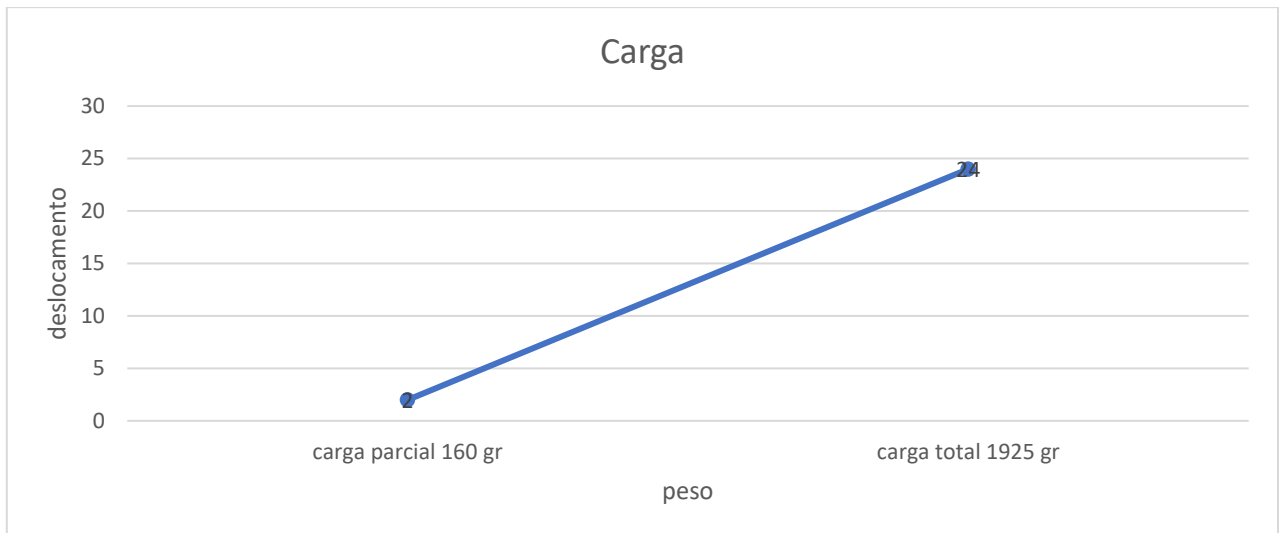


Figura 20 Gráfico de carga x deslocamento

O próximo passo foi montar a placa de desenvolvimento *ESP32*, na maquete, foi instalada na parte inferior com os sensores ligados a ela, e foi alimentada por uma fonte *USB* diretamente na placa de desenvolvimento.

A seguir uma imagem mostra da instalação na placa de desenvolvimento.

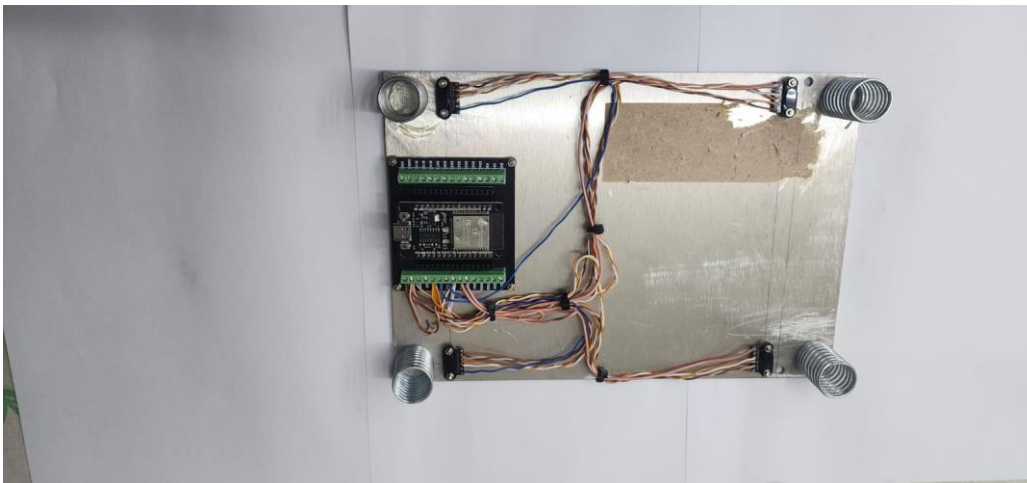


Figura 21 Maquete com modulo de carga instalado.

Após a instalação do módulo de carga na maquete foram feitos testes para o funcionamento da placa, e a seguir temos uma imagem da tela do *smartphone* com a maquete em funcionamento.

