

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**LEONARDO PESSIN PEGORINI**

**SISTEMA MICROCONTROLADO PARA MONITORAMENTO REMOTO  
DO CONSUMO DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO**

**CAXIAS DO SUL  
2021**

**LEONARDO PESSIN PEGORINI**

**SISTEMA MICROCONTROLADO PARA MONITORAMENTO REMOTO  
DO CONSUMO DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica apresentado como parte dos requisitos necessários para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.  
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Mesquita.

**CAXIAS DO SUL  
2021**

**SISTEMA MICROCONTROLADO PARA MONITORAMENTO REMOTO  
DO CONSUMO DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica apresentado como parte dos requisitos necessários para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.  
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Mesquita.

**Aprovado em**

**Banca examinadora**

---

Prof. Dr. Alexandre Mesquita  
Orientador do Trabalho de Conclusão de Curso  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

---

Prof. Me. Ângelo Zerbetto Neto  
Avaliador do Trabalho de Conclusão de Curso  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Me. Felipe Augusto Tondo  
Avaliador do Trabalho de Conclusão de Curso  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Ivandro e Neide, por me incentivarem e me apoiarem na minha formação acadêmica e na trajetória que me trouxe até este presente momento.

Agradeço ao meu irmão, Guilherme por estar sempre ao meu lado, além de colaborar para gravações dos vídeos. E a minha namorada Vanessa, por entender minhas dificuldades, meu tempo nos finais de semana dedicados aos estudos, mas acima de tudo por estar sempre ao meu lado me incentivando.

Agradeço a todos meus familiares e amigos, por entenderem minha ausência nos momentos mais difíceis.

Agradeço também a Pegorini Chapeação e Pintura e a Nordeste Tintas, por me ajudarem com materiais e instrumentos para realização deste projeto.

Agradeço a todos os meus professores, pelo conhecimento compartilhado, experiências trocadas e vividas. Sem vocês eu não estaria aqui!

Agradeço ao meu orientador, Alexandre Mesquita, por me incentivar e me fazer buscar coisas que nem imaginava, além de incentivar os alunos a elaborarem projetos que facilitem o dia a dia, como este.

Agradeço ao coordenador do curso de Engenharia de Controle e Automação e avaliador do Trabalho de Conclusão de Curso I e II, Ângelo Zerbetto Neto, por estar sempre à disposição para os trabalhos, por me apoiar e me dar conselhos, além de ser um dos professores mais inspiradores que já tive na minha trajetória acadêmica.

Obrigado Deus por ter me dado força e coragem para seguir em frente!

*“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz. ”*

**Ayrton Senna**

## RESUMO

A pandemia do COVID-19 impôs a necessidade da sociedade adquirir novos hábitos, ou até mesmo retomar alguns deles. Com isso, a maioria das famílias e pessoas que frequentavam diariamente bares e restaurantes para se alimentarem, voltaram-se para produzir suas próprias refeições em casa. No preparo das refeições, muitos já devem ter se deparado com o seguinte problema, a hora que o gás acaba. Isso é um problema bem comum, que leva a alguns transtornos inesperados. A partir disso, surgiu a ideia de desenvolver um sistema microcontrolado que efetue o monitoramento e acompanhamento remoto da quantidade de GLP disponível para uso, e complementação via aplicativo para uso no smartphone. O projeto vem com o intuito de ser mais uma ferramenta doméstica que utiliza a tecnologia para solucionar problemas, acompanhando a automação residencial e as propostas de IoT, que já se tem conhecimento nos dias de hoje, além de ser de fácil instalação e manuseio. Através da plataforma ou aplicativo para smartphone, o protótipo informa ao usuário, quando o conteúdo do botijão estiver acabando. A plataforma é compatível com o modelo de botijão P13. O consumo de gás é monitorado através do peso do botijão detectado via sistema de pesagem microcontrolado. O sistema de pesagem é composto por célula de carga de 50kg, amplificador de instrumentação INA126, para amplificação do sinal de tensão, e microcontrolador ESP8266, para aquisição e tratamento dos dados. O aplicativo para smartphone foi desenvolvido sob a plataforma do MIT App Inventor, comunicando com o hardware via protocolo HTTP. O projeto apresentou resultados adequados para a faixa de valores de operação, além de viabilizar a implementação para aplicações comerciais.

**Palavras-chave:** GLP, monitoramento, ESP8266, botijão, IoT.

## ABSTRACT

The pandemic of COVID-19 imposed the need for society as a whole to acquire new habits, or even resume some of them. With this, most families and people who went to bars and restaurants daily to eat, turned to produce their own meals at home. When preparing meals, many must have already faced the following problem, the time when the gas runs out. This is a very common problem, which leads to some unexpected inconvenience. From this, the idea of developing a microcontrolled system that monitors and remotely monitors the amount of LPG available for use, and complement it via an application for use on the smartphone, emerged. The project is intended to be another domestic tool that uses technology to solve problems, following home automation and IoT proposals, which is already known today, in addition to being easy to install and handle. Through the platform or smartphone application, the prototype informs the user when the contents of the cylinder are running out. The platform is compatible with the P13 cylinder model. Gas consumption is monitored through the cylinder weight detected via a microcontrolled weighing system. The weighing system is composed of a 50kg load cell, INA126 instrumentation amplifier, for voltage signal amplification, and ESP8266 microcontroller, for data acquisition and processing. The smartphone application was developed under the MIT App Inventor platform, communicating with the hardware via HTTP protocol. The project presented adequate results for the range of operating values, in addition to enabling implementation for commercial applications.

**Keywords:** LPG, monitoring, ESP8266, cylinder, IoT.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Destilação Fracionada do Petróleo.....	19
Figura 2 - Consumo Regional de GLP .....	19
Figura 3 - Dimensões do botijão de gás tipo P13 .....	21
Figura 4 - Detalhes de um extensômetro .....	25
Figura 5 – <i>Strain-gauge</i> comercial uniaxial .....	26
Figura 6 - Ponte de Wheatstone.....	27
Figura 7 - Ponte de Wheatstone com configuração em ¼ ponte .....	28
Figura 8 - Ponte de Wheatstone com configuração em meia ponte .....	29
Figura 9 - Ponte de Wheatstone com configuração ponte completa .....	29
Figura 10 - Modelo célula de carga single point .....	30
Figura 11 - Modelo célula de carga tipo <i>beam</i> .....	30
Figura 12 - Modelo célula de carga de compressão .....	31
Figura 13 - Modelo célula de carga de tração .....	31
Figura 14 - Esquema de ligação de células de carga .....	33
Figura 15 - Arquitetura de um microcontrolador .....	34
Figura 16 - Placa ESP-WROOM-32 .....	35
Figura 17 - Regulador de Tensão .....	37
Figura 18 - Esquemático amplificador INA118 .....	39
Figura 19 - Interface de desenvolvimento App Inventor.....	40
Figura 20 – Projeto Gabriel Buligon Dal Ponte .....	42
Figura 21 - Fluxograma funcionamento do projeto.....	43
Figura 22 - Estrutura de balança com célula de carga.....	44
Figura 23 - Diagrama do funcionamento do circuito do projeto .....	45
Figura 24 - Célula de Carga 50kg SIMOKIT .....	47
Figura 25 - Esquemático amplificador INA126 .....	48
Figura 26 - NodeMCU ESP8266.....	52
Figura 27 – Cadeia de medição do protótipo.....	53
Figura 28 - Peso respectivo de 1kg.....	54
Figura 29 - Peso respectivo de 5kg.....	54
Figura 30 – Função de transferência teórica.....	55
Figura 31– Módulo Cartão SD Card.....	58
Figura 32- Programação em blocos do APP Inventor .....	59

Figura 33 - Balança Marte LS 50 .....	61
Figura 34 - Balança SARTORIUS PMA.....	61
Figura 35 – Plataforma do protótipo .....	62
Figura 36 - Placa do circuito principal .....	63
Figura 37 - Resultado tensão de 9V .....	63
Figura 38 - Resultado tensão de 5V/3.3V .....	64
Figura 39- Tensão de alimentação simétrica – LM7660.....	64
Figura 40 - Função de Transferência experimental via circuito principal.....	66
Figura 41- Função de transferência experimental .....	67
Figura 42 - Leituras sem filtros para 1kg .....	67
Figura 43 – Dispersão dos Dados – Sem uso de filtros .....	68
Figura 44 – Leituras com filtros para 1kg .....	68
Figura 45 - Dispersão dos Dados – Com uso de filtros .....	68
Figura 46 – Resultado para medida de 1kg .....	71
Figura 47 - Resultado para medida de 3kg.....	71
Figura 48 – Processo de tara do protótipo .....	73
Figura 49 – Peso botijão via protótipo .....	76
Figura 50 – Peso botijão via balança.....	76
Figura 51 – Peso referente a 15kg .....	77
Figura 52 – Tela inicial do aplicativo.....	78
Figura 53 – Informações do botijão ao usuário .....	79
Figura 54 – Tara do botijão .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesos dos diferentes tipos de botijões .....	21
Tabela 2 – Tabela comparativa entre microncontroladores.....	36
Tabela 3 – Especificações da Célula de Carga .....	47
Tabela 4 – Incertezas Padrões .....	57
Tabela 5 – Cálculos para obtenção das incertezas combinadas.....	57
Tabela 6 – Dados experimentais tensão de saída INA126 .....	65
Tabela 7 – Dados estatísticos sem uso de filtros .....	68
Tabela 8 - Dados estatísticos com uso de filtros .....	69
Tabela 9 – Dados sobre residual dos botijões .....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS

ADC	Conversor Analógico Digital
CCMR	Rejeição de Modo Comum
CPU	Central Process Unit
DAC	Convesor Digital Analógico
DC	Corrente Contínua
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EFC	Compensação de força eletromotriz
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory
FG	Fator Gauge
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HTML	Linguagem de Marcação de Hipertexto
IoT	Internet of Things
JSON	JavaScript Object Notation,
LED	Diodo Emissor de Luz
MDF	fibra de Média Densidade
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NBR	Norma Brasileira
NTC	Negative Temperature Coefficient
PTC	Positive Temperature Coefficient
RAM	Random Access Memory
ROM	Read-Only Memory
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
UART	Receptor/Transmissor Universal Assíncrono
USART	Transmissor/Receptor Universal Síncrono e Assíncrono
USB	Barramento Serial Universal
XML	Extensible Markup Language

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LCD	Liquid Crystal Display
MIT	Massachusetts Institute of Technology

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\epsilon_{gn}$	Deformação normal
$R_{go}$	Resistência Gauge original
$l_{go}$	Comprimento do extensômetro original
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
A	Ampere
kg	Quilograma
kHz	Quilohertz
kWh	Quilowatt-hora
$\text{m}^2$	Metro quadrado
mg	Miligrama
MHz	Mega-hertz
mm	Milímetro
ms	Milisegundo
mV	Milivolt
$\emptyset$	Diâmetro
US\$	Dólares Americanos
V	Volt
$\Omega$	Ohm
$\Delta R_g$	Varição Resistência Gauge
$\Delta l_g$	Varição do comprimento do extensômetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	16
1.2	OBJETIVOS.....	17
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1	GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP).....	18
2.2	BOTIJÕES DE GÁS .....	20
2.3	BALANÇAS .....	22
2.4	CÉLULAS DE CARGA.....	23
<b>2.4.1</b>	<b>Strain-Gauges (extensômetros) .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Ponte de Wheatstone .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Tipos de Célula de Carga.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Ligação Da Célula De Carga .....</b>	<b>32</b>
2.5	MICROCONTROLADORES .....	33
2.6	CIRCUITO DE AMPLIFICAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE SINAIS DE PRECISÃO.....	36
2.7	PLATAFORMAS DE DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS PARA SMARTPHONE.....	39
2.8	ESTADO DA ARTE EM TORNO DO PROJETO .....	41
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>43</b>
3.1	ESTRUTURA DO PROTÓTIPO.....	43
3.2	CIRCUITO PRINCIPAL .....	45
3.3	CIRCUITO DE AMPLIFICAÇÃO .....	48
3.4	MICROCONTROLADOR E MÓDULO ADC .....	51
3.5	DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE .....	52
3.6	CADEIA DE MEDIÇÃO E CURVA DE CALIBRAÇÃO .....	53
3.7	CARACTERIZAÇÃO DAS INCERTEZAS .....	55
3.8	CONEXÃO COM A REDE DE INTERNET .....	58
3.9	DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO.....	58
3.10	VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO .....	60
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
4.1	PLATAFORMA DO PROTÓTIPO .....	62
4.2	CIRCUITO DE AMPLIFICAÇÃO E CONDICIONAMENTO .....	63
<b>4.2.1</b>	<b>Função de Transferência Experimental – via Circuito Principal.....</b>	<b>65</b>

4.3	COLETA DE DADOS VIA SOFTWARE .....	66
4.4	OBTENÇÃO DO PESO DO BOTIJÃO .....	72
4.4.1	<b>Funcionamento da Tara.....</b>	<b>73</b>
4.4.2	<b>Residual dos botijões P13.....</b>	<b>73</b>
4.4.3	<b>Comparação dos resultados encontrados e incertezas do sistema .....</b>	<b>75</b>
4.5	COMUNICAÇÃO E INTERFACE DO APLICATIVO.....	78
4.5.1	<b>Previsão de Término .....</b>	<b>80</b>
5	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>81</b>
6	<b>PROJETOS FUTUROS.....</b>	<b>82</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>83</b>
	<b>APÊNCIDES .....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE A – TABELA CADEIA DE MEDIÇÃO .....</b>	<b>92</b>
	<b>APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE DO FIRMWARE .....</b>	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE C – TABELA RESIDUAL DOS BOTIJÕES P13 USADOS .....</b>	<b>100</b>
	<b>APÊNDICE D – ESQUEMÁTICO CIRCUITO PRINCIPAL .....</b>	<b>101</b>
	<b>APÊNDICE E – FICHA TÉCNICA MULTÍMETRO DT-101.....</b>	<b>102</b>
	<b>APÊNDICE F – DESENHO PLACA CIRCUITO PRINCIPAL.....</b>	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo de gás de cozinha aumentou 23% no Brasil devido ao isolamento social (AMATO, 2020), acarretando em um aumento no número de famílias que optaram por realizar suas refeições em suas próprias residências. Com o surgimento da pandemia no início de 2020, ocorreu a suspensão do atendimento presencial dos bares e restaurantes e também a maioria das famílias que frequentavam diariamente esses lugares para se alimentarem, voltou-se para produzir suas próprias refeições em casa, levando em conta também questões de segurança sanitária e financeira.

Segundo dados do IBGE em 1999, o gás de cozinha era o combustível mais utilizado para abastecimento do fogão residencial, representando 88,91%, seguido pela lenha como o segundo combustível mais utilizado, com 7,21%. Com o aumento e o surgimento dos fogões elétricos e os fogões de indução, a lenha e o GLP, tiveram uma redução na participação dos combustíveis mais utilizados para cozinhar. Segundo dados do SindiGás em 2020, a eletricidade representa 46,4% da matriz energética residencial, seguido pelo GLP com 26,4% e pela lenha com 20%, o gás natural fica com uso restrito a 1,7%.

O GLP, gás liquefeito de petróleo, é comumente utilizado na cocção de alimentos. É uma das frações mais leves do petróleo e sua queima é muito limpa, com baixíssima emissão de poluentes (PETROBRAS, 2021). O GLP mantido em condições atmosféricas normais, encontra-se na forma gasosa, porém quando envasado, é mantido sobre pressão dentro do botijão, sofre uma transformação física passando do estado gasoso para o estado líquido.

Por sua vez, o GLP, mesmo perdendo espaço nesse cenário, continua sendo o combustível mais utilizado para consumo doméstico, devido ao seu preço, já que a energia elétrica possui um valor elevado ao mesmo, se comparado em quilogramas por kWh. Outra característica que influencia nesse cenário é que fogões a gás são mais acessíveis e mais fáceis de encontrar que fogões elétricos e de indução.

Segundo dados fornecidos pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), do último trimestre de 2018, quase 60 milhões de residências e mais de 150 mil empresas, nos diversos setores da indústria, comércio e serviços, utilizaram o GLP. Atualmente, cerca de 94,8% das famílias brasileiras fazem uso do GLP, como fonte de energia para realização das atividades domésticas, além disso, 17 botijões de até 13kg são entregues nas residências brasileiras, por segundo.

De fato, o mercado do popular gás de cozinha, possui uma relevância significativa na economia nacional, já que anualmente são recolhidos 5,8 bilhões de reais em impostos, além do mercado do GLP, ser responsável por 380 mil empregos diretos e indiretos.

A maioria das donas de casa, chefs de cozinha, cozinheiros profissionais ou amadores, e até mesmo qualquer pessoa que já tenha cozinhado alguma vez, deve ter se deparado com um sério problema durante o preparado da refeição, a hora que o gás de cozinha acaba. Isso é uma situação extremamente comum, e causa alguns transtornos, como atraso no preparo das refeições ou até mesmo a suspensão do preparo. Algumas pessoas não possuem um botijão de gás de reserva na sua residência, e mesmo assim no caso de haver um sobressalente, não conseguem efetuar a troca do botijão, como no caso de pessoas idosas, com dificuldades de locomoção e também por falta de conhecimento para efetuar a troca do mesmo.

Segundo reportagem publicada em 2010 pela revista EXAME, a cada cinco botijões de gás de cozinha, modelo P13, vendido no Brasil, um é proveniente do comércio irregular, ou seja, estabelecimentos sem alvará para funcionamento.

Outro fator importante, que deve ser observado pelo consumidor, é a adulteração dos botijões, distribuidores detectaram botijões P13 com menos de 13kg no mercado (FARIAS, 2006). Segundo a reportagem, os botijões são vendidos com até 50% do conteúdo que está sendo pago pelo comprador, além de que esses botijões adulterados podem ter sido mal manipulados e apresentar vazamentos, podendo ocasionar uma explosão.

A partir dos problemas associados a esse assunto, no que tange o monitoramento da quantidade do gás de cozinha disponível e ao combate às fraudes, surgiu a ideia da implementação de um projeto, para acompanhar e informar ao usuário a quantidade de GLP disponível em cada botijão, de maneira rápida e dinâmica. O intuito é que o projeto seja de fácil instalação, não ocupando espaço significativo e que seja dinâmico e eficaz nas informações. Outra funcionalidade do projeto é a possibilidade de o usuário, verificar a quantidade de gás disponível no momento da compra do botijão, a fim de evitar fraudