

**CENTRO PAULA SOUZA**  
**FATEC Santo André**  
**Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**Kleber dos Santos**

**SISTEMA DE SEGURANÇA OPERACIONAL PARA ELEVADOR  
AUTOMOTIVO**

**Santo André – SP**

**2022**

**Kleber dos Santos**

**SISTEMA DE SEGURANÇA OPERACIONAL PARA ELEVADOR  
AUTOMOTIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de Santo André, orientado pelo Prof<sup>o</sup> Marco Aurélio Fróes, como requisito parcial para obtenção do título de graduação tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

**Santo André – SP**

**2022**

S237s

Santos, Kleber dos

Sistema de segurança operacional para elevador automotivo /  
Kleber dos Santos. - Santo André, 2022. – 93f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2022.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

1. Eletrônica. 2. Protótipo. 3. ESP32. 4. Tecnologia. 5.  
Programação. 6. Linguagem de programação. 7. Segurança. 8.  
Linguagem C. 9. Elevador automotivo. 10. ESPNOW. 11. Módulo  
HX711. 12. Módulo Ponte H. 13. Célula de carga. I. Sistema de  
segurança operacional para elevador automotivo.

005.133

**LISTA DE PRESENÇA**

Santo André, 13 de dezembro de 2022.

**LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:  
“SISTEMA DE SEGURANÇA OPERACIONAL PARA ELEVADOR  
AUTOMOTIVO” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.**

**BANCA**

PRESIDENTE:

PROFº MARCO AURÉLIO FRÓES



MEMBROS:

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR



PROF. FERNANDO GARUP DALBO



ALUNO:

KLEBER DOS SANTOS



Dedico este trabalho a minha família, aos amigos e professores da FATEC que sempre estiveram próximos e apoiaram para nosso crescimento pessoal e profissional durante esta jornada.

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente, a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo da nossa vida, e não somente nestes anos como universitária, mas em todos os momentos, pois é o maior Mestre que alguém pode conhecer. Agradecemos a Todos, diretamente e indiretamente, que contribuíram para a realização deste trabalho, principalmente, aos colegas de sala que mantiveram estímulos nos momentos mais árduos desta jornada. Aos professores e colaboradores da FATEC Santo André que sempre estiveram prontos a ajudar, utilizando todos os recursos e esforços para que esse momento tornasse realidade.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”

Albert Einstein

## RESUMO

O trabalho apresenta o estudo da elaboração do protótipo para auxiliar na informação, no qual as bases estão na posição que o operador determinou, possibilitando o acionamento do equipamento com segurança. Visando obter um sistema eficiente e seguro, a proposta é desenvolver o hardware e o software para a operação do sistema de segurança para o funcionamento do elevador automotivo. Utilizando o microcontrolador ESP32, módulo HX711 e linguagem C para o desenvolvimento do software. Em relação ao hardware, as células de cargas serão aplicadas em cada uma das bases com a função de identificar o peso do objeto. O sinal analógico será codificador pelo módulo HX711 que, após condicionamento, envia o sinal por comunicação wireless utilizando ESPNOW para o microcontrolador ESP 32 processar do dado e liberar o acionamento do sentido de rotação do motor do elevador através do módulo Ponte H.

Palavra chave: ESP32. ESPNOW. Célula de carga. Módulo HX711. Módulo Ponte H.



## **ABSTRACT**

The work presents the study of the elaboration of the prototype to assist in the information, in which the bases are in the position that the operator determined, allowing the activation of the equipment safely. In order to obtain an efficient and safe system, the proposal is to develop the hardware and software for the operation of the security system for the operation of the automotive elevator. Using the ESP32 microcontroller, HX711 module and C language for software development. Regarding the hardware, the load cells will be applied to each of the bases with the function of identifying the weight of the object. The analog signal will be encoded by the HX711 module which, after conditioning, sends the signal via wireless communication using ESPNOW to the ESP 32 microcontroller to process the data and release the activation of the direction of rotation of the elevator motor through the H Bridge module.

Keywords: ESP32. ESPNOW. Load cell. HX711 module, H Bridge module.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Veículo Motorwagen desenvolvido pelo engenheiro Karl Benz.....	19
Figura 2 – Ford Modelo T, em 1908, apresentado por Henry Ford. ....	20
Figura 3 – Apresentação do Weaver Auto Hoist na revista Motor Age, em 17 de outubro de 1918. ....	21
Figura 4 – Apresentação do Weaver Select-A-Lift na Automate News, em maio de 1966. ....	22
Figura 5 – Elevador eletromecânico automotivo .....	23
Figura 6 – Fuso e o sistema de segurança do elevador eletromecânico automotivo	24
Figura 7 – Base inferior do sistema do elevador eletromecânico automotivo .....	25
Figura 8– Esquema elétrico dos tipos de ligação dos motores elétricos .....	25
Figura 9 – Elevador automotivo com sistema eletrohidráulico. ....	26
Figura 10 – Conjunto motor elétrico e bomba hidráulica. ....	26
Figura 11 – Elevador eletromecânico automotivo com pórtico .....	28
Figura 12 – Elevador hidráulico automotivo com pórtico .....	28
Figura 13 – Sistema de segurança efetuado por travas automáticas.....	29
Figura 14 – Elevador pantográfico de sobrepor .....	29
Figura 15 – Elevador pantográfico de embutir.....	30
Figura 16 – Elevador pantográfico móvel.....	30
Figura 17 – Equação da Lei de Hooke .....	32
Figura 18 – Curva de tensão ( $\sigma$ ) x deformação específica ( $\epsilon$ ) e limite de elasticidade (a) 32	
Figura 19 – Equação do coeficiente de Poisson .....	33
Figura 20 – Equação do coeficiente de Poisson. ....	33
Figura 21 – Extensômetro elétrico.....	34
Figura 22 – Equação da resistência elétrica do fio.....	34
Figura 23 – Equação do fator K.....	34
Figura 24 – Extensômetros lineares.....	36
Figura 25 – Extensômetros do tipo roseta.....	36
Figura 26 – Extensômetros em forma de “V”.....	37
Figura 27 – Extensômetros lineares de dupla lâmina.....	37
Figura 28 – Extensômetros de ponte completa .....	38
Figura 29 – Fluxograma para determinar a escolha correta do adesivo de fixação do extensômetro.....	39
Figura 30 – Balança mecânica e os pesos padrões.....	40

Figura 31 – Célula de carga tipo single point .....	41
Figura 32 – Célula de carga do tipo beam .....	41
Figura 33 – Célula de carga do tipo força de compressão .....	41
Figura 34 – Célula de carga do tipo força de tração.....	42
Figura 35 – a) circuito da ponte de Wheatstone no formato losango. b) circuito da ponte de Wheatstone no formato quadrado .....	43
Figura 36 – Fórmula para cálculo do equilíbrio das tensões das resistências da ponte de Wheatstone .....	43
Figura 37 – Equação com o valor de tensão referenciada .....	44
Figura 38 – Equação do fator de gauge ( $\kappa$ ) .....	44
Figura 39 – Circuito de ponte de um quarto .....	44
Figura 40 – Circuito de meia ponte .....	45
Figura 41 – Circuito de ponte completa.....	45
Figura 42 – Esquemática das chaves da ponte H298N .....	46
Figura 43 – Diagrama de blocos para aplicação em balanças .....	46
Figura 44 – Microcontrolador ESP32 .....	47
Figura 45 – Descrição dos componentes na placa do microcontrolador ESP32 .....	47
Figura 46 – Disposição dos pinos do microcontrolador ESP32.....	48
Figura 47 – a) configuração um mestre e múltiplos escravos. b) configuração um escravo e múltiplos mestres .....	49
Figura 48 – Diagrama elétrico do protótipo .....	51
Figura 49 – Fluxograma de funcionamento da maquete .....	51
Figura 50 – Microprocessador ESP32.....	52
Figura 51 – Célula de carga .....	54
Figura 52 – Base e módulo HX711 .....	55
Figura 53 – Módulo Ponte H.....	55
Figura 54 – a) Case para pilhas. b) Fonte alimentação de 12 V / 1 A.....	56
Figura 55 – a) chave alimentação do circuito ESP32 escravo. b) chave comando acionamento de elevação ou descida do sistema operacional do elevador.....	57
Figura 56 – Pesos confeccionados e a balança digital.....	57
Figura 57 – Arquitetura da maquete em madeira tipo MDF .....	58
Figura 58 – Maquete final.....	59
Figura 59 – Parte superior da maquete.....	59
Figura 60 – Parte inferior dos componentes da maquete.....	60
Figura 61 – a) peso confeccionado com 200 gramas. b) os pesos confeccionados com 400 gramas. c) confeccionado com 500 gramas .....	61

Figura 62 – Balança digital com o peso confeccionado com 200 gramas .....	61
Figura 63 - Maquete com os pesos de 200 gramas aplicadas nas células de carga e o case de indicação com os LEDS desligado.....	62
Figura 64 – Balança digital com o peso confeccionado com 400 gramas .....	62
Figura 65 - Maquete com os pesos de 200 gramas aplicadas nas células de carga e o case de indicação com os LEDS desligado.....	63
Figura 66 – Balança digital com o peso confeccionado com 500 gramas .....	63
Figura 67 – Peso de 500 gramas aplicado na primeira célula de carga e o case de indicação com o LED 1 acionado .....	64
Figura 68 – Pesos de 500 gramas aplicados na primeira e segunda célula de carga e o case de indicação com os LEDS 1 e 2 acionados.....	65
Figura 69 – Peso de 500 gramas aplicado na primeira, segunda e terceira célula de carga e o case de indicação com os LEDS 1, 2 e 3 acionados.....	65
Figura 70 – Pesos de 500 gramas aplicados nas células de carga e os LEDS do case de indicação acionados .....	66

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Ampère

ABNT – Associação Brasileira e Normas Técnicas

ADC – Conversor Analógico Digital

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

cc – Cilindro cúbico

cm – Centímetro

Datasheet – Folha de dados do dispositivo

HP – Horse Power

Hz – Hertz

IDE – Ambientes de Desenvolvimento Integrado

IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistor (Transistor Bipolar de Junção)

Kg – Kilogramas

Kw – Quilowatts

Lbs – Libras

LCD – Display de Cristal Líquido

LED – Light Emitter Diode (Diodo Emissor de Luz)

MDF – Medium Density Fiber Board (placa de fibra de média densidade)

mV – Milivolts

N – Newton

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PWM – Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)

R – Resistor

R1 – Resistor 1

R2 – Resistor 2

R3 – Resistor 3

R4 – Resistor 4

RPM – Rotações Por Minuto

SAT – Sistema Anti Travamento

V – Volts

VAC – Tensão de Corrente Alternada

V0 – Tensão de saída da ponte

VCC – Tensão Corrente Contínua

$V_s$  – Tensão de excitação da ponte ou tensão de alimentação

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\varepsilon$  – Deformação

$E$  – Módulo de elasticidade.

$\varepsilon_a$  – Deformação no sentido axial do extensômetro.

$\varepsilon_t$  – Deformação no sentido transversal do extensômetro.

$\varepsilon_x$  – Deformação do eixo x.

$\varepsilon_y$  – Deformação do eixo y.

$\nu$  – Coeficiente de Poisson.

$P$  – Força axial ou de flexão.

$\rho$  – Resistividade.

$\sigma$  – Tensão.

$\Omega$  – Ohm.

$\Delta$  – Delta.

$\Delta R$  – Delta da variação de resistência do extensômetro devido à deformação.

$R_0$  – Resistência nominal do extensômetro.

$K$  – Fator K ou fator da sensibilidade do extensômetro.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivo.....	17
1.2	Motivação .....	18
1.3	Justificativa .....	18
1.4	Conteúdo .....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	19
2.1	A história do automóvel .....	19
2.2	A história do elevador .....	20
2.3	Tipos de elevadores automotivos .....	23
2.3.1	Elevador eletromecânico automotivo.....	23
2.3.2	Elevador hidráulico automotivo.....	26
2.3.3	Sistema de elevador pórtico .....	27
2.3.4	Sistema de elevador pantográfico .....	28
2.3.4.1	Elevador pantográfico de sobrepor.....	29
2.3.4.2	Elevador pantográfico de embutir.....	29
2.3.4.3	Elevador pantográfico móvel .....	30
2.4	Extensômetro elétrico .....	30
2.4.1	Tipos de tensões mecânicas .....	31
2.4.1.1	Tipo, origem e estado das tensões mecânicas.....	31
2.4.1.2	Lei de Hooke .....	32
2.4.1.3	Coeficiente de Poisson.....	33
2.4.2	Funcionamento do extensômetro elétrico.....	33
2.4.3	Composição do extensômetro elétrico.....	35
2.4.3.1	Elemento resistivo do extensômetro.....	35
2.4.3.2	Base do extensômetro.....	35
2.4.3.3	Configuração da grade do extensômetro.....	35
2.4.4	Fixação do extensômetro.....	38
2.5	Célula de carga.....	39
2.5.1	Ponte de Weatstone .....	42
2.6	Módulo Ponte H L298N.....	45
2.7	Módulo HX711 .....	46
2.8	Microcontrolador ESP32 .....	47
2.8.1	ESPNOW.....	48



3	METODOLOGIA E MATERIAIS.....	50
3.1	Materiais utilizados .....	52
4	RESULTADOS.....	59
5	CONCLUSÕES.....	67
6	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS .....	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
	APÊNDICE A –Software: ESPNOW células de carga.....	74
	APÊNDICE B – Software: ESPNOW mestre.....	78
	APÊNDICE C –Software: Mac Address .....	92
	APENDICE D – Vista Geral da Maquete.....	93

## **1 INTRODUÇÃO**

O elevador automotivo é uma ferramenta desenvolvida para elevar o veículo do solo e permitir aplicações em diversos segmentos para manutenção automotiva, proporcionando agilidade, ergonomia, praticidade e segurança na execução da atividade.

O equipamento exige do operador o conhecimento das regras básicas para manusear. As sapatas de apoio exigem do operador a máxima atenção durante o processo de elevar o veículo devido à obrigatoriedade de respeitar os pontos pré determinado no veículo, garantindo a segurança para execução da elevação e do veículo no elevador para a atividade de manutenção.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é elaborar uma maquete, com a finalidade de demonstrar o funcionamento do sistema de segurança operacional para o elevador automotivo, ofertando mais segurança ao operador durante o processo de preparo na utilização do equipamento.

### **1.1 Objetivo**

Demonstrar a proposta do funcionamento do sistema de segurança durante a operação do elevador automotivo através de uma maquete, o desenvolvimento da programação para o processo de funcionamento e a montagem dos componentes.

Adicionando as células de cargas nas sapatas do elevador, torna-se possível a leitura dos valores de carga através do contato e posicionamento correto no veículo. Dessa forma, os dados são processados por um controlador auxiliar e enviados a um controlador central, responsável pela liberação e acionamento do motor elétrico.

Após conclusão do desenvolvimento do sistema, possibilitará a utilização de diferentes estratégias a futuros trabalhos.

## **1.2 Motivação**

A utilização do elevador automotivo agregou muitas vantagens nas atividades de manutenção veicular. Com isso, a implementação do dispositivo no equipamento disponibiliza a informação e segurança ao operador durante o preparado de elevação do veículo.

## **1.3 Justificativa**

Este trabalho justifica-se pelo fato que os elevadores automotivos não possuem acoplado um sistema de segurança que realize o bloqueio quando as sapatas de apoio não estão nos pontos pré-determinados no veículo. O sistema auxiliará durante a tomada de decisão do procedimento de elevar o veículo, agregando valor ao equipamento, redução dos riscos de acidentes, danos ao equipamento e ao veículo.

O processo de conclusão do trabalho do curso de Tecnologia Eletrônica Automotiva, na instituição FATEC Santo André, propiciou um novo conhecimento na área tecnológica de desenvolvimento e processo no funcionamento.

## **1.4 Conteúdo**

Esse estudo dividirá em seis capítulos. A primeira parte traz a introdução sobre o tema com o objetivo e motivação. A segunda parte mostra o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento desse estudo. A terceira parte mostra a metodologia e materiais utilizados. A quarta parte mostra os resultados obtidos do funcionamento da maquete. A quinta parte mostra as conclusões do estudo. A sexta parte mostra as propostas futuras para a continuidade desse trabalho. Na sequência, contém a referência bibliográfica para o processo e desenvolvimento aplicado nesse estudo. E, por fim, consta o apêndice com o programa do microcontrolador definido para o desenvolvimento desse estudo e anexo com as bibliotecas aplicadas na programação.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Iniciamos a esse referencial teórico, com a finalidade de desenvolver esse estudo da maquete e os componentes para aplicação da automação e programação do sistema de segurança operacional para o elevador automotivo.

### 2.1 A história do automóvel

Conforme Mercedes-Benz (2012), no dia 29 de janeiro de 1886, em Mannheim, na Alemanha, o engenheiro Karl Benz foi o pioneiro na história dos veículos, onde solicitou o pedido de patente do seu veículo motorizado a gás de três rodas chamado de Motorwagen. O veículo possui um motor mono cilindro de quatro tempos e 954 cc, obtendo um desempenho de 0,75 CV a 400 RPM, atingindo 16 KM/H de velocidade máxima. Na Figura 1, mostra o veículo Motorwagen desenvolvido pelo engenheiro Karl Benz.

**Figura 1 – Veículo Motorwagen desenvolvido pelo engenheiro Karl Benz**



Fonte: <https://www.instagram.com/p/CZUIOASuYZd/>.

Segundo Ford (2018), Henry Ford, desenvolveu e realizou o revolucionário processo de produção em série e o grande volume, através da linha de montagem de automóveis, mostrando como produzir em grande escala e redução no valor final para

o cliente. Em 1919, torna-se a primeira montadora instalada no Brasil. Na Figura 2, mostra o veículo Ford modelo T, em 1908, apresentado por Henry Ford.

**Figura 2 – Ford Modelo T, em 1908, apresentado por Henry Ford.**



Fonte: <https://media.ford.com/content/fordmedia/fsa/br/pt/news/2018/10/02/ford-modelo-t--primeiro-carro-popular-da-historia--comemora-110-.html>

## 2.2 A história do elevador

Conforme Castle Equipment Co. (2014), devido à procura dos proprietários para realizarem as manutenções corretivas e preventivas desses veículos, houve a necessidade da utilização de equipamentos voltados para aplicação de manutenção automotiva. Alguns serviços haviam a necessidade de elevar o veículo do solo devido ao acesso dos componentes. Em 1899, o Ira Weaver, desenvolveu e patenteou o primeiro macaco combinado com uma chave de roda, porém, sua aplicação tinha como princípio a elevar as carruagens.

Segundo Castle Equipment Co. (2014), em 1918, foi produzido na Weaver e apresentado a revista Motor Age, o primeiro equipamento de elevação automotivo nomeado de Weaver Auto Hoist, com método de funcionamento totalmente manual, acionado por alavancas acopladas em um conjunto mecânico composto por correntes, catracas e reduções com a finalidade de diminuir os esforços durante elevação e retorno do veículo ao solo. Sua capacidade máxima de elevação de 3000lbs (1360,78 Kg) e altura máxima de 9 pés (2,74 m). Em sua base, foram aplicadas rodas para

deslocar o veículo na área dentro da área de manutenção, mesmo quando suspenso. Na Figura 3, mostra a apresentação realizada através da revista Motor Age do equipamento de elevação automotivo da Weaver Auto Hoist, em 17 de outubro de 1918.

**Figura 3 – Apresentação do Weaver Auto Hoist na revista Motor Age, em 17 de outubro de 1918.**



Fonte: [http://www.castleequipment.com/Museum/lifts\\_weaver\\_history.htm](http://www.castleequipment.com/Museum/lifts_weaver_history.htm)

Conforme Engecass (2022), ainda no século XIX, o engenheiro Richard Dudgeon desenvolveu o macaco hidráulico, baseado no Princípio de Pascal, onde, todo o fluido submetido a uma pressão específica é igualmente distribuído em todas as direções e partes, sem perdas e ganhos, atingindo e replicando ao recipiente no qual está armazenado. A utilização desse equipamento atinge a função de elevar o veículo do solo, porém compromete ergonomia. Para garantir a segurança do operador, após o uso do macaco hidráulico, é necessária a aplicação do dispositivo chamado de cavalete.

Conforme Rotary Lift (2022), em 1º de setembro de 1925, Peter Lunati desenvolveu e patenteou o primeiro elevador automotivo hidráulico. O projeto teve início através da inspiração da operação de uma cadeira de barbeiro e utilização do Princípio de Pascal. O diferencial desse projeto foi a aplicação e utilização de somente um pistão hidráulico, possibilitando o veículo entrar no sentido de marcha no elevador

e, quando estivesse elevado, poderia girar o conjunto, tornando possível o veículo sair em sentido de marcha e sem a necessidade de realizar manobras.

Segundo Rotary Lift (2022), ainda em 1º de setembro de 1925, nasceu a Rotary Lift, onde recebeu esse nome “Rotary” devido o fato de o elevador realizar o giro em 360º quando o veículo está elevado do solo.

De acordo com Castle Equipment Co. (2014), devido à necessidade de atender as oficinas reparadoras e evolução dos veículos, foram desenvolvidos diversos modelos de elevadores automotivos para atender a capacidade de peso, dimensões dos veículos, sistema de acionamento, etc. Em maio de 1966, foi desenvolvido na Weaver e apresentado na Automate News, um elevador hidráulico com dois pistões e acionamento uniforme. Além disso, na apresentação, compara quando a oficina reparadora não possui o elevador automotivo, comprometendo a lucratividade e ergonomia do reparador. Na Figura 4, mostra a apresentação elevador hidráulico da Weaver Select-A-Lift na Automate News, em maio de 1966.

**Figura 4 – Apresentação do Weaver Select-A-Lift na Automate News, em maio de 1966.**



**WEAVER® puts it up to you**

Increase production per man hour with a Weaver Select-A-Lift! Here's how: a Weaver brings it up to you; no body distortion (for the car OR the worker). You obtain greater efficiency because work fatigue due to the discomfort of awkward positions is practically eliminated. How about it? Weaver puts it up to you. If a more efficient, more profitable body shop operation is your concern, contact your Weaver distributor or . . . write, wire, phone today.

**INQUIRE ABOUT THE WEAVER LEASE PLAN**  
SERVICE SHOP EQUIPMENT  
**WEAVER DIVISION · DURA CORPORATION**  
SPRINGFIELD, ILLINOIS, U.S.A. 62705

Lifts by the axle housing  
Quick selection lever  
Lifts by the rear wheels

## 2.3 Tipos de elevadores automotivos

Conforme Engecass (2022), atualmente existem quatro tipos de sistemas de elevadores automotivos que são o eletromecânico, hidráulico, pórtico e o pantográfico.

### 2.3.1 Elevador eletromecânico automotivo

Segundo Engecass (2022), o elevador eletromecânico automotivo é o modelo mais tradicional aplicado ao mercado de serviços automotivos, devido ao custo benefício, eficiência, eficácia e robustez. Na Figura 5, mostra o elevador eletromecânico.

**Figura 5 – Elevador eletromecânico automotivo**



Fonte: <https://materiais.engecass.com.br/servicos-automotivos>

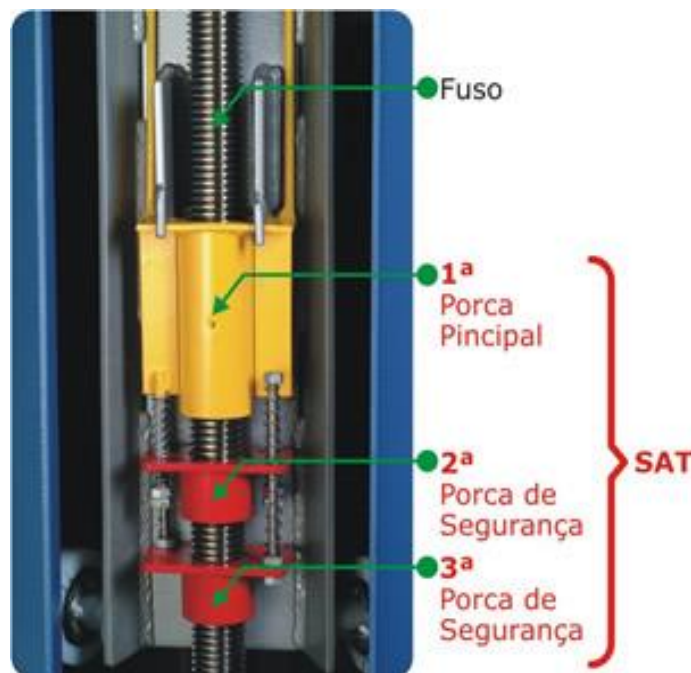
De acordo com Engecass (2022), o funcionamento desse modelo é simples, onde o conjunto redutor, composto por polias e correia, está acoplado ao motor elétrico e a outra parte no superior do fuso. Quando o motor elétrico recebe o comando



de direção, aciona o sentido de giro e atua o conjunto redutor, que transfere o giro ao fuso.

Conforme Rodovele (2009), o fuso é o componente que transfere o funcionamento do sentido do giro para a porca principal, que por sua vez, transfere para a operação de movimento dos braços. Com a finalidade de obter segurança na operação, o SAT (Sistema Anti Travamento) é o sistema que está acoplado no fuso e permite a segurança durante a utilização do equipamento. Durante a função de descida do elevador, o sistema protege o travamento no fim de curso, quando há presença de objetos na parte inferior do braço e inversão de fases do motor elétrico. Caso ocorra o desgaste da porca principal e o veículo está suspenso no equipamento, possui mais duas porcas de segurança, possibilitando que não ocorra a queda livre. Quando enviado o comando para descer e ocorra o problema de desgaste na porca principal, a porca de segurança recebe a carga e realiza a função, porém, no final do curso do elevador, as porcas de segurança ultrapassam do limite inferior e desacoplam do fuso, impossibilitando a elevação do braço que apresentou a falha. Na Figura 6, mostra o fuso e o conjunto do sistema de segurança do elevador eletromecânico automotivo.

**Figura 6 – Fuso e o sistema de segurança do elevador eletromecânico automotivo**



Fonte: <http://www.rodavele.com.br/home/conteudo/103/134/Sistema-S.A.T>

Engecass (2022), diz que, a operação uniforme entre os braços, a parte inferior dos fusos possuem uma engrenagem que interligam a corrente, proporcionando o sincronismo durante o funcionamento. Esses componentes estão localizados dentro da base inferior. Na Figura 7, mostra a base inferior que armazenam os componentes de sincronismo.

**Figura 7 – Base inferior do sistema do elevador eletromecânico automotivo**



Fonte: o autor (2022)

Segundo Elevamaq (2020), existem três de modelos de ligação dos motores elétricos, conforme a disposição do modelo e necessidade de aplicação, que se dividem em ligação trifásica em 220 V, ligação trifásica em 380 V e ligação monofásica 220 V. Na Figura 8, mostra o esquema elétrico dos tipos de ligação dos motores elétricos, ressaltando que esse modelo pode variar de acordo com as empresas que fabricam os elevadores.

**Figura 8– Esquema elétrico dos tipos de ligação dos motores elétricos**



Fonte: <https://labsistemasveiculares.paginas.ufsc.br/files/2015/12/ELEVAMAQ-MANUAL-ELEVADORES-2020.pdf>

### 2.3.2 Elevador hidráulico automotivo

De acordo com Engecass (2022), o sistema de elevadores hidráulico automotivo surgiu como alternativa para o mercado de serviços automotivos. Sua estrutura similar ao elevador eletromecânico, porém o acionamento do mecanismo é realizado por um conjunto eletrohidráulico. Na Figura 9, mostra o elevador automotivo com o sistema eletrohidráulico.

**Figura 9 – Elevador automotivo com sistema eletrohidráulico.**



Fonte: <https://engecass.com.br/elevadores/elevador-hidraulico-4000kg>

Segundo Engecass (2022), os componentes principais são: motor elétrico, bomba hidráulica, mangueiras, pistão hidráulico, corrente de acionamento e trava de segurança. Na Figura 10, mostra o conjunto motor elétrico e bomba hidráulica.

**Figura 10 – Conjunto motor elétrico e bomba hidráulica.**



Fonte: <https://engecass.com.br/elevadores/elevador-hidraulico-4000kg>

Conforme Engecass (2022), a operação de elevar o veículo tem início quando o operador aciona o botão de elevar. O motor elétrico liga e aciona a bomba hidráulica devido ao acoplamento. O fluido hidráulico é pressurizado e enviado, através das mangueiras, para as câmaras dos pistões, assim, deslocando o êmbolo e a haste. Na parte superior de cada haste do pistão possui uma engrenagem para auxiliar o acionamento da corrente, que está solidária ao suporte do braço do elevador e, dessa forma, quando a haste desloca, movimenta o braço do elevador e eleva o veículo. Conforme acontece a elevação, as travas de segurança, localizadas nas colunas do elevador, atuam como catracas e, com auxílio de molas, acompanham o deslocamento do braço garantindo o sistema de segurança. Para a função de descida, é necessário elevar aproximadamente 5 cm, puxar a liberação das travas de segurança e acionar a alavanca de retorno ou descida, dessa forma, o componente atua a válvula de retorno do fluido hidráulico ao reservatório e o retorno do embolo do pistão ao fim de curso inferior. Em alguns modelos ou fabricantes, o sistema de descida é realizado através do acionamento da alavanca ou comando eletroeletrônico.

Engecass (2022), diz ainda que, a principal de vantagem desse modelo em comparação ao elevador eletromecânico é a economia de energia devido não necessitar acionar o motor elétrico durante a função de descida.

### **2.3.3 Sistema de elevador pórtico**

Conforme Hidromar (2014), o sistema de elevador pórtico está disponível no mercado de serviços automotivos com a finalidade de atender ao ambiente que necessita do piso livre entre as colunas do elevador. Esse modelo possui o sistema de parada automática de máxima elevação, pois quando o teto do veículo encosta na barra de acionamento, o sensor de fim de curso é ativado e bloqueia a continuidade da operação de elevar, assegurando que o veículo não ultrapasse o limite máximo permitido do equipamento e não ocorram avarias no teto do veículo. Dependendo do fabricante, pode ser oferecido no sistema de eletromecânico ou eletrohidráulico.

Segundo Emaster (2014), no sistema eletromecânico com pórtico quando comparado com o sistema eletromecânico, ambos possuem as mesmas características de funcionamento, porém alguns componentes que estavam dentro da

base, estarão na parte superior do pórtico. Na Figura 11, mostra o elevador eletromecânico com pórtico.

**Figura 11 – Elevador eletromecânico automotivo com pórtico**



Fonte: <http://www.emasterelevadores.com.br/produtos/novo-portico/>

Na Figura 12, mostra o elevador hidráulico automotivo com pórtico.

**Figura 12 – Elevador hidráulico automotivo com pórtico**



Fonte: <https://hidromar.com.br/produtos/elevador/8/hidraulico-phf-4-0--portico>

### **2.3.4 Sistema de elevador pantográfico**

Conforme Engecass (2022), o sistema de elevadores pantográfico automotivo é mais uma opção no mercado de reparação com a finalidade de atender a otimização e modernidade do ambiente interno.

Segundo Engecass (2022), o acionamento do sistema é realizado através do conjunto eletrohidráulico que alimenta os pistões hidráulicos e, dessa forma, movimenta o conjunto da plataforma mecânica.

Conforme Hidromar (2022), o sistema de segurança de elevação é efetuado por travas automáticas que deslizam durante o processo de elevação. O painel de

comandos é o responsável efetuar o acionamento do equipamento. Na Figura 13, mostra o sistema de segurança efetuado por travas automáticas.

**Figura 13 – Sistema de segurança efetuado por travas automáticas**



Fonte: <https://engecass.com.br/elevadores/elevador-hidraulico-pantografico-embutir>

Engecass (2022), diz que, os elevadores pantográficos são divididos em: sobrepor, embutir e móvel.

#### **2.3.4.1 Elevador pantográfico de sobrepor**

Engecass (2022), ainda diz que, a base da estrutura do elevador pantográfico de sobrepor é fixada acima do piso do ambiente e tornando visível o conjunto completo do sistema. Na Figura 14, mostra o elevador pantográfico de sobrepor.

**Figura 14 – Elevador pantográfico de sobrepor**



Fonte: <https://engecass.com.br/elevadores/elevador-hidraulico-pantografico-sobrepor>

#### **2.3.4.2 Elevador pantográfico de embutir**

De acordo com Engecass (2022), o elevador pantográfico de embutir necessita que o piso seja preparado para embutir o equipamento, dessa forma, quando o

equipamento estiver totalmente recuado permite que a plataforma fique uniforme com o piso do ambiente. Na Figura 15, mostra o elevador pantográfico de embutir.

**Figura 15 – Elevador pantográfico de embutir**



Fonte: <https://engecass.com.br/elevadores/elevador-hidraulico-pantografico-embutir>

#### **2.3.4.3 Elevador pantográfico móvel**

Conforme Engecass (2022), o elevador pantográfico móvel permite a locomoção do equipamento no ambiente e a flexibilidade de posicionar o elevador para realizar o processo de manutenção. Na Figura 16, mostra o elevador pantográfico móvel.

**Figura 16 – Elevador pantográfico móvel**



Fonte: <https://engecass.com.br/elevadores/elevador-hidraulico-pantografico-movel>

## **2.4 Extensômetro elétrico**

Conforme HBM (s.d), o extensômetro ou strain gauges é um sensor eletromecânico que realiza a medição da deformação mecânica através da variação da resistência elétrica.

De acordo com Feder (2000), em 1938, Arthur Claude Ruge criou o primeiro extensômetro. O dispositivo era composto por quatro filamentos de tungstênio, fixado em formato sinuoso e sobre a base da estrutura a ser analisada. O experimento iniciou no momento que aplicou a corrente elétrica no filamento e ao aplicar uma determinada força no dispositivo gerava a variação resistiva no filamento, possibilitando realizar a equivalência entre o valor da tensão e a força aplicada. Dessa forma, tornando possível a análise dos tipos de tensões mecânicas.

#### **2.4.1 Tipos de tensões mecânicas**

Segundo HBM (2022), quando aplicado uma força ou uma tensão mecânica ao objeto ocorre à deformação do material. As tensões mecânicas são divididas em tipo, origem e estado.

##### **2.4.1.1 Tipo, origem e estado das tensões mecânicas**

Ainda, segundo HBM (2022), os tipos de tensões mecânicas são classificados como tensão normal e tensão de cisalhamento. As origens são classificadas como tração, compressão, flexão, torção, residual e efeito térmico.

HBM (2022) disserta que, as origens de tração e compressão fazem parte do tipo de tensão normal, onde a tração é tratada como tensão positiva e a compressão tratada com tensão negativa.

HBM (2022) ainda disserta que as tensões mecânicas, de acordo com os estados, são classificadas como uniaxial, biaxial e triaxial. A tensão uniaxial acontece somente em barras de tração e compressão.

HBM (2022) afirma que, para a tensão biaxial ou planar, acontece se as forças que geram a tensão sucedem em dois eixos que são perpendiculares entre si. As bases teóricas são realizadas quando existem a definição das direções efetivas das forças em dois eixos principais a 90 graus, mas são muito diferentes quando existem com direções efetivas das forças divergentes operando no mesmo plano e em ângulos desiguais, no entanto, através das duas principais direções é possível realizar a definição.



HBM (2022) ainda afirma que, para tensão triaxial ou tridimensional, acontece quando há forças atuando em qualquer direção. Semelhante a tensão planar, três principais eixos são determinados que de tal maneira todos estejam perpendiculares entre si.

#### 2.4.1.2 Lei de Hooke

Conforme Beer e Johnston (1995), o inglês e matemático Robert Hooke (1635-1703), publicou a Lei de Hooke, onde, através das propriedades físicas do material e a análise do diagrama tensão-deformação, a tensão ( $\sigma$ ) é diretamente proporcional a deformação específica ( $\epsilon$ ), desde que, não ultrapasse o ponto limite da deformação elástica. O coeficiente ( $E$ ) é nomeado módulo da elasticidade do material ou módulo de Young. Na Figura 17, mostra a equação da Lei de Hooke.

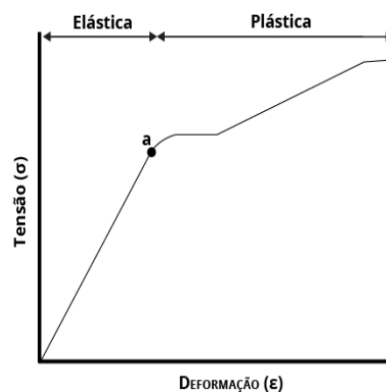
**Figura 17 – Equação da Lei de Hooke**

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Fonte: BEER, F. P.; JOHNSTON JÚNIOR, E. R. Resistência dos materiais. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1995.

Segundo Beer e Johnston (1995), o diagrama de tensão- deformação permite analisar o limite de elasticidade e o limite de proporcionalidade do material. Na Figura 18, mostra a curva de tensão ( $\sigma$ ) x deformação específica ( $\epsilon$ ) e limite de elasticidade (a).

**Figura 18 – Curva de tensão ( $\sigma$ ) x deformação específica ( $\epsilon$ ) e limite de elasticidade (a)**



Fonte: <https://www.revistamanutencao.com.br/literatura/cientifica/engenharia/lei-de-hooke-um-ensaio-fundamental-para-compreender-a-resistencia-dos-materiais-resmat.html>

### 2.4.1.3 Coeficiente de Poisson

Beer e Johnston (1995) dizem que, o francês e matemático Siméon Denis Poisson (1781-1840), desenvolveu, dentro da Lei de Hooke, o coeficiente de Poisson, onde, a relação expressada pelo quociente da deformação específica transversal e da deformação específica longitudinal. A relação é expressa através da letra grega  $\nu$  (nu). Na Figura 19, mostra a equação do coeficiente de Poisson.

**Figura 19 – Equação do coeficiente de Poisson**

$$\nu = \left| \frac{\text{deformação específica transversal}}{\text{deformação específica longitudinal}} \right|$$

Fonte: BEER, F. P.; JOHNSTON JÚNIOR, E. R. Resistência dos materiais. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1995.

Beer e Johnston (1995), ainda dizem que, através da relação do coeficiente de Poisson ( $\nu$ ), permite a aplicação para análise da força em qualquer extensão de direção da deformação específica transversal e longitudinal e das grandezas adimensionais. Na figura 20, mostra a equação do coeficiente de Poisson.

**Figura 20 – Equação do coeficiente de Poisson.**

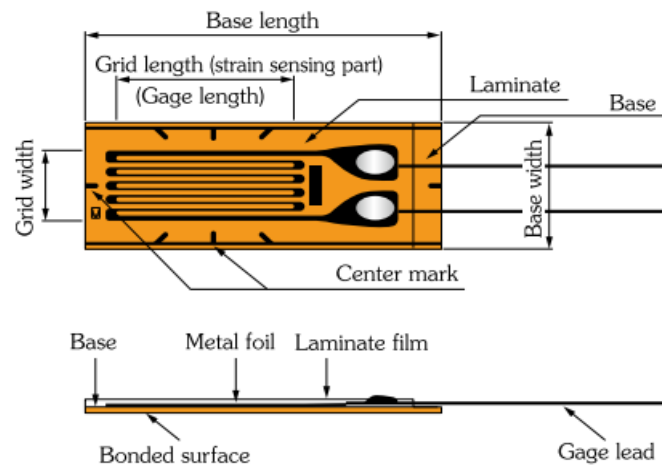
$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

Fonte: BEER, F. P.; JOHNSTON JÚNIOR, E. R. Resistência dos materiais. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1995. Funcionamento do extensômetro elétrico

### 2.4.2 Funcionamento do extensômetro elétrico

De acordo com HBM (2022), o extensômetro possui formato de lâmina, construção por filamento resistivo e encapsulamento por um filme. Durante seu funcionamento, o sensor está solidário ao material que transmitirá a deformação elástica devido aos esforços aplicados. Quando o filme e o condutor estão comprimidos, o valor da resistência elétrica, medida em Ohm ( $\Omega$ ), diminui, mas, quando prolongado, aumenta a resistência elétrica. Na Figura 21, mostra o extensômetro elétrico.

**Figura 21 – Extensômetro elétrico**



Fonte: <https://www.hbm.com/pt/7328/video-como-um-strain-gauge-eletrico-funciona/>

Ainda, de acordo com HBM (2022), a modulação da resistência elétrica do extensômetro, dependerá da resistência do fio ( $R$ ), o comprimento do fio ( $L$ ), resistividade ( $\rho$ ) e a área transversal do fio ( $A$ ). Na figura 22, mostra a equação resistência elétrica do fio.

**Figura 22 – Equação da resistência elétrica do fio**

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Fonte: Boylestad, Robert L. Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos, 8ª edição / Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky; tradução Rafael Monteiro Simon; revisão técnica José Bueno de Camargo, José Lucimar do Nascimento, Antonio Pertence Júnior. – São Paulo: Prentice Hall, 2004.

Segundo HBM (2022), o fator  $K$  ou fator de sensibilidade do extensômetro é o valor nominal determinado no processo da fabricação de cada tipo de material resistivo do extensômetro, podendo variar a medida em milésimos em cada lote. A alteração no valor nominal do fator da sensibilidade do extensômetro ( $K$ ) impacta diretamente análise de deformação e resistência do extensômetro. Na figura 23, mostra a equação do fator  $K$ .

**Figura 23 – Equação do fator  $K$**

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k \cdot \varepsilon$$

Fonte: <https://www.hbm.com/pt/7328/video-como-um-strain-gauge-eletrico-funciona/>

HBM (2022) diz que, os dados adquiridos durante o funcionamento, serão coletados através software de aquisição de dados, onde o programador deverá definir as taxas de transmissão e frequência de operação para correlacionar os resultados obtidos da análise estrutural.

### **2.4.3 Composição do extensômetro elétrico**

Conforme HBM (2022), os strain gauges são definidos de acordo com o elemento resistivo, base e a configuração da grade.

#### **2.4.3.1 Elemento resistivo do extensômetro**

Segundo HBM (2022), o elemento resistivo é o componente que forma a grade do extensômetro. Os materiais utilizados para a construção são de ligas especiais, por exemplo, o Constantan, garantindo a variação da resistência em relação à deformação elástica do material analisado.

#### **2.4.3.2 Base do extensômetro**

De acordo com HBM (2022), a base do extensômetro é o objeto responsável por alojar o elemento resistivo. A poliamida, por exemplo, é um dos tipos de material aplicado para a construção. Para garantir a fixação, flexibilidade e durabilidade do material da base é importante verificar as características e comportamento de deformação do material avaliado.

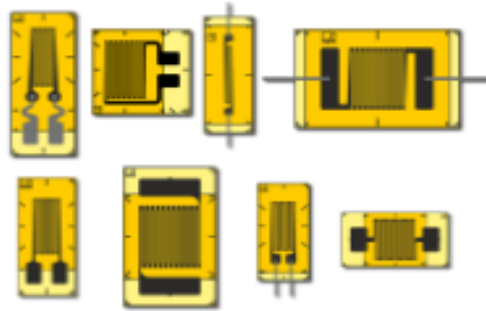
Ainda, de acordo com HBM (2022), o filme laminado tem a função de blindar o elemento resistivo e a base do extensômetro para que não tenha interferências elétricas e contaminação com o ambiente externo.

#### **2.4.3.3 Configuração da grade do extensômetro**

HBM (2022) diz que, a configuração da grade do extensômetro é classificada de acordo com o formato de fabricação e da aplicação para medições.

HBM (2022) disserta que, os extensômetros lineares permitem realizar a medição de deformação em direção única, devido a sua construção compor somente um grid de medição. Na Figura 24, mostra alguns modelos de extensômetros lineares.

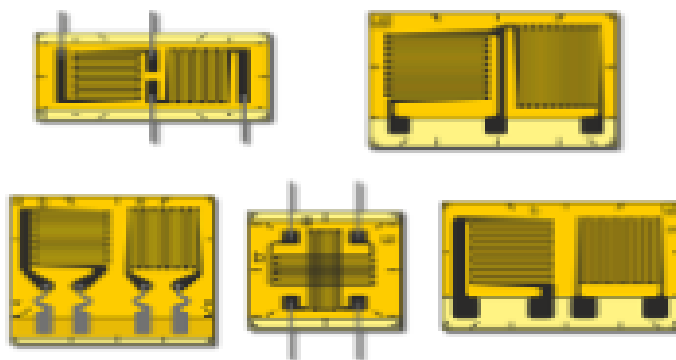
**Figura 24 – Extensômetros lineares**



Fonte: [https://www.hbm.com/pt/0364/strain-gauge-para-analise-de-tensao/?product\\_type\\_no=S%C3%A9rie%20Y:%20Strain%20gauge%20linear%20para%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20padr%C3%A3o](https://www.hbm.com/pt/0364/strain-gauge-para-analise-de-tensao/?product_type_no=S%C3%A9rie%20Y:%20Strain%20gauge%20linear%20para%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20padr%C3%A3o)

Conforme HBM (2022), os extensômetros do tipo roseta possuem duplas grades de medição, dessa forma, permitindo compensar as medidas de deformação em um ângulo de 90 graus para medir o estresse biaxial. São aplicados, por exemplo, em medições de barras de tração e compressão. Na Figura 25, mostra alguns modelos de extensômetros do tipo roseta.

**Figura 25 – Extensômetros do tipo roseta**

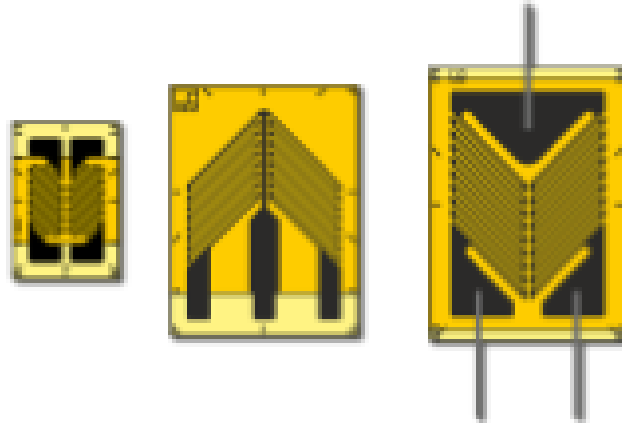


Fonte: [https://www.hbm.com/pt/0364/strain-gauge-para-analise-de-tensao/?product\\_type\\_no=S%C3%A9rie%20Y:%20Strain%20gauge%20linear%20para%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20padr%C3%A3o](https://www.hbm.com/pt/0364/strain-gauge-para-analise-de-tensao/?product_type_no=S%C3%A9rie%20Y:%20Strain%20gauge%20linear%20para%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20padr%C3%A3o)

Ainda, conforme HBM (2022), os extensômetros em forma de “V” possuem duas grades de medições dispostos em ângulo de 45 graus, em relação ao eixo do extensômetro. O modelo permite medições em barra de torção e determinação de

tensões de cisalhamento à medida que ocorrem em barras de cisalhamento na área de fibras neutras. Na Figura 26, mostra alguns modelos de extensômetros em forma de “V”.

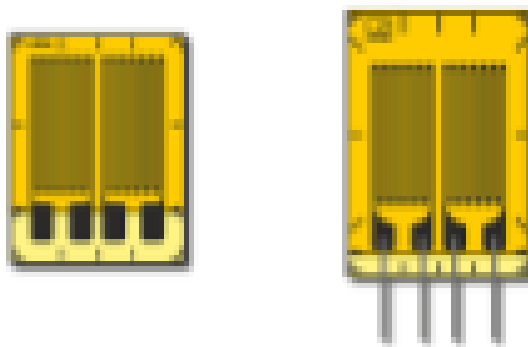
**Figura 26 – Extensômetros em forma de “V”**



Fonte: [https://www.hbm.com/pt/0364/strain-gauge-para-analise-de-tensao/?product\\_type\\_no=S%C3%A9rie%20Y:%20Strain%20gauge%20linear%20para%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20padr%C3%A3o](https://www.hbm.com/pt/0364/strain-gauge-para-analise-de-tensao/?product_type_no=S%C3%A9rie%20Y:%20Strain%20gauge%20linear%20para%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20padr%C3%A3o)

De acordo com HBM (2022), os extensômetros lineares de dupla lâmina possuem grades de medidas paralelas possibilitando realizar a aquisição de medições de tensão perpendicular em vigas de flexão. Na Figura 27, mostra alguns modelos de extensômetros lineares de dupla lâmina.

**Figura 27 – Extensômetros lineares de dupla lâmina**

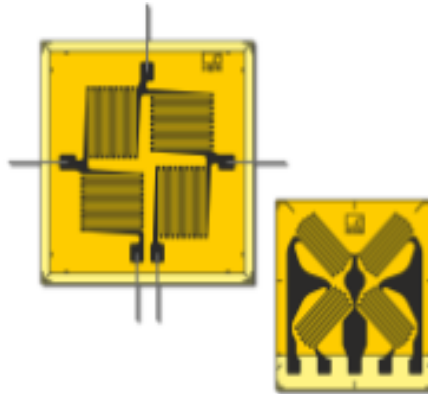


Fonte: [https://www.hbm.com/pt/0364/strain-gauge-para-analise-de-tensao/?product\\_type\\_no=S%C3%A9rie%20Y:%20Strain%20gauge%20linear%20para%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20padr%C3%A3o](https://www.hbm.com/pt/0364/strain-gauge-para-analise-de-tensao/?product_type_no=S%C3%A9rie%20Y:%20Strain%20gauge%20linear%20para%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20padr%C3%A3o)

Ainda de acordo com HBM (2022), os extensômetros de ponte completa possibilitam analisar, através das quatro grades de medidas, as tensões de

cisalhamento em barras de tensão e compressão. Na Figura 28, mostra os extensômetros de ponte completa.

**Figura 28 – Extensômetros de ponte completa**



Fonte: [https://www.hbm.com/pt/0364/strain-gauge-para-analise-de-tensao/?product\\_type\\_no=S%C3%A9rie%20Y:%20Strain%20gauge%20linear%20para%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20padr%C3%A3o](https://www.hbm.com/pt/0364/strain-gauge-para-analise-de-tensao/?product_type_no=S%C3%A9rie%20Y:%20Strain%20gauge%20linear%20para%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20padr%C3%A3o)

HBM (2022) afirma que, para determinar gradiente de deformação é necessário utilizar o método de extensômetros em cadeia, onde, são colocados em uma base em comum e distância definida.

HBM (2022) ainda afirma que, os extensômetros possibilitam utilizar versões de resistências entre 120, 350, 700 e 1000 Ohms ( $\Omega$ ).

#### **2.4.4 Fixação do extensômetro**

De acordo com HBM (2022), a fixação do extensômetro é o ponto importante do processo. O produto adesivo não deve interferir no processo de medição, deformação do material e do sensor. A tecnologia de cola especial oferece algumas possibilidades de materiais de colagem dos extensômetros, sendo necessária a avaliação do ambiente de operação, principalmente em relação ao requisito temperatura de análise.

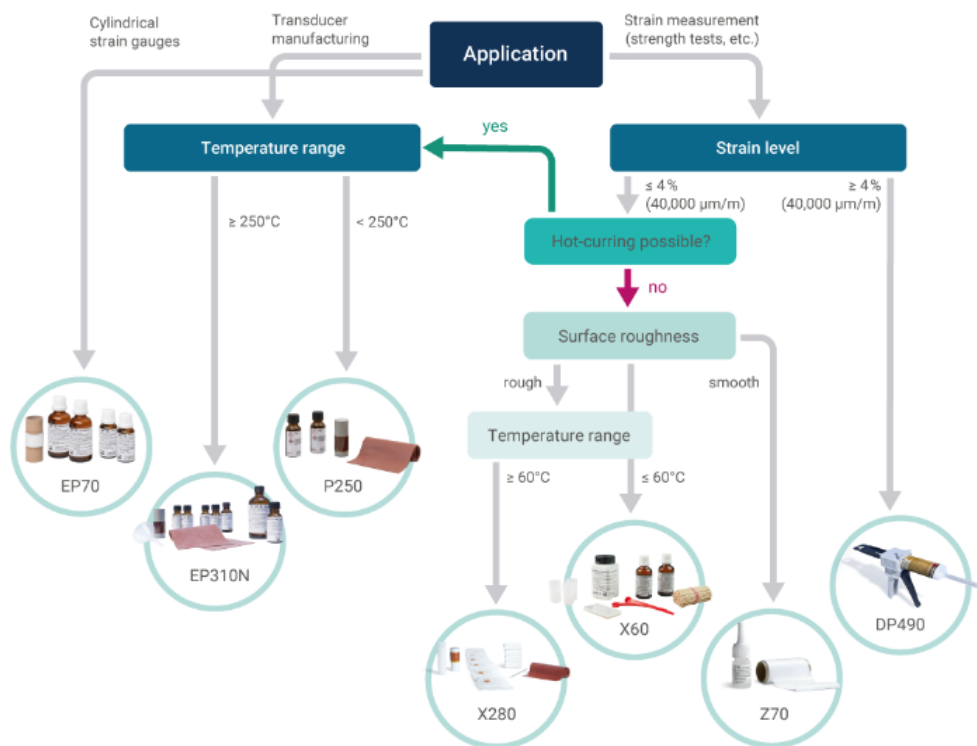
HBM (2022) diz que, devido o desenvolvimento dos produtos de colagem, o processo para efetuar a fixação do produto adesivo pode ser com adesivos de cura a frio ou de cura a quente.

HBM (2022) afirma que, o adesivo de cura a frio permite a aplicação de forma simples, eficaz e sem dificuldade. As single component (componente simples) são

adesivos realizam a cura quando a umidade adequada dentro das especificações técnicas. As two-component (dois componentes) são adesivos que deve realizar a mistura dos produtos para efetuar a fixação. As super colas são adesivos que possuem o comportamento de rápida cura.

HBM (2022) ainda afirma que, o adesivo de cura a quente é aplicado quando a peça a ser analisada e o extensômetro permitam atingir a temperatura de cura. Esse modelo de adesivo disponibiliza mais opções de colagem em comparação ao adesivo de cola a frio. Na Figura 29, mostra o fluxograma para determinar a escolha correta do adesivo de fixação do extensômetro.

**Figura 29 – Fluxograma para determinar a escolha correta do adesivo de fixação do extensômetro**



Fonte: <https://www.hbm.com/pt/4314/escolhendo-colas-para-instalacao-de-strain-gauges/>

## 2.5 Célula de carga

Conforme Omega (2015), o transdutor eletromecânico ou célula de carga é um dispositivo que realiza a conversão da força ou peso aplicada em saída elétrica



mensurável proporcionando a aplicação em diversas atividades de medição de pesagem com precisão e versatilidade.

Segundo Omega (2015), antes do surgimento do dispositivo, as balanças mecânicas eram utilizadas para realizar as medições das massas dos objetos. O funcionamento do equipamento é através equilíbrio das alavancas, onde, um lado é aplicado à massa a ser medida e o outro é aplicado o método de compensação de massa padronizada, assim, obtendo a leitura o valor da massa a ser medida. A calibração possibilitava obter a confiabilidade e precisão da leitura. Na Figura 30, mostra a balança mecânica e os pesos padrões.

**Figura 30 – Balança mecânica e os pesos padrões**



Fonte: <https://www.galeriaalphaville.com.br/leiloes/188/lote/772>

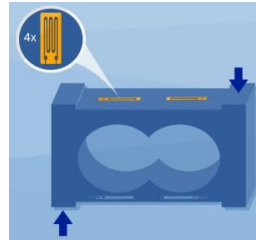
Conforme HBM (2022), o dispositivo é composto como sensor extensômetro elétrico ou strain gauges, onde sua função é realizar medir a variação da arqueadura e ou fadiga do material quando aplicado a massa no ponto pré determinado, assim, variando a resistência elétrica. Normalmente, os dispositivos são de aço ou alumínio devido às características de resistência e elasticidade do material, possibilitando que o extensômetro execute a medição.

Segundo HBM (2022), os modelos de células de carga dependem da aplicação para aquisição de medição. Os mais requisitados são os single point, tipo beam, forças de compressão e forças de tração.

HBM (2022) diz que, as células de carga do tipo single point permite sua fixação em plataformas permitindo a aplicação da carga na parte superior para realização da

leitura. Os extensômetros são aplicados na parte superior e inferior do componente. Na Figura 31, mostra a célula de carga do tipo single point.

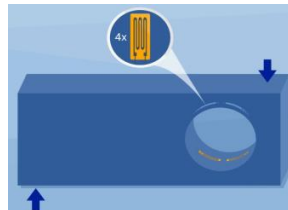
**Figura 31 – Célula de carga tipo single point**



Fonte: <https://www.hbm.com/pt/6768/como-uma-celula-de-carga-trabalha/>

HBM (2022) ainda diz que, as células de carga do tipo beam possuem as características similares de funcionamento do modelo single point, porém, os quatro extensômetros são aplicados na parte interna do orifício do componente. Na Figura 32, mostra a célula de carga do tipo beam.

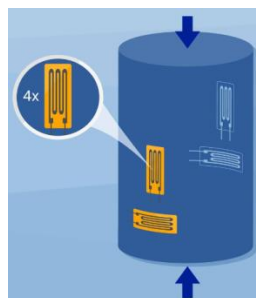
**Figura 32 – Célula de carga do tipo beam**



Fonte: <https://www.hbm.com/pt/6768/como-uma-celula-de-carga-trabalha/>

HBM (2022) disserta que, as células de carga do tipo força de compressão permitem a aplicação da carga sob o dispositivo para realização da leitura. Os quatro extensômetros são aplicados nas laterais do componente. Na Figura 33, mostra a célula de carga do tipo força de compressão.

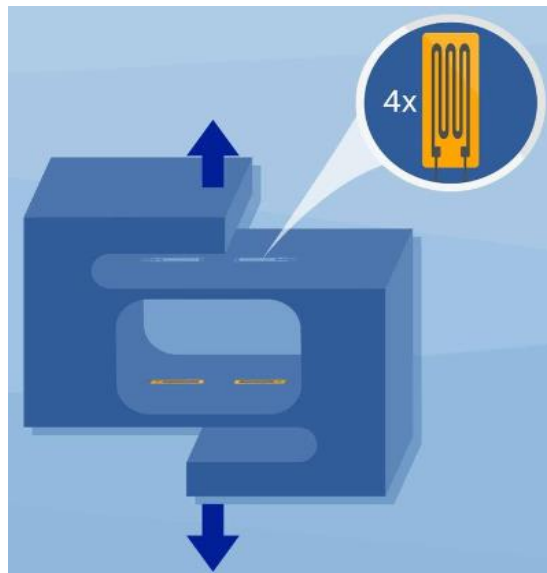
**Figura 33 – Célula de carga do tipo força de compressão**



Fonte: <https://www.hbm.com/pt/6768/como-uma-celula-de-carga-trabalha/>

HBM (2022) ainda disserta que, as células de carga do tipo força de tração são aplicadas quando a carga estará suspensa e o dispositivo recebe a força de tração. Os quatro extensômetros são aplicados na parte central do dispositivo. Na Figura 34, mostra a célula de carga do tipo força de tração.

**Figura 34 – Célula de carga do tipo força de tração**



Fonte: <https://www.hbm.com/pt/6768/como-uma-celula-de-carga-trabalha/>

HBM (2022) afirma que, para as células de carga que possuem aplicado os quatro extensômetros é necessário utilizar o circuito ponte de Wheatstone para realizar a medição das variações das resistências do circuito elétrico.

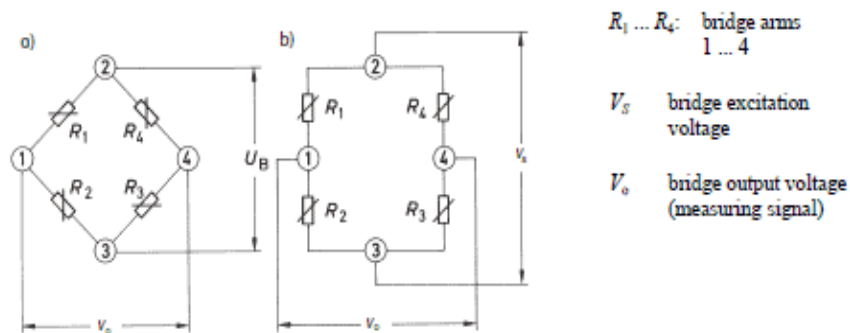
### 2.5.1 Ponte de Wheatstone

Conforme Omega (2015), em 1843, o inglês e físico Sir Charles Wheatstone desenvolveu o circuito de ponte com a finalidade de realizar medições das resistências elétricas, onde através do equilíbrio da ponte torna possível a leitura da variação da resistência do extensômetro com precisão. A formação da ponte é composta por quatro resistores, possibilitando a análise dos valores do circuito. A tensão saída do circuito permite a leitura expressa em milivolts (mV) e alimentação em Volts (V).

Segundo HBM (s.d), o circuito é representado por resistores R1, R2, R3 e R4. Os pontos 2 e 3 representam os pontos de tensão de excitação da ponte ( $V_s$ ) e os pontos 1 e 4 representam os pontos da tensão de saída da ponte ( $V_0$ ). Na Figura 35a,

mostra o circuito da ponte de Wheatstone representado no formato losango e na 35b, mostra o circuito da ponte de Wheatstone representado no formato de quadrado.

**Figura 35 – a) circuito da ponte de Wheatstone no formato losango. b) circuito da ponte de Wheatstone no formato quadrado**



Fonte: <https://www.hbm.com/pt/7163/circuito-de-ponte-de-wheatstone/>

Ainda segundo HBM (2022), quando aplicado uma tensão de alimentação ( $V_s$ ) nos pontos 2 e 3 da ponte, o valor é dividido entre as duas metades da ponte  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_4$  e  $R_3$ , correspondente a relação das resistências da ponte, dessa forma, cada metade da ponte formará um divisor de tensão. O desequilíbrio da ponte surge através da diferença nas tensões das resistências elétricas do circuito e das deformações dos extensômetros. A fórmula para o cálculo do equilíbrio das tensões das resistências permite aplicar os valores do circuito para buscar o equilíbrio entre as relações dos resistores  $R_1$  e  $R_2$  com  $R_4$  e  $R_3$ , dessa forma, resultando no valor de tensão de saída. Na Figura 36, mostra a fórmula para o cálculo do equilíbrio das tensões das resistências da ponte, onde a tensão de saída da ponte ( $V_0$ ) é zero, ou seja, está em equilíbrio.

**Figura 36 – Fórmula para cálculo do equilíbrio das tensões das resistências da ponte de Wheatstone**

$$V_o = V_s \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

Fonte: <https://www.hbm.com/pt/7163/circuito-de-ponte-de-wheatstone/>

HBM (2022), diz que, com o valor conhecido de tensão, a resistência do extensômetro altera conforme o valor do delta da resistência ( $\Delta R$ ), resultando na

equação com o valor de tensão referenciada, representada na Figura 37, que mostra a equação com o valor de tensão referenciada.

**Figura 37 – Equação com o valor de tensão referenciada**

$$V_o = V_s \left( \frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2} - \frac{R_4 + \Delta R_4}{R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4} \right)$$

Fonte: <https://www.hbm.com/pt/7163/circuito-de-ponte-de-wheatstone/>

HBM (2022) disserta que, quando todos os extensômetros possuem o mesmo o fator de gauge ( $\kappa$ ), é aplicada a equação do fator de gauge ( $\kappa$ ), juntamente com as diferenças das deformações ( $\varepsilon$ ) de cada resistor, conforme a Figura38.

**Figura 38 – Equação do fator de gauge ( $\kappa$ )**

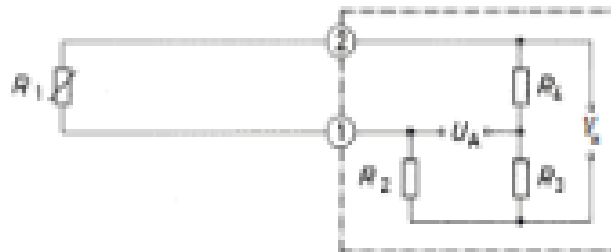
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{\kappa}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

Fonte: <https://www.hbm.com/pt/7163/circuito-de-ponte-de-wheatstone/>

HBM (2022) afirma que, dependendo da atividade de medição, um ou mais extensômetros elétricos são aplicados ao circuito. Esses circuitos recebem o nome de quarto de ponte, meia ponte e ponte completa.

HBM (2022), ainda afirma que, o circuito de ponte de um quarto é aplicado um extensômetro ativo no R1 e R2, R3 e R4 atuam como resistores fixos e não recebem deformações, conforme mostra Figura 39.

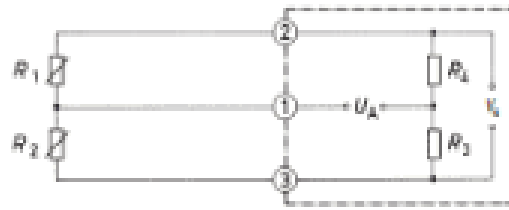
**Figura 39 – Circuito de ponte de um quarto**



Fonte: <https://www.hbm.com/pt/7163/circuito-de-ponte-de-wheatstone/>

HBM (2022) diz que, o circuito de meia ponte é aplicado dois extensômetros ativo no R1 e R2 e R2 e R3 atuam como resistores fixos e não recebem deformações, conforme mostra a Figura 40.

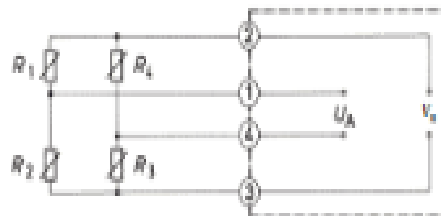
**Figura 40 – Circuito de meia ponte**



Fonte: <https://www.hbm.com/pt/7163/circuito-de-ponte-de-wheatstone/>

HBM (2022) diz que, o circuito de ponte completa é quando todos os extensômetros são ativos e os efeitos de temperaturas são compensados devido a interferências durante o processo de análise e precisão.

**Figura 41 – Circuito de ponte completa**



Fonte: <https://www.hbm.com/pt/7163/circuito-de-ponte-de-wheatstone/>

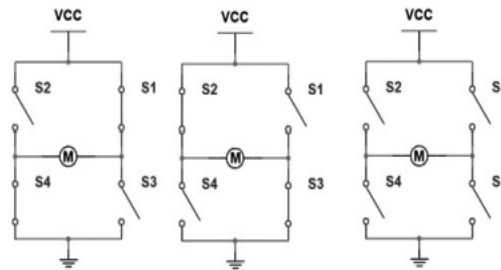
## 2.6 Módulo Ponte H L298N

Conforme Oliveira (2017), o módulo ponte H 298N é o componente responsável para controle do sentido de rotação e velocidade de motores de corrente contínua. A velocidade do motor pode ser controlada por PWM (Pulse Width Modulation – modulação por pulso), onde, permite modular a largura positiva do pulso do sinal de onda quadrada, dessa forma, alterando e controlando a potência do funcionamento do motor.

Segundo Oliveira (2017), o componente possui uma chave com quatro contatos e três posições, assim, através das combinações dos contatos das chaves determinam o sentido de rotação do motor. Tendo em consideração os contatos S1 a S4, a chave H tem uma posição dos contatos S2 e S4 desligado e S1 e S3 ligado; outra posição S2 e S4 ligado e S1 e S3 desligado; e uma posição com todos os contatos desligados. A configuração possibilita inverter a rotação do motor, em virtude que, em motores de corrente contínua, invertendo a polaridade consequentemente

inverte o sentido de rotação. Na Figura 42, mostra o esquemático das chaves da ponte H 298N.

**Figura 42 – Esquemática das chaves da ponte H298N**



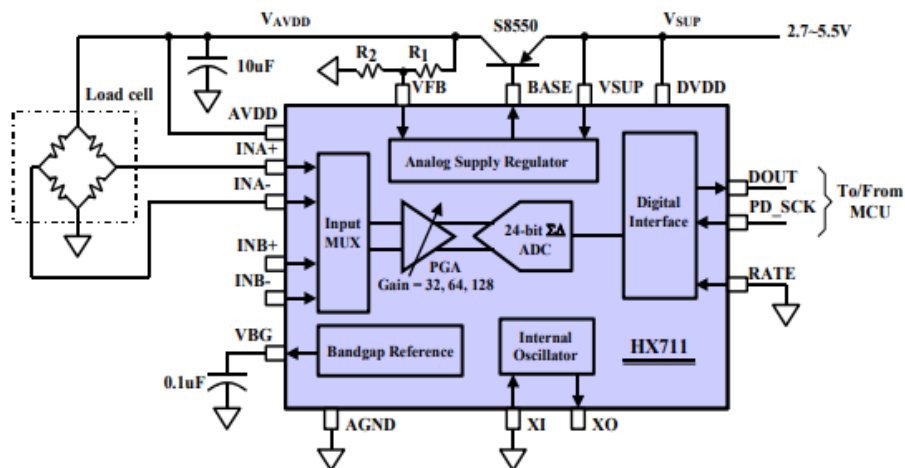
Fonte: Internet das coisas com ESP8266, ARDUINO e RASPBERRY PI. 1ª ED. Novatec Editora LTDA – (2017)

## 2.7 Módulo HX711

Conforme Avia (2022), módulo HX711 é um conversor de sinal analógico em digital (ADC) de 24 bits. Desenvolvido para aplicações de células de carga instaladas em balanças e aplicações de controle industrial que utilizam o circuito de ponte, atuando como amplificador de sinais, disponibilizando o ganho com precisão e informação ao microprocessador.

Segundo Avia (2022), o multiplexador de entrada seleciona o canal A (A+ e A-) e canal B (B+ e B-) para amplificar o ganho. Na Figura 43, mostra o diagrama de blocos para aplicação em balanças.

**Figura 43 – Diagrama de blocos para aplicação em balanças**



Fonte: [https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711\\_english.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf)

## 2.8 Microcontrolador ESP32

Conforme Espressif Systems (2022), o microcontrolador ESP32 é uma placa de desenvolvimento construída pela Espressif Systems, tendo como principais características as marcações e quantidade de pinos de entrada e saída, módulos Bluetooth e Wi-Fi. Na figura 44, mostra o microcontrolador ESP32.

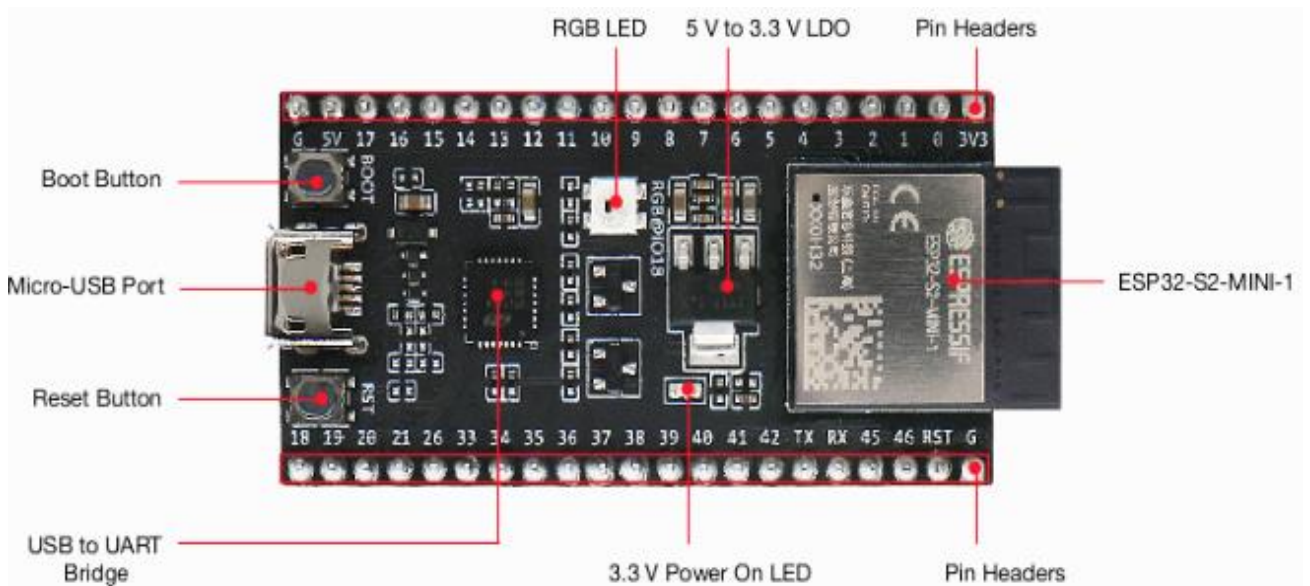
**Figura 44 – Microcontrolador ESP32**



Fonte: o autor (2022)

Segundo Espressif Systems (2022), na placa de desenvolvimento é composta por interfaces, controle e conectores de entrada e saída. Na Figura 45, mostra a descrição dos componentes na placa do microcontrolador ESP32.

**Figura 45 – Descrição dos componentes na placa do microcontrolador ESP32**

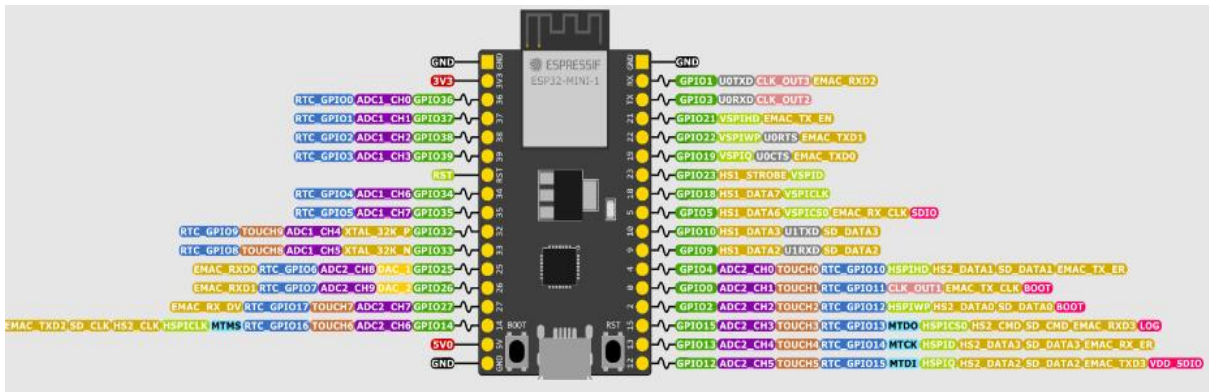


Fonte: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/user-guide-devkitm-1.html#hardware-reference>



Espressif Systems (2022) diz que, no barramento dos pinos destacam por disponibilizar alimentação de 3,3V, portas ADC, comunicação serial (TX e RX), comunicação embarcada (SPI), comunicação I<sup>2</sup>C e sensores capacitivos. Na Figura 46, mostra a disposição dos pinos no microcontrolador ESP32.

**Figura 46 – Disposição dos pinos do microcontrolador ESP32**



Fonte: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/user-guide-devkitm-1.html#hardware-reference>

Espressif Systems (2022) ainda diz que, os principais pontos sobre o hardware é o microprocessador TensilicaXtensa de 32 bits, clock operando entre 80 até 240 MHz, memória RAM de 540 kbytes e memória flash externa de 32 Mb.

### 2.8.1 ESPNOW

Conforme Espressif Systems (2020), o ESPNOW é um protocolo de comunicação desenvolvido pela Espressif Systems que possibilita o emparelhamento dos microprocessadores ESP32, porém, sem conexão de cabo, sem Wi-Fi ou Bluetooth. A conectividade é similar à sem fio de 2,4 GHz de baixa potência e semelhante à tecnologia aplicada em mouse sem fio. O emparelhamento entre os ESP32 é indispensável antes de sua comunicação, possibilitando a conexão de ponto a ponto e protegida, pois, caso ocorra o desligamento e reinício de um dos microprocessadores, instantaneamente retornará à comunicação com os pares.

Espressif Systems (2020) diz que, para que ocorra o envio das mensagens entre os dispositivos é necessário o reconhecimento do endereço de acesso à mídia (MAC Address).

Segundo Espressif Systems (2020), a comunicação permite que, em um conjunto de ESP32, somente um ESP32 execute o envio dos dados para o conjunto para realizarem suas funções, assim, tornando um ESP32 Master (mestre). Existe a possibilidade que um ESP32 receba dados de todos do conjunto para realizar a função principal. Na Figura 47a mostra a configuração de um mestre e múltiplos escravos e a Figura 47b mostra a configuração de um escravo e múltiplos mestres.

**Figura 47 – a) configuração um mestre e múltiplos escravos. b) configuração um escravo e múltiplos mestres**



Fonte: <https://randomnerdtutorials.com/esp-now-esp32-arduino-ide/>

### 3 METODOLOGIA E MATERIAIS

O objetivo da maquete é demonstrar o funcionamento do sistema de segurança durante a operação de elevar o veículo. Nesse caso, o protótipo, em escala reduzida, possibilita realizar a análise do propósito do projeto.

O método de análise iniciou a partir do desenvolvimento e seleção dos componentes para a montagem e funcionamento do protótipo, dessa forma, tornou-se possível dimensionar a estrutura e produzir a maquete para fixar os componentes e realizar a ligação do circuito elétrico.

As quatro células de carga foram fixadas em torno da parte superior da maquete. As placas, em formato de base, estão solidárias as células de carga para receber a aplicação dos pesos pré definido. Os chicotes elétricos estarão conectados nos pinos dos módulos HX711 para receberem a alimentação e enviar os valores das deformações.

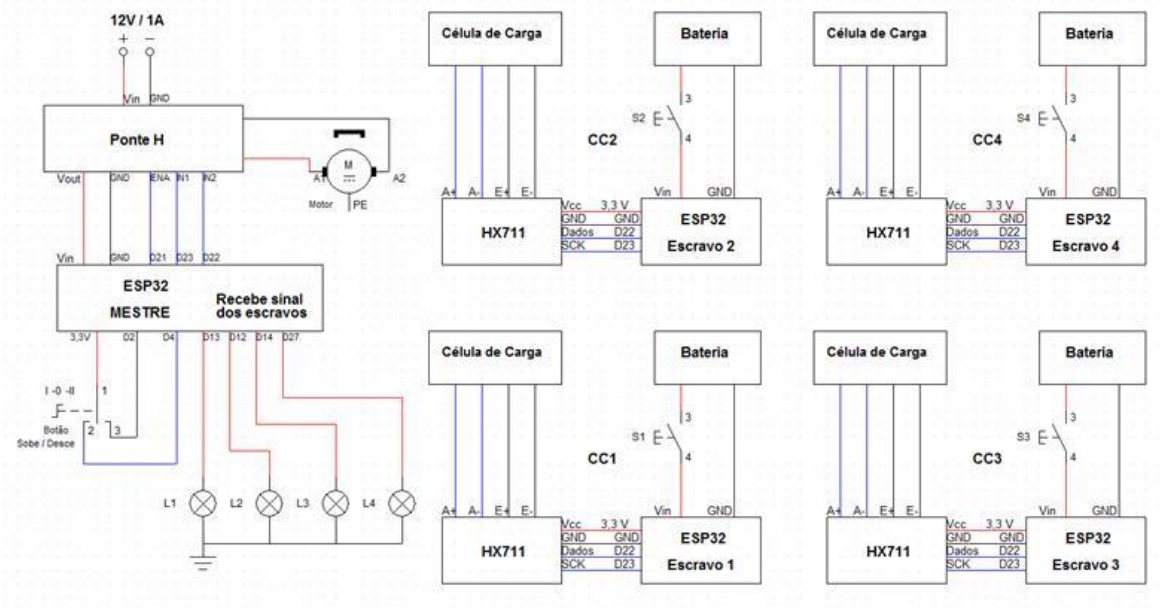
Os quatro módulos HX711 estão posicionados base da maquete para realizar a conversão digital analógico (ADC), amplificar e garantir a exatidão dos sinais. Serão as interfaces entre as células de carga e o ESP32 escravos. A transmissão da fonte de alimentação será através da ligação das saídas do ESP32 escravos.

Definidos com escravos, as quatro placas ESP32 estão localizadas na base da maquete e fixadas sobre as bases de acrílico para facilitar a conexão dos cabos aos pinos. Para cada placa existe uma chave de acionamento e um case com três pilhas, totalizando uma alimentação de 4,5 V (Volts). Os microprocessadores realizarão as lógicas desenvolvidas no software para controle e envio dos dados ao ESP32 mestre.

A placa ESP32 mestre está instalada sobre uma base de acrílico e na parte superior da maquete. O microprocessador realizará o emparelhamento entre os ESP32 escravos por meio do protocolo de comunicação ESPNOW, dessa forma, possibilitando a comunicação para o envio e reconhecimento dos dados para execução da lógica. Na arquitetura, tem a responsabilidade de analisar os valores adquiridos dos ESP 32 escravos e enviar o sinal do comando de acionamento de elevação e descida para o módulo ponte H. Para alimentação da placa, os cabos de alimentação serão conectado na saída auxiliar de alimentação, de 5 V (Volts), do módulo ponte H.

O módulo ponte H L298N está colocado na parte superior da maquete e próximo ao ESP32 mestre. O módulo realizará o sentido de rotação do motor através do sinal da lógica recebida e a combinação do chaveamento. Na Figura 48, mostra o diagrama elétrico do protótipo.

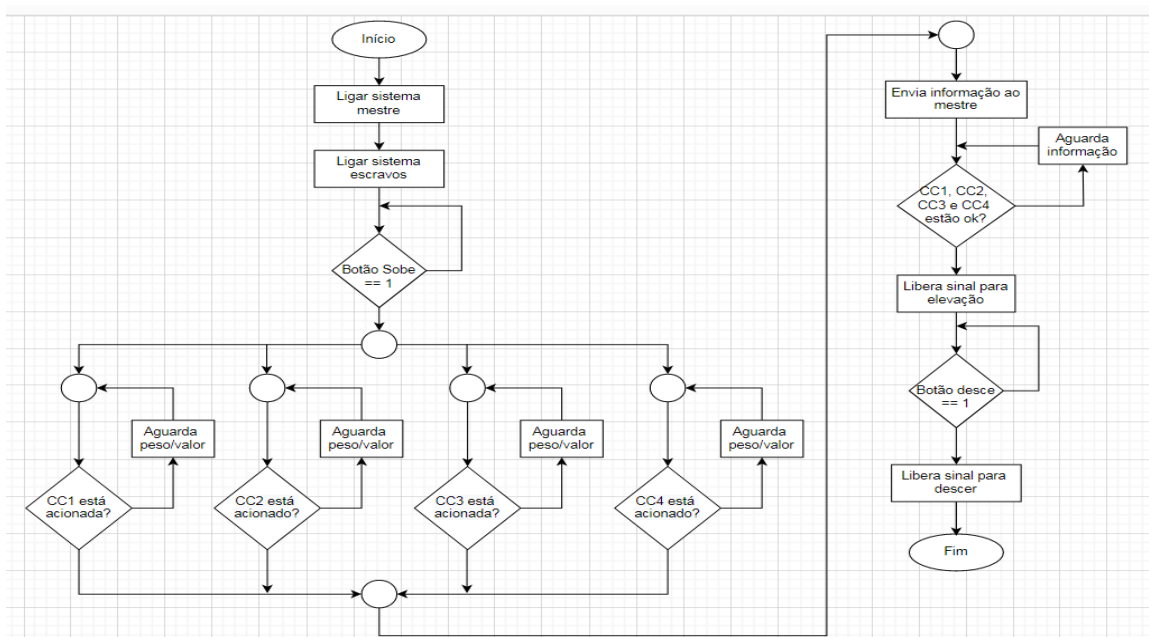
**Figura 48 – Diagrama elétrico do protótipo**



Fonte: o autor (2022)

Na Figura 49, mostra o fluxograma de funcionamento da maquete.

**Figura 49 – Fluxograma de funcionamento da maquete**



Fonte: o autor (2022)

### 3.1 Materiais utilizados

O microcontrolador ESP32 é a placa utilizada para o desenvolvimento e controle da lógica da operação do protótipo. O Visual Studio Code é o software utilizado para de desenvolvimento integrado (IDE), da empresa Microsoft, onde, nessa plataforma, aplicou a instalação da extensão do conjunto de ferramentas chamado PlatformIO, permitindo a utilização das funcionalidades da IDE do Arduino, ESP32 e o desenvolvimento da linguagem C++.

O desenvolvimento da lógica para o endereço de controle de acesso (MAC ADDRESS), a célula de carga e o ESP mestre/escravo, torna-se de grande importância para integração do sistema no protótipo.

O desenvolvimento do MAC ADDRESS é aplicado para recuperar o MAC ADDRESS do ESP32 Mestre, permitindo visualização e acesso para os ESP32 escravos.

O desenvolvimento da lógica da célula de carga é utilizado para comunicação entre o módulo HX711 e o sensor célula de carga, devido o processamento dos sinais ADC e comunicação com o microprocessador ESP32.

A padronização do desenvolvimento da lógica entre as placas ESP32 mestre e escravos possibilitam a troca de informações dos IDE e set point das células de carga para acionamento do circuito do sentido elevação do protótipo. Na Figura50, mostra o microprocessador ESP32 aplicado no protótipo.

**Figura 50 – Microprocessador ESP32**



Fonte: o autor (2022)

Especificações:

- Placa ESP32 WroomDevkit;
- CPU: Xtensa® Dual - Core 32-bit LX6;
- ROM: 448 Kbytes;
- RAM: 520 Kbytes;
- Flash: 4 MB;
- Clock máximo: 240 MHz;
- Wireless padrão 802.11 b/g/n;
- Conexão Wi-Fi 2.4 GHz (máximo de 150 Mbps);
- Antena embutida;
- Conector micro-usb;
- Wi-Fi Direct (P2P), P2P Discovery, P2P Group Owner mode e P2P Power Management;
- Modo de operação: STA/AP/STA+AP;
- Bluetooth BLE 4.2;
- 30 pinos;
- GPIO com funções de PWM, I2C, SPI;
- Tensão de operação: 4,5 ~ 9 v;
- Taxa de transferência: 110-460800bps;
- Suporte Upgrade remoto de firmware;
- Conversor analógico digital (ADC);
- Dimensões: 55 x 28 x 13 mm.

O sensor célula de carga de carga nominal de 5 KG, conforme Figura 51, tem a finalidade de receber a carga aplicada e enviar o valor da deformação através da leitura de deformação dos extensômetro que está solidário à célula de carga, sendo

necessária a aplicação de quatro dispositivos no protótipo. A tensão 3,3V da alimentação provém do módulo HX711.

**Figura 51 – Célula de carga**



Fonte: o autor (2022)

Especificações:

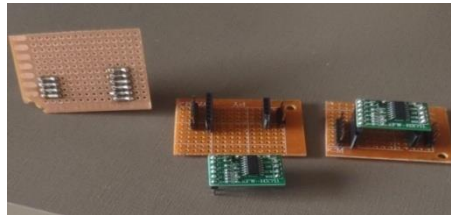
- Carga nominal: 5 Kg;
- Potência nominal de saída: 1.0 mV/V +/- 0,15 mV/V;
- Tensão de operação: 3~15 VDC;
- Impedância de entrada: 410 +/- 30 Ohm;
- Impedância de saída: 350 +/- 3 Ohm;
- Isolamento: > 2000 Mega Ohm / 50 VDC;
- Faixa de compensação de temperatura: -10° C ~40° C;
- Sobrecarga permitida: < 120 % da carga nominal;
- Carga de ruptura: > 150 % da carga nominal;
- Classe de proteção: IP65;
- Material: liga de alumínio;
- Dimensões (Compr. x Larg. x Alt.): 80 x 12,7 x 12,7 mm;
- Chicote;

O módulo HX711 será aplicado com o objetivo de amplificar os sinais e para conversões dos valores analógicos dos extensômetros, enviado das células de carga, em valores digitais para leitura dos dados no ESP32. O processamento ocorrerá através do circuito conversor digital analógico (ADC).

A alimentação do módulo será de 3,3 V, onde, recebe a ligação do ponto de saída de alimentação do ESP32.

Para fixação do módulo, uma placa foi construída com objetivo de acoplar os conectores, o módulo e eliminação de possíveis ruídos, conforme mostra a Figura 52.

**Figura 52 – Base e módulo HX711**



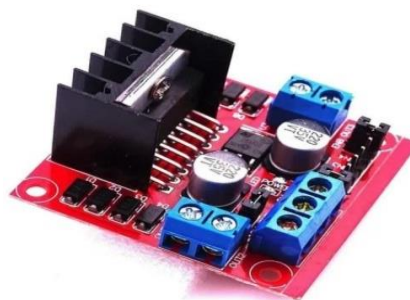
Fonte: o autor (2022)

Especificações:

- Tensão de funcionamento: 5 VDC;
- Corrente de funcionamento: < 10 mA;
- Tensão de entrada diferencial: +/- 40 mV;
- Precisão de dados: 24 Bits;
- Frequência de atualização: 80 HZ;
- Dimensões: 34 x 21 x 0,2 mm.

O módulo ponte HL298N, conforme a Figura 53, tem a finalidade de realizar o chaveamento do sentido de rotação através do sinal lógico recebido do ESP32 mestre. Sua alimentação será fornecida por meio da fonte externa de 12 V / 1 A. O ESP32 mestre será alimentado com a tensão de 5 V da saída auxiliar de alimentação do módulo ponte H.

**Figura 53 – Módulo Ponte H**



Fonte: o autor (2022)



Especificações:

- Tensão de operação: 4 ~ 35 V;
- Chip: ST L298N;
- Controle de 2 motores DC ou motor de passo;
- Corrente de operação máxima: 2 A por canal ou 4 A máximo;
- Limites de Temperatura: -20 a 135° C;
- Potência máxima: 25 W;
- Dimensões: 43 x 43 x 27 mm.

Para alimentar os circuitos dos componentes, foram aplicados dois métodos para o fornecimento de tensão devido a situações de disposições diferentes.

O sistema do ESP32 mestre e a ponte H serão alimentados através da fonte externa de 12 V / 1 A.

Os ESP32 escravos serão alimentados através do case de pilhas com tensão de 4,5 V (Volts), onde, as definições foram aplicadas pela estratégia devido as suas aplicações em diferentes sapatas do elevador automotivo e não utilizarem cabos de energia para alimentação externa. Na Figura 54a, mostra o case para pilhas e na Figura 54b, mostra a fonte de alimentação de 12 V / 1 A.

**Figura 54 – a) Case para pilhas. b) Fonte alimentação de 12 V / 1 A**



(a)



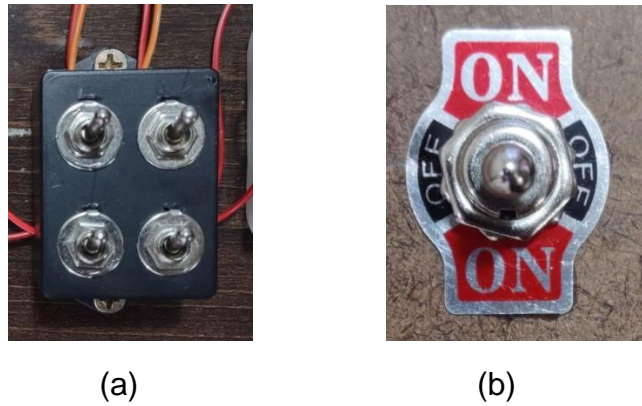
(b)

Fonte: o autor (2022)

As chaves de contato foram adicionadas aos circuitos, conforme mostra a Figura 55a para chavear a alimentação do circuito de cada ESP32 escravo e a Figura

55b para o comando de acionamento de elevação ou descida do sistema operacional do elevador.

**Figura 55 – a) chave alimentação do circuito ESP32 escravo. b) chave comando acionamento de elevação ou descida do sistema operacional do elevador**



Fonte: o autor (2022)

Para simular os valores da carga aplicada nas células de carga, foram confeccionados pesos com areia e padronizados através da referência uma balança digital. Na Figura 56, mostra os pesos confeccionados e a balança digital.

**Figura 56 – Pesos confeccionados e a balança digital**



Fonte: o autor (2022)

Para acomodar todos os componentes e realizar os testes de funcionais da maquete, foi desenvolvido e a fabricado uma estrutura em madeira, do tipo MDF

(Medium Density Fiberboard (Placa de Fibra de Média Densidade)), nas medidas (Compr. x Larg. x Alt.) 640 x 370 x 200 mm, conforme mostra a Figura 57.

**Figura 57 – Arquitetura da maquete em madeira tipo MDF**

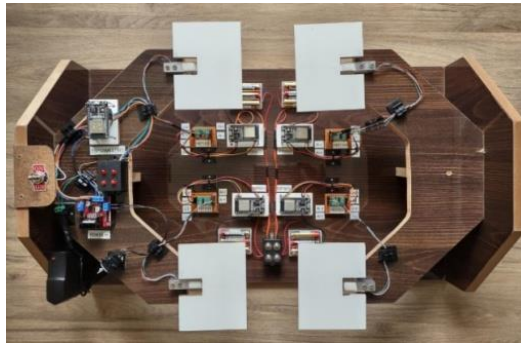


Fonte: o autor (2022)

## 4 RESULTADOS

Após reunir todos os materiais necessários para a montagem da maquete, elaborar o diagrama elétrico e fluxograma do protótipo, a Figura 58, mostra a maquete final com todos os componentes.

**Figura 58 – Maquete final**



Fonte: o autor (2022)

Na Figura 59, mostra a parte superior da maquete, onde possui a chave de acionamento do sentido de giro do motor. O microprocessador ESP32 mestre, responsável receber os dados dos microprocessadores ESP32 escravos e enviar os sinais de subida para a Ponte H, que por sua vez, controla o sentido de rotação do motor. O case de LED para informação do estado da célula de carga, pois, quando acesso, informa o estado da célula de carga está acionada e quando apagada, informa que a célula de carga está vazia. A fonte externa de 12 V / 1 A para alimentação de energia para os componentes.

**Figura 59 – Parte superior da maquete**

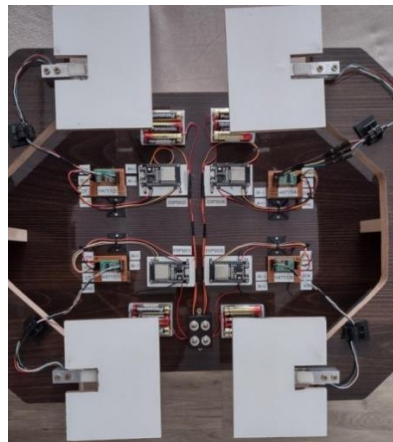


Fonte: o autor (2022)

Na Figura 60, mostra a parte inferior dos componentes da maquete com as quatro células de cargas, onde, são aplicados os pesos confeccionados para coleta

dos valores. Os quatro módulos HX711 responsáveis para conversão dos valores analógicos, coletados das células de cargas, em valores digitais e disponibilizando ao microprocessador ESP32 escravo. Os quatro microprocessadores ESP 32 escravos responsáveis por realizar as leituras dos valores digitais dos módulos HX711, assim, processando os dados e enviando ao microprocessador ESP32 mestre. Os quatro cases de pilhas para alimentação de cada ESP32 escravo. O case composto por quatro chaves (liga/desliga) para a alimentação do circuito de cada ESP32 escravo.

**Figura 60 – Parte inferior dos componentes da maquete**



Fonte: o autor (2022)

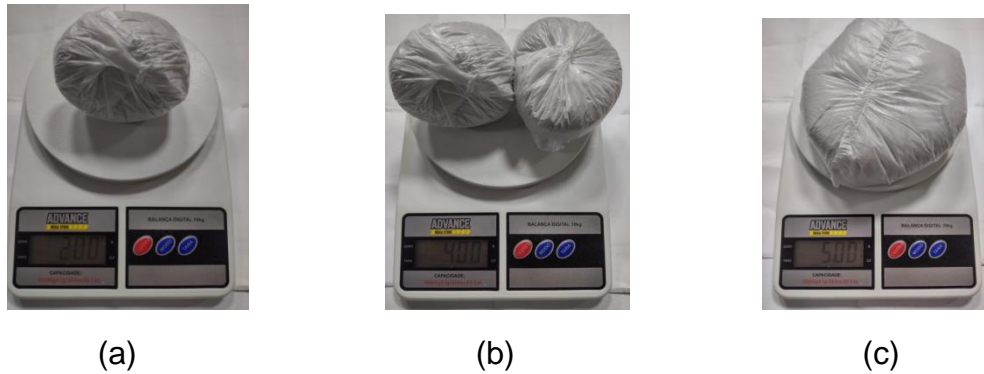
O sistema de segurança será aplicado no sinal de elevação do elevador automotivo, onde, a programação realizará a lógica para liberar o sinal do sentido de giro do motor. O sinal de descida do sistema não será controlado pelo hardware e software, assim, permitindo o funcionamento normal e sem restrições ao operador.

Os sensores de células de cargas receberam os pesos confeccionados, com a finalidade de simular a posição correta das sapatas do elevador na estrutura do veículo. Os sensores foram calibrados para informar os valores das cargas aplicados, onde foram coletados os valores da leitura fornecida pela célula de carga para realizar a média da coleta, assim, obteve um valor médio. O valor médio dividido por um valor conhecido resultando em um valor de escala para aplicar no offset da programação dos ESP32 escravos.

Os valores pré determinados e confeccionados para realizar a simulação nas células de cargas são de 200, 400 e 500 gramas. Os valores inferiores de 500 gramas são considerados como célula vazia. Para valor de 500 gramas ou acima é considerado com célula acionada. Na Figura 61a, mostra o peso confeccionado com

200 gramas. Na Figura 61b, mostra os pesos confeccionados com 400 gramas e na Figura 61c, mostra o peso confeccionado com 500 gramas.

**Figura 61 – a) peso confeccionado com 200 gramas. b) os pesos confeccionados com 400 gramas. c) confeccionado com 500 gramas**



Fonte: o autor (2022)

Para cada célula de carga possui um modulo HX711 e um ESP32 escravo. O ESP32 escravo é o responsável por processar a lógica da elaboração da programação e publicar os dados do estado da célula de carga, através dos dados recebidos do modulo HX711. O ESP32 mestre é o responsável por controlar o sinal de acionamento para elevação do elevador automotivo e funcionamento do case de LEDS das informações dos estados das células de cargas, através da lógica da programação.

O primeiro teste iniciou com os pesos confeccionados de 200 gramas, conforme Figura 62, que mostra o peso de 200 gramas na balança digital.

**Figura 62 – Balança digital com o peso confeccionado com 200 gramas**



Fonte: o autor (2022)

Ao posicionar os pesos de 200 gramas em cada célula de carga, obteve a resposta de célula de carga vazia. Dessa forma, os ESP32 escravos disponibilizaram

as informações de célula vazia ao ESP32 mestre, que por sua vez, não acionou nenhum dos LEDs de indicação, considerando a posição incorreta das sapatas devido aos valores de peso insuficiente, bloqueando o sinal de subida, assim, garantindo a segurança da operação de subida do sistema. Na Figura 63, mostra a maquete com os pesos de 200 gramas aplicadas nas células de carga e o case de indicação com os LEDs desligado.

**Figura 63 - Maquete com os pesos de 200 gramas aplicadas nas células de carga e o case de indicação com os LEDs desligado**



Fonte: o autor (2022)

O segundo teste iniciou com os pesos confeccionados de 400 gramas, sendo dois pesos de 200 gramas, conforme Figura 64, que mostra o peso de 400 gramas na balança digital.

**Figura 64 – Balança digital com o peso confeccionado com 400 gramas**



Fonte: o autor (2022)

Ao colocar os pesos de 400 gramas em cada célula de carga, obtive o dado de célula de carga vazia. Dessa forma, os ESP32 escravos disponibilizaram as

informações de célula vazia ao ESP32 mestre, que por sua vez, manteve o case de LEDs de indicação desligado, considerando a posição incorreta das sapatas devido os valores de peso insatisfatório, bloqueando o sinal de subida e continuando a garantir a segurança da operação de subida do sistema. Na Figura 65, mostra a maquete com os pesos de 400 gramas aplicadas nas células de carga e o case de indicação com os LEDs desligado.

**Figura 65 - Maquete com os pesos de 200 gramas aplicadas nas células de carga e o case de indicação com os LEDs desligado**



Fonte: o autor (2022)

O terceiro teste iniciou com os pesos confeccionados com 500 gramas, conforme Figura 66, que mostra o peso de 500 gramas na balança digital.

**Figura 66 – Balança digital com o peso confeccionado com 500 gramas**



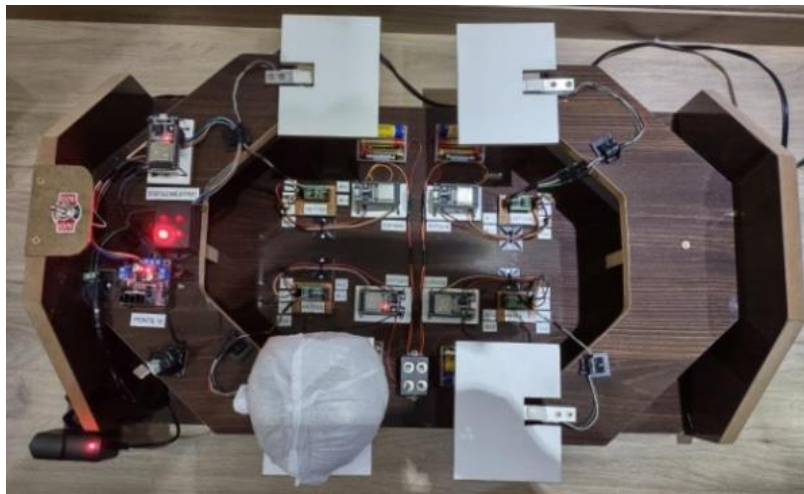
Fonte: o autor (2022)

Ao aplicar o peso de 500 gramas na primeira célula de carga, obteve a resposta de célula de carga acionada. O ESP32 escravo da primeira célula de carga



disponibilizou a informação de célula acionada e os outros três ESP32 escravos disponibilizaram a informação de célula de carga vazia. Com esses dados, o ESP32 mestre confirmou os dados e acionou o LED 1 do case, porém, manteve apagado os LEDs 2, 3 e 4 devido não estarem com os valores de pesos satisfatórios, assim, considerando a posição incorreta das sapatas 2, 3 e 4. Com isso, o ESP32 mestre ainda mantém bloqueado o sinal de subida e permanecendo garantia de segurança da operação de subida do sistema. Na Figura 67, mostra a maquete com o peso de 500 gramas aplicado primeira célula de carga e o LED 1 do case acionado.

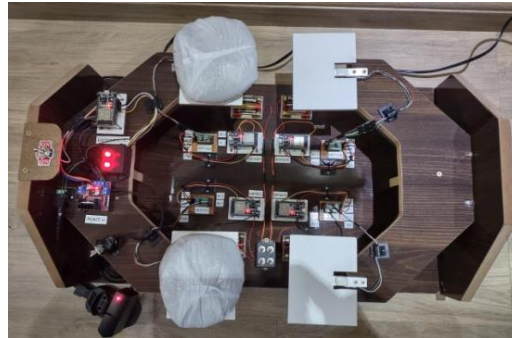
**Figura 67 – Peso de 500 gramas aplicado na primeira célula de carga e o case de indicação com o LED 1 acionado**



Fonte: o autor (2022)

Mantendo as condições de peso na primeira célula de carga e aplicando o peso de 500 gramas na segunda célula de carga, obtive o resultado como célula de carga 1 e 2 acionadas. O ESP32 escravo da primeira e segunda célula de carga disponibilizaram a informação de célula acionada e o ESP32 escravo da terceira e quarta célula de carga disponibilizaram a informação de célula de carga vazia. Com esses dados, o ESP32 mestre confirmou os dados e acionou os LEDs 1 e 2 do case, porém, permaneceu apagado os LEDs 3 e 4, considerando a posição incorreta das sapatas 3 e 4 devido não atenderem os valores dos pesos de ativação. Com isso, o ESP32 mestre permanece bloqueando o sinal de subida e preservando a segurança da operação de subida do sistema. Na Figura 68, mostra a maquete com o peso de 500 gramas aplicado primeira e segunda célula de carga e o case de indicação com os LEDs 1 e 2 acionados.

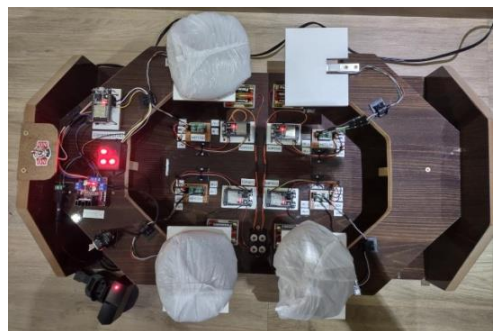
**Figura 68 – Pesos de 500 gramas aplicados na primeira e segunda célula de carga e o case de indicação com os LEDS 1 e 2 acionados**



Fonte: o autor (2022)

Continuando com os pesos na primeira e segunda célula de carga e aplicando o peso de 500 gramas na terceira célula de carga, obteve a resultado como célula de carga 1, 2 e 3 acionadas. O ESP32 escravo da primeira, segunda e terceira célula de carga disponibilizaram a informação de célula acionada e o ESP32 escravo da quarta célula de carga disponibilizou a informação de célula de carga vazia. Com esses dados, o ESP32 mestre confirmou os dados e acionou os LEDS 1, 2 e 3 do case, porém, permaneceu apagado o LED 4, considerando a posição incorreta da sapata 4 devido não atender os valores do peso de ativação. Com isso, o ESP32 mestre permanece bloqueando o sinal de subida e assegurando a operação de subida do sistema. Na Figura 69, mostra a maquete com o peso de 500 gramas aplicado primeira, segunda e terceira célula de carga e o case de indicação com os LEDS 1, 2 e 3 acionados.

**Figura 69 – Peso de 500 gramas aplicado na primeira, segunda e terceira célula de carga e o case de indicação com os LEDS 1, 2 e 3 acionados**

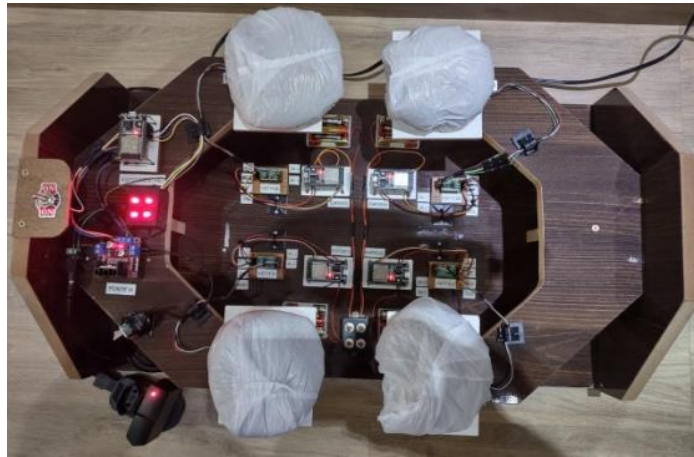


Fonte: o autor (2022)

Permanecendo com as condições de peso na primeira, segunda e terceira célula de carga e aplicando o peso de 500 gramas na quarta célula de carga, obteve

o resultado de todas as células de cargas acionadas e, dessa forma, todos os ESP32 escravos disponibilizaram a informação de célula de carga acionada. O ESP32 mestre confirmou os dados, acionou os LEDs 1, 2, 3 e 4 do case e disponibilizou o sinal de operação de subida do sistema, devido os valores dos pesos atenderem a tolerâncias definidas na programação, possibilitando a utilização com segurança. Na Figura 70, mostra a maquete com os pesos de 500 gramas aplicados em todas as células de cargas e os LEDs do case de indicação acionados.

**Figura 70 – Pesos de 500 gramas aplicados nas células de carga e os LEDs do case de indicação acionados**



Fonte: o autor (2022)

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os testes aplicados na maquete, o desenvolvimento do hardware e software correspondeu à proposta inicial do projeto. A utilização do protocolo de comunicação ESPNOW entre os microprocessadores, possibilitou a utilização, com eficiência e eficácia, sem ocorrência de qualquer interrupção do sinal.

As células de carga atenderam o objetivo da aplicação das cargas pré definida, enviando os valores de deformação aos módulos HX711, que por sua vez, cumpriu com a interface entre as células de cargas e o microprocessador ESP32, realizando a amplificação dos sinais sem ruídos e a conversão dos valores analógicos dos extensômetros em valores digitais.

O módulo ponte H L298N obteve a boa harmonia no conjunto dos componentes. O ESP32 mestre, a partir da confirmação do acionamento das células de carga, envia o sinal para o módulo ativar o sentido de rotação do motor para elevação, porém o sentido de rotação para descida é livre para o operador.

Dessa forma, com base na teoria abordada e nos resultados obtidos através do funcionamento da maquete, é possível afirmar que o projeto do sistema de segurança operacional para elevador automotivo é tecnicamente viável, onde o hardware e o software desenvolvido obtiveram bons resultados na aplicação.

## 6 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Desenvolvimento da célula de carga para atender a aplicação do peso limite superior.

Substituição do módulo ponte H por contadoras.

Substituição dos valores de nível lógico alto para 24 Vcc.

Alteração dos valores do setpoint no software para identificação dos pesos.

Substituição do motor.

Realizar leitura e monitoração das baterias das células de carga.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A história do elevador hidráulico automotivo. **Rotary Lift**, 2022. Disponível em: <<https://rotarylif.eu/company/>>. Acesso em: 18 set. 2022.

Análise experimental de tensão. **HBM Company**, sd. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/7226/analise-experimental-de-tenso-esa-com-strain-gages/>>. Acesso em: 01 out. 2022.

AVIA SEMICONDUCTOR. **Datasheet: HX711**. [S.l.], 2012. 9 p.

BEER, F. P.; JOHNSTON JÚNIOR, E. R. **Resistência dos materiais**. 3ª. ed. São Paulo: Makron Books, 1995.

Célula de Carga. **Omega Engineering inc.**, 2003-2015. Disponível em: <<https://br.omega.com/prodinfo/celulas-de-carga.html#pimenu>>. Acesso em: 01 out 2022.

Circuito de ponte de Wheatstone. **HBM Company**, sd. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/7163/circuito-de-ponte-de-wheatstone/>>. Acesso em: 01 out. 2022.

Como escolher a marca do seu elevador automotivo. **Engecass – Tecnologia em Equipamentos**, 2022. Disponível em: <<https://blog.engecass.com.br/como-escolher-elevador-automotivo/>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Como selecionar o strain gauge correto. **HBM Company**, sd. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/7164/como-selecionar-o-strain-gauge-correto/>>. Acesso em: 01 out de 2022.

Delineando medidores de tensão de folha. **HBM Company**, sd. Disponível em: <<https://www.hbm.com/en/7836/outlining-foil-strain-gauges-technology-applications-types/>>. Acesso em: 01 out de 2022.

Elevador hidráulico 4000 KG. **Engecass – Tecnologia em Equipamentos**, 2022. Disponível em: <<https://engecass.com.br/elevadores/elevador-hidraulico-4000kg>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Elevador hidráulico pantográfico 3500 KG de sobrepor. **Engecass – Tecnologia em Equipamentos**, 2022. Disponível em: <<https://engecass.com.br/elevadores/elevador-hidraulico-pantografico-sobrepor>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Elevador hidráulico pantográfico de embutir 3500 KG. **Engecass – Tecnologia em Equipamentos**, 2022. Disponível em: <<https://engecass.com.br/elevadores/elevador-hidraulico-pantografico-embutir>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Elevador hidráulico pantográfico móvel 3000 KG. **Engecass – Tecnologia em Equipamentos**, 2022. Disponível em: <<https://engecass.com.br/elevadores/elevador-hidraulico-pantografico-movel>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Elevadores para oficina. **Emaster Elevadores Automotivos LTDA**, 2014. Disponível em: <<http://www.emasterelevadores.com.br/produtos/elevadores-de-oficina/>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Elevamaq manual elevadores. **Elevamaq Equipamentos Industriais LTDA**, 2020. Disponível em: <<https://labsistemasveiculares.paginas.ufsc.br/files/2015/12/ELEVAMAQ-MANUAL-ELEVADORES-2020.pdf>>. Acesso em 01 out. 2022.

Escolhendo colas para instalação de strain gauges. **HBM Company, sd**. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/4314/escolhendo-colas-para-instalacao-de-strain-gauges/>>. Acesso em: 01 out de 2022.

Especificação da patente do primeiro macaco e chave de elevação combinada. **Castle Equipment Co.**, 1899. Disponível em: <<http://www.castleequipment.com/PDF's/Weaver-Patent-WagonJack-634548.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2022.

FEDER, Barnaby J. Arthur C. Ruge, Inventor of vital stress gauge, dies at 94. **The New York Times**. New York, 08 abr. 2000. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2000/04/08/business/arthur-c-ruge-inventor-of-vital-stress-gauge-dies-at-94.html>>. Acesso em: 01 nov. 2022.

Ford Modelo T, Primeiro carro popular da história, comemora 110 anos de lançamento. FORD Media Center, Dearborn, Michigan. **Ford Motor Company**, 2018. Disponível em: <<https://media.ford.com/content/fordmedia/fsa/br/pt/news/2018/10/02/ford-modelo-t--primeiro-carro-popular-da-historia--comemora-110-.html>>. Acesso em: 02 out. 2022.

Guia de serviços automotivos. **Engecass – Tecnologia em Equipamentos**, 2022. Disponível em: <<https://materiais.engecass.com.br/servicos-automotivos>>. Acesso em: 25 set. 2022.

História do primeiro modelo de elevador automotivo. **Castle Equipment Co.**, 1997-2014. Disponível em: <[http://www.castleequipment.com/Museum/lifts\\_weaver\\_history.htm](http://www.castleequipment.com/Museum/lifts_weaver_history.htm)>. Acesso em: 17 set. 2022.

HPAN 3.0 embutido até 3.000 KG. **Indústria e Comércio Hidromar LTDA**, 2022. Disponível em: <<https://hidromar.com.br/produtos/elevador/11/pantografico-hpan-3-0-embutido-hidraulico>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Imagem do primeiro carro. **Mercedes-Benz Museum**, 2012. Disponível em: <<https://www.instagram.com/p/CZUIOASuYZd/>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Lei de Hooke explicada. **HBM Company, sd.** Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/7114/hookes-law/>>. Acesso em: 01 out. 2022.

Macacos hidráulicos e mecânicos. **Castle Equipment Co.**, 1997-2014. Disponível em: <[http://www.castleequipment.com/Museum/jacks\\_weaver\\_history.htm](http://www.castleequipment.com/Museum/jacks_weaver_history.htm)>. Acesso em: 17 set. 2022.

Manual técnico para elevadores pantográfico HPAN 3.0 embutido até 3.000 KG. **Indústria e Comércio Hidromar LTDA**, 2022. Disponível em: <[https://hidromar.com.br/common/uploads/elevador\\_download/manual-hpan-3-5-ton.pdf](https://hidromar.com.br/common/uploads/elevador_download/manual-hpan-3-5-ton.pdf)>. Acesso em: 25 set. 2022.

Mercedes-Benz Museum. **Mercedes-Benz & Van Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com/en/art-and-culture/mercedes-benz-museum/>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Nascimento da marca. **Mercedes-Benz & Van Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://www2.mercedes-benz.com.br/passengercars/the-brand/history/about.module.html>>. Acesso em: 25 set. 2022.

O melhor elevador automotivo. **Emaster Elevadores Automotivos LTDA**, 2014. Disponível em: <<http://www.emasterelevadores.com.br/produtos/novo-portico/>>. Acesso em: 25 set. 2022.



Oliveira, Sergio de. Internet das coisas com ESP8266, ARDUINO e RASPBERRY PI. 1ª. ed. São Paulo: Novatec Editora LTDA, 2017.

PHF 4.0 até 4000 KG. **Indústria e Comércio Hidromar LTDA**, 2022. Disponível em: <<https://hidromar.com.br/produtos/elevador/8/hidraulico-phf-4-0--portico>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Placas de desenvolvimento. **Espressif Systems**, 2015-2022. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/devkits>>. Acesso em: 01 nov. 2022.

Saiba por que as células de cargas são fundamentais para o funcionamento de uma balança. **Toledo do Brasil Indústria de Balanças LTDA**, 2020. Disponível em: <<https://www.toledobrasil.com/blog/saiba-por-que-as-celulas-de-carga-sao-fundamentais-para-o-funcionamento-de-uma-balanca>>. Acesso em: 01 out. 2022.

Schmidt, Stefan, Como uma célula de carga trabalha? **HBM Company, sd**. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/6768/como-uma-celula-de-carga-trabalha/>>. Acesso em: 01 out. 2022.

Strain Gauges HBM: A primeira escolha para sua medição de deformação. **HBM Company, sd**. Disponível em: <[https://www.hbm.com/pt/0014/strain-gauges/?product\\_type\\_no=Strain%20Gauges%20HBM:%20A%20primeira%20escolha%20ao%20medir%20deforma%C3%A7%C3%A3o](https://www.hbm.com/pt/0014/strain-gauges/?product_type_no=Strain%20Gauges%20HBM:%20A%20primeira%20escolha%20ao%20medir%20deforma%C3%A7%C3%A3o)>. Acesso em: 01 out. 2022.

Sistema S.A.T. (Sistema Anti Travamento). **Rodavele Elevadores Automotivo**, 2009. Disponível em: <<http://www.rodavele.com.br/home/conteudo/103/134/Sistema-S.A.T>>. Acesso em: 01 out. 2022.

Tipos de Elevação. **Automotive Lift Institute**, 2022. Disponível em: <<https://www.autolift.org/ali-directory-of-certified-car-lifts/lift-types/>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Tipos de elevadores automotivos. **Indústria e Comércio Hidromar LTDA**, 2022. Disponível em: <<https://hidromar.com.br>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Visão geral de strain gauges em lâmina. **HBM Company, sd**. Disponível em: <[https://www.hbm.com/pt/7836/strain-gauges-em-lamina-tecnologia-e-tipos/?utm\\_term=&utm\\_campaign=COUNTRY\\_BR\\_Exact&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=7789390417&hsa\\_cam=8305021396&hsa\\_grp=89220762847&hsa\\_ad=400544977337&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=dsa-](https://www.hbm.com/pt/7836/strain-gauges-em-lamina-tecnologia-e-tipos/?utm_term=&utm_campaign=COUNTRY_BR_Exact&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=7789390417&hsa_cam=8305021396&hsa_grp=89220762847&hsa_ad=400544977337&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-)>

529947775836&hsa\_kw=&hsa\_mt=&hsa\_net=adwords&hsa\_ver=3&gclid=EAlalQob  
ChMI6aK6vq2--wIVQ8KRCh2eYQ-tEAAYASAAEgJbi\_D\_BwE>. Acesso em: 01 out.  
2022.

## APÊNDICE A –Software: ESPNOW células de carga

```
/* SOFTWARE: ESPNOW células de carga
```

```
   PLACA: DOIT ESP32 DEVKIT1
```

```
BIBLIOTECAS:
```

```
ESPNowW by Regenbogencode,
```

```
   HX711 by bogde,
```

```
VERSÃO: R00
```

```
*/
```

```
/** Bibliotecas para o ESP32 - WiFi, protocolo ESPNOW e HX711 **/
```

```
#include <Arduino.h>
```

```
#include <WiFi.h>
```

```
#include "ESPNowW.h"
```

```
#include <HX711.h>
```

```
#include "soc/rtc.h" // Verificar se funciona sem (para diminuir o CLK)
```

```
/** Definições **/
```

```
const int id = 4; // ID da célula de carga
```

```
const int peso = 490; // Peso mínimo para a célula de carga considerar nível lógico  
um (gramas)
```

```
//const int offset = 197524; // Calibração da balança (kg)
```

```
const int offset = 389; // Calibração da balança (gramas)
```

```
#define pinDT 23
```

```
#define pinSCK 22
```

```
/** Estruturas **/
```

```
typedef struct estruturaESPNOW
```

```

{
intID;      // ID da célula de carga
char estado[10]; // Estado da célula de carga

} estruturaESPNow;

/** Variáveis */
// Controle de tempo
uint8_t macMestre[] = {0xC8, 0xC9, 0xA3, 0xCF, 0xA3, 0x6C}; // Mac address do
mestre
HX711 celulaCarga;
float leitura = 0;

// Mensagem enviada via ESPNow
estruturaESPNowmensagemEnviada;

/** Funções */

// Inicialização do ESPNow
void initESPNow()
{
WiFi.disconnect(); // Desconectar o wifi, para não conflitar com o ESPNow
delay(1000);
WiFi.mode(WIFI_MODE_STA); // Colocar o dispositivo no modo estação wifi
delay(1000);
ESPNow.init(); // Habilitar o ESPNow
ESPNow.add_peer(macMestre); // Adicionar o cliente como par de comunicação
ESPNow

}

```

```
// Inicialização do HX711
void initHX711(){
  celulaCarga.set_scale(offset); // Offset do sensor
  celulaCarga.begin(pinDT, pinSCK);
  delay(2000);

  celulaCarga.tare(); // Realizar a tara da balança para desconsiderar a massa da
  estrutura

  Serial.println("Balança Zerada");
}

// Configuração geral do ESP32
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Iniciar a porta serial
  setCpuFrequencyMhz(80); // A velocidade da CPU precisou ser alterada para obter
  leituras satisfatórias da célula de carga
  initESPNow(); // Iniciar o ESPNOW
  initHX711(); // Iniciar o HX711

  mensagemEnviada.ID = id; // ID da célula de carga
  Serial.println("Célula de carga C" + mensagemEnviada.ID);
}

/** Loop principal */
void loop(){

  celulaCarga.power_up(); // Ligar o sensor
  leitura = celulaCarga.get_units(5); // Realizar a leitura de 5 amostras e calcular a
  média
  Serial.println(leitura);
```

```
// Verificar se a leitura da célula de carga está acima do peso definido
if (leitura >= peso){
    // Enviar o texto "Acionado" via ESPNOW
    strcpy(mensagemEnviada.estado,"Acionada");
}
    // Enviar o texto "Desacionado" via ESPNOW
else{
    strcpy(mensagemEnviada.estado,"Vazia");
}

    // Enviar a mensagem via ESPNOW
    ESPNow.send_message(macMestre, (uint8_t*) &mensagemEnviada,
    sizeof(mensagemEnviada));

    delay(500);
    celulaCarga.power_up(); // Desligar o sensor
    delay(500);

}
```

**APÊNDICE B – Software: ESPNOW mestre**

```
/* SOFTWARE: ESPNOW mestre
```

```
   PLACA: DOIT ESP32 DEVKIT1
```

```
   BIBLIOTECAS:
```

```
   ESPNowWbyRegenbogencode,
```

```
   VERSÃO: R00
```

OBS for ESP32: ADC2 pins can not be used when WiFi is used, I must use ADC1

```
*/
```

```
/** Bibliotecas para o ESP32 - WiFi e protocolo ESPNOW **/
```

```
#include <Arduino.h>
```

```
#include <WiFi.h>
```

```
#include "ESPNowW.h"
```

```
/** Definições **/
```

```
#define LEDC1 13
```

```
#define LEDC2 12
```

```
#define LEDC3 14
```

```
#define LEDC4 27
```

```
#define LEDBLOQUEIO 19
```

```
#define PINOSUBIR 2
```

```
#define PINODESCER 4
```

```
#define PINOMANUALAUTOMATICO 15
```

```
#define PINOMOTORSUBIR 23
```

```
#define PINOMOTORDESCER 22
```

```
#define PINOPWM 21
```

```
#define LEDCHANNEL 0

/** Estruturas */
typedef struct estruturaESPNow
{
    int ID; // ID da célula de carga
    char estado[10]; // Estado da célula de carga

} estruturaESPNow;

/** Variáveis */
// Controle de tempo
long tempoInicialLeitura;
long tempoInicialAcionamento;
long tempoAtualLeitura;
long tempoAtualAcionamento;
int tempoLeitura = 100; // Milissegundos
int tempoAcionamento = 2000; // Milissegundos

// Timeout
int timeOutC1 = 0;
int timeOutC2 = 0;
int timeOutC3 = 0;
int timeOutC4 = 0;
int tempoTimeOut = 40;

// Células de carga conectadas via ESPNow
bool C1Conectada = false;
bool C2Conectada = false;
bool C3Conectada = false;
```



```
bool C4Conectada = false;

// Células de carga acionadas
bool C1Acionada = false;
bool C2Acionada = false;
bool C3Acionada = false;
bool C4Acionada = false;
boolcelulasAcionadas = false;
boolcelulasConectadas = false;

// entradas digitais
boolbtnSubir = false;
boolauxBtnSubir = false;
boolbtnDescer = false;
boolauxBtnDescer = false;
boolbtnModoOperacao = false; // 0: Manual - 1: Automatico

int i = 0;

// Estado do motor
boolbloqueioMotor = false;
boolmotorSubindo = false;
boolmotorDescendo = false;
intlimiteTentivas = 2;
intcontatorTentivas = 0;

// Mensagem recebida via ESPNOW
estruturaESPNOWmensagemRecebida;

/** Funções **/
```

```
// Callback de dados recebidos via ESPNOW
void onRecv(const uint8_t *mac_addr, const uint8_t *data, int data_len)
{
    memcpy(&mensagemRecebida, data, sizeof(mensagemRecebida));

    String estado;
    estado = mensagemRecebida.estado;

    // Mensagem recebida da célula de carga
    Serial.print("Mensagem recebida de C");
    Serial.println(mensagemRecebida.ID);
    Serial.print("Célula de carga ");
    Serial.println(mensagemRecebida.estado);

    // Controle de timeout - Quando a célula de carga enviar dados o timeout é zerado
    // Dados recebidos da C1
    if (mensagemRecebida.ID == 1)
    {

        timeOutC1 = 0;
        if (estado == "Accionada"){
            C1Accionada = true;

        }
        else{
            C1Accionada = false;
        };

    }
}
```

```
// Dados recebidos da C2
if (mensagemRecebida.ID == 2)
{
    timeOutC2 = 0;
if (estado == "Accionada"){
    C2Accionada = true;
    }
else{
    C2Accionada = false;
    };
}
```

```
// Dados recebidos da C3
if (mensagemRecebida.ID == 3)
{
    timeOutC3 = 0;
if (estado == "Accionada"){
    C3Accionada = true;
    }
else{
    C3Accionada = false;
    };
}
```

```
// Dados recebidos da C4
if (mensagemRecebida.ID == 4)
{
    timeOutC4 = 0;
if (estado == "Accionada"){
    C4Accionada = true;
```

```
    }  
else{  
    C4Accionada = false;  
    };  
}  
  
}  
  
// Inicialização do ESPNOW  
voidinitESPNow(){  
WiFi.disconnect(); // Desconectar o wifi, para não conflitar com o ESPNOW  
delay(1000);  
WiFi.mode(WIFI_MODE_STA); // Colocar o dispositivo no modo estação wifi  
delay(1000);  
ESPNow.init(); // Habilitar o ESPNOW  
ESPNow.reg_rcv_cb(onRecv); // Esta função será chamada quando um dado for  
recebido  
}  
  
// Configuração geral do ESP32  
voidsetup()  
{  
Serial.begin(9600);  
initESPNow();  
  
    // Configuração dos pinos  
pinMode(LED1, OUTPUT);  
pinMode(LED2, OUTPUT);  
pinMode(LED3, OUTPUT);  
pinMode(LED4, OUTPUT);  
pinMode(PINOMOTORDESCER, OUTPUT);
```

```
pinMode(PINOMOTORSUBIR, OUTPUT);
pinMode(LEDBLOQUEIO, OUTPUT);
pinMode(PINOSUBIR, INPUT_PULLDOWN);
pinMode(PINODESCER, INPUT_PULLDOWN);
pinMode(PINOMANUALAUTOMATICO, INPUT);
```

```
pinMode(PINOPWM, OUTPUT);
```

```
ledcAttachPin(PINOPWM, 0);
ledcSetup(0, 1000, 8);
```

```
ledcWrite(0,63);
```

```
}
```

// Verificar conexão com as células de carga. Em cada ciclo de leitura, aumentar em uma unidade o timeout de cada célula de carga.

```
voidverificarConexao(){
```

```
tempoAtualLeitura = millis(); // Recuperar o tempo atual
```

```
if (tempoAtualLeitura > (tempoInicialLeitura + tempoLeitura)){
```

```
tempoInicialLeitura = tempoAtualLeitura;
```

// A conexão com a célula será considerada perdida se não houver respostas em 1s

```
if (timeOutC1 < tempoTimeOut) {
```

```
    timeOutC1 += 1;
```

```
    C1Conectada = true;
```

```
//Serial.println(timeOutC1);
```

```
}
```

```
else{
    C1Conectada = false;
    //Serial.println("C1 não foi encontrada!");
};

    if (timeOutC2 <tempoTimeOut) {
        timeOutC2 += 1;
        C2Conectada = true;
    }
else{
    C2Conectada = false;
    //Serial.println("C2 não foi encontrada!");
};

    if (timeOutC3 <tempoTimeOut) {
        timeOutC3 += 1;
        C3Conectada = true;
    }
else{
    C3Conectada = false;
    //Serial.println("C3 não foi encontrada!");
};

    if (timeOutC4 <tempoTimeOut) {
        timeOutC4 += 1;
        C4Conectada = true;
    }
else{
    C4Conectada = false;
    //Serial.println("C4 não foi encontrada!");
};
```

```
};

}

}

void entradas(){
  btnSubir = digitalRead(PINOSUBIR);
  btnDescer = digitalRead(PINODESCER);
  btnModoOperacao = digitalRead(PINOMANUALAUTOMATICO);
}

void acionamentoMotor(){
  // Subir o motor na borda de subida do botão (Se a subida não estiver bloqueada)
  if (btnSubir && !auxBtnSubir && !bloqueioMotor){
    auxBtnSubir = true;
    motorDescendo = false;
    motorSubindo = true;
    delay(100);

  }
  // Desligar o motor ao soltar o botão
  if (!btnSubir){
    auxBtnSubir = false;
    motorSubindo = false;

  }
  // Descer o motor na borda de subida do botão
  if (btnDescer && !auxBtnDescer && !motorSubindo){
    auxBtnDescer = true;
```

```
motorDescendo = true;
motorSubindo = false;
bloqueioMotor = false; // A subida será desbloqueada quando pressionar o botão de
descer
contatorTentivas = 0;

}
// Desligar o motor ao soltar o botão
if(!btnDescer){
auxBtnDescer = false;
motorDescendo = false;

}

// Verificar o estado das células de carga quando o motor estiver subindo
if (motorSubindo){

tempoAtualAcionamento = millis(); // Recuperar o tempo atual
if (tempoAtualAcionamento > (tempoInicialAcionamento + tempoAcionamento)){
tempoInicialAcionamento = tempoAtualAcionamento;

// O motor está subindo e ao menos uma célula está desconectada ou
desacionada
if(!celulasAcionadas || !celulasConectadas) {
motorSubindo = false; // Desligar o motor
contatorTentivas += 1;

if (contatorTentivas >= limiteTentivas){
bloqueioMotor = true;
Serial.println("Motor bloqueado!");
```



```
    }  
  
    }  
else{  
    // O motor está subindo e as células de carga estão acionadas e conectadas  
    contatorTentivas = 0;  
  
    }  
  
    }  
  
    }  
  
    }  
  
    }  
  
voidmodoManual(){  
  
    // Não há bloqueio em modo manual  
    bloqueioMotor = false;  
    limiteTentivas = 0;  
  
    // Subir o motor enquanto o botão estiver pressionada, independente do estado das  
    células de carga  
    if (btnSubir&& !btnDescer){  
        motorSubindo = true;  
        motorDescendo = false;  
  
    }  
    // Desligar o motor ao soltar o botão  
    if(!btnSubir){
```

```
motorSubindo = false;

}

// Descer o motor enquanto o botão estiver pressionada, independente do estado
das células de carga
if (btnDescer && !btnSubir){
motorDescendo = true;
motorSubindo = false;

}

// Desligar o motor ao soltar o botão
if(!btnDescer){
auxBtnDescer = false;
motorDescendo = false;

}
}

// Acionamento de saídas digitais
voidsaidas(){
digitalWrite(PINOMOTORSUBIR, motorSubindo);
digitalWrite(PINOMOTORDESCER, motorDescendo);
}

// Acionamento da sinalização
voidsinalizacao(){
digitalWrite(LED C1, C1Accionada && C1Conectada);
digitalWrite(LED C2, C2Accionada && C2Conectada);
digitalWrite(LED C3, C3Accionada && C3Conectada);
digitalWrite(LED C4, C4Accionada && C4Conectada);
digitalWrite(LED BLOQUEIO, bloqueioMotor);
```

```
}
```

```
/** Loop principal **/
```

```
voidloop(){
```

```
verificarConexao();
```

```
celulasAccionadas = (C1Accionada && C2Accionada && C3Accionada && C4Accionada);
```

```
celulasConectadas = (C1Conectada && C2Conectada && C3Conectada &&  
C3Conectada);
```

```
//celulasAccionadas = C1Conectada;
```

```
//celulasConectadas = C1Conectada;
```

```
entradas();
```

```
btnModoOperacao = true;
```

```
if (btnModoOperacao){
```

```
acionamentoMotor();
```

```
}
```

```
else{
```

```
modoManual();
```

```
}
```

```
// Notificar estado do motor
```

```
if (motorDescendo){
```

```
Serial.println("Motor descendo");
```

```
}
```

```
if (motorSubindo){
```

```
Serial.println("Motor subindo");
```

```
}
```

```
saidas();  
sinalizacao();
```

```
}
```

**APÊNDICE C –Software: Mac Address**

```
#include <WiFi.h>

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  Serial.println();
  Serial.print("ESP Board MAC Address: ");
  Serial.println(WiFi.macAddress());
}

void loop(){
  delay(500);
  Serial.println(WiFi.macAddress());
}
```

**APENDICE D – Vista Geral da Maquete**