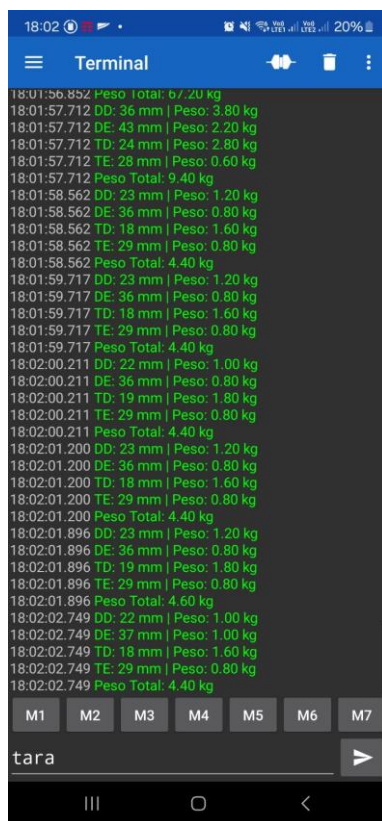


Figura 22 Programa funcionando na tela do *smartphone*

4 Testes e Análise dos Resultados

A seguir uma tabela comparativa com os projetos pesquisados e nosso resultado.

Critérios	Saulo Lima da Silva Silveira (2022)	Victor Magalhães Cosme (2020)	Bruno Possamai Della (2018)	Diego Estebam e Vinicius Pereira de Jesus
Tecnologia Principal	Sensor ultrassônicos	Sensor a laser	Células de carga	Sensor óticos
Precisão	Média	Alta	Muito Alta	Muito Alta
Custo	Baixo	Média a alto	Alto	Médio
Monitoramento Contínuo	Sim	Sim	Não	Sim
Portabilidade	Sim embarcado	Sim embarcado	Limitado, mais adequado pra ambiente fixo	Sim Embarcado
Complexidade de instalação	Simples	Moderada	Complexo	Moderado
Comunicação	Não específico	Sim, dados exibidos em display	Sim, via Wi-Fi para dispositivos móveis	Bluetooth
Medição distribuída	Limitado	Limitado	Alta (medição por rodas)	Alta, em cada eixo.

Tabela 8 Comparação dos resultados com trabalhos pesquisados.

5 CONCLUSÃO

Após toda a execução de projeto, concluímos que o projeto alcançou seu objetivo, que é medir a carga e sobrecarga de veículos e ainda identificar a ação do peso sobre cada eixo do veículo, podem ser incrementadas melhorias para a utilização em outras possibilidades de utilização.

Encontramos algumas dificuldades no tratamento da recepção dos sinais dos sensores óticos, então implementamos filtros média móveis para que os sinais fossem mais estáveis, mas foram apenas via *software*, o que deixa mais ágil e econômico o projeto. Um dos pontos que podem causar oscilação na medição do sinal é a vibração, por exemplo, com o veículo ligado, mas é uma condição para que a medição seja feita melhor seria com o veículo desligado.

A precisão que obtivemos na maquete é boa, ficou em 96%, o que já atende o objetivo do projeto, é possível melhorar esses resultados, onde deve-se utilizar sensores que retornam valores com precisão de décimos de milímetros, mas para calcular a carga em um veículo comercial já está muito bom, essa precisão seria necessária para a maquete pois ela tem uma escala menor, e quanto menor a escala, deverá ser melhor a precisão.

Em comparação com outros projetos, acreditamos que nosso projeto conseguiu medir o peso do veículo, e além disso, conseguimos visualizar a distribuição da carga sob o chassi do veículo, pois tem sensores nos quatro pontos de apoio no veículo, e somente o projeto só sistema de medição de massa, (TOMASI, 2018) que executou isso, mas o projeto em questão não era embarcado. Os outros dois projetos consideraram apenas medir um ponto da suspensão do veículo. (SILVEIRA, 2021) (SILVEIRA, 2021).

5.1. PROPOSTAS FUTURAS

Esse projeto futuramente pode ser utilizado por montadoras para entender melhor a dinâmica veicular de acordo com a carga contida no mesmo, otimizando assim a utilização dos dados para aprimoramento do uso da segurança ativa veicular, pois com os dados obtidos no projeto como carga em cada eixo do veículo e distribuição da carga sobre o veículo, consegue uma maior precisão para o controle de frenagem, estabilidade e tração.

Uma outra aplicação a ser considerada seria em uma homologação do projeto para que veículos de cargas que possuam o módulo de medição de sobre carga, em um trecho de rodovia onde os veículos são fiscalizados por balança, os mesmos possuindo este dispositivo, através de telemetria os veículo que indicassem que estão com limite de carga permitida, seriam desviados da fiscalização da balança, não necessitando parar na fiscalização, gerando economia de tempo, combustível e componentes do veículo, pois manteria a viagem sem interrupções.

Uma aplicação que pode ser muito utilizada, é em empresas de logísticas que acompanham a carga em tempo real, como empresas de comércio eletrônico, onde poderia acompanhar a cada parada de entrega o peso da mercadoria que foi carregada ou retirada do veículo, podendo assim ter uma resposta ágil sobre como andam as entregas do carregamento até as entregas, juntando dados da entrega com peso das mercadorias.

Referências

AUTOGLASS. autoglass. **autoglass**, 2020. Disponível em:

<<https://conteudo.autoglass.com.br/amortecedor-a-%C3%B3leo-e-a-g%C3%A1s-quais-as-diferen%C3%A7as>>.

COFAP. blog.mmcofap.com.br. **Cofap Magnet Marelli**, 2022. Disponível em:

<<https://blog.mmcofap.com.br/2022/06/06/mol-as-helicoidais-o-que-sao-e-quais-as-suas-funcoes/>>. Acesso em: 2024.

COIMBRA, C. **Visão histórica a análise conceitual dos tranpostes no Brasil**. [S.l.]: [s.n.], 1974.

COSME, V. M. **Proposta de um Sistema Inteligente para medição de carga veicular**. São Mateus: Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, 2020.

ESPRESSIF [SISTEMAS ESPRESSIF (XANGAI) CO., LTD.]. alldatasheet.com. **https://www.espressif.com/**. Disponível em: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>>. Acesso em: 2024.

FIAT. **Manual de utilização ducato**. [S.l.]: [s.n.], 2020.

RASSINI NHK AUTOMOTIVE. rassini-nhk.com.br. **RNA Rassini NHK Automotive**.

Disponível em: <<https://www.rassini-nhk.com.br/produtos-nhk-feixes-de-mola/>>. Acesso em: 15 out. 2024.

SILVEIRA, S. L. D. **Sistema de sensores para monitoramento de peso em veículos de carga**. Curitiba: Universidade de Tecnologia Federal do Paraná, 2021.

STMICROELECTRONICS [STMICROELETRÔNICA]. All data sheet. **http://www.st.com**.

Disponível em: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/797501/STMICROELECTRONICS/VL6180XV0NR.html>>. Acesso em: 2024.

TOMASI, B. P. D. **sistema de medição de massa para veículos através de conexão sem fios**. Florianópolis-SC: Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, 2018.

TRANSPORTES, M. D. Transporte no Brasil, Síntese histórica. **gov.br/ministerio dos transportes**, 2014. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transportes-no-brasil-sintese-historica>>. Acesso em: 2024.

APÊNDICE A - Linhas de códigos de programação do projeto.

```
//File: Módulo de Medir Carga de Veículos Leves Comerciais
```

```
// Author: Vinicius Pereira de Jesus & Diego Esteban
```

```
// RA: 1600732223047 & 1600732313004
```

```
// Created on Maio de 2025
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <BluetoothSerial.h>
```

```
#include <Adafruit_VL6180X.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
BluetoothSerial SerialBT;
```

```
#define SDA_PIN 4
```

```
#define SCL_PIN 5
```

```
#define SHUT1 16
```

```
#define SHUT2 17
```

```
#define SHUT3 18
```

```
#define SHUT4 19
```

```
Adafruit_VL6180X sensorDD = Adafruit_VL6180X();
```

```
Adafruit_VL6180X sensorDE = Adafruit_VL6180X();
```

```
Adafruit_VL6180X sensorTD = Adafruit_VL6180X();
```

```
Adafruit_VL6180X sensorTE = Adafruit_VL6180X();
```

```
float tara[4] = {0, 0, 0, 0};
```

```
bool tara_definida = false;
```

```
float fator_conversao = 0.2;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(115200);
```

```
  SerialBT.begin("Modulo de Medir Carga");
```

```
  Wire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN);
```

```
  // Desligar sensores
```

```
  pinMode(SHUT1, OUTPUT);
```

```
  pinMode(SHUT2, OUTPUT);
```

```
  pinMode(SHUT3, OUTPUT);
```

```
  pinMode(SHUT4, OUTPUT);
```

```
  digitalWrite(SHUT1, LOW);
```

```
  digitalWrite(SHUT2, LOW);
```

```
  digitalWrite(SHUT3, LOW);
```

```
  digitalWrite(SHUT4, LOW);
```

```
  delay(100);
```

```
// Ligar sensores um por um

digitalWrite(SHUT1, HIGH); delay(50);

if (!sensorDD.begin()) Serial.println("Sensor DD falhou");

sensorDD.setAddress(0x30);

digitalWrite(SHUT2, HIGH); delay(50);

if (!sensorDE.begin()) Serial.println("Sensor DE falhou");

sensorDE.setAddress(0x31);

digitalWrite(SHUT3, HIGH); delay(50);

if (!sensorTD.begin()) Serial.println("Sensor TD falhou");

sensorTD.setAddress(0x32);

digitalWrite(SHUT4, HIGH); delay(50);

if (!sensorTE.begin()) Serial.println("Sensor TE falhou");

sensorTE.setAddress(0x33);

Serial.println("Sensores prontos. Aguardando comando TARA via Bluetooth.");

SerialBT.println("Sensores prontos. Envie 'TARA' para calibrar.");

}

void loop() {
```

```
// Comando Bluetooth

if (SerialBT.available()) {

    String comando = SerialBT.readStringUntil('\n');

    comando.trim();

    if (comando.equalsIgnoreCase("TARA")) {

        definirTara();

    }

}

if (tara_definida) {

    delay(200);

}

// Leituras com média filtrada

uint8_t leituraDD = mediaFiltrada(sensorDD);

uint8_t leituraDE = mediaFiltrada(sensorDE);

uint8_t leituraTD = mediaFiltrada(sensorTD);

uint8_t leituraTE = mediaFiltrada(sensorTE);

// Verificação de erro

if (sensorDD.readRangeStatus() != 0 || sensorDE.readRangeStatus() != 0 ||

    sensorTD.readRangeStatus() != 0 || sensorTE.readRangeStatus() != 0) {

    SerialBT.println("Erro em pelo menos um sensor. Tentando novamente...");

}

return;
```

```

}

// Cálculo do peso

float pesoDD = fmax(0.0, (leituraDD - tara[0]) * fator_conversao);
float pesoDE = fmax(0.0, (leituraDE - tara[1]) * fator_conversao);
float pesoTD = fmax(0.0, (leituraTD - tara[2]) * fator_conversao);
float pesoTE = fmax(0.0, (leituraTE - tara[3]) * fator_conversao);
float pesoTotal = pesoDD + pesoDE + pesoTD + pesoTE;

// Saída

String saida = "";

saida += "DD: " + String(leituraDD) + " mm | Peso: " + String(pesoDD, 2) + " kg\n";
saida += "DE: " + String(leituraDE) + " mm | Peso: " + String(pesoDE, 2) + " kg\n";
saida += "TD: " + String(leituraTD) + " mm | Peso: " + String(pesoTD, 2) + " kg\n";
saida += "TE: " + String(leituraTE) + " mm | Peso: " + String(pesoTE, 2) + " kg\n";
saida += "Peso Total: " + String(pesoTotal, 2) + " kg\n";

Serial.print(saida);

SerialBT.print(saida);

} else {

Serial.println("Aguardando definição de TARA...");

delay(1000);

}

```

```
}

// === Função de média com descarte do maior e menor ===
uint8_t mediaFiltrada(Adafruit_VL6180X& sensor) {

    const int N = 10;

    int valores[N];

    int validos = 0;

    int tentativas = 0;

    while (validos < N && tentativas < 30) {

        uint8_t leitura = sensor.readRange();

        if (sensor.readRangeStatus() == 0) {

            valores[validos++] = leitura;

        }

        tentativas++;

        delay(5);

    }

    if (validos < N) {

        Serial.println("Erro: leituras insuficientes.");

        return 0;

    }

}
```

```
int maior = valores[0];

int menor = valores[0];

int soma = valores[0];

for (int i = 1; i < N; i++) {

    if (valores[i] > maior) maior = valores[i];

    if (valores[i] < menor) menor = valores[i];

    soma += valores[i];

}

soma -= (maior + menor);

return soma / (N - 2);

}

// === Definição da TARA com verificação ===

void definirTara() {

    SerialBT.println("Definindo TARA...");

    tara[0] = mediaFiltrada(sensorDD);

    tara[1] = mediaFiltrada(sensorDE);

    tara[2] = mediaFiltrada(sensorTD);

    tara[3] = mediaFiltrada(sensorTE);
```

```
if (tara[0] == 0 || tara[1] == 0 || tara[2] == 0 || tara[3] == 0) {  
    SerialBT.println("Erro ao definir TARA. Verifique sensores.");  
    Serial.println("Erro ao definir TARA.");  
    tara_definida = false;  
} else {  
    tara_definida = true;  
    SerialBT.println("TARA definida com sucesso.");  
    Serial.println("TARA definida com sucesso.");  
}  
}  
-
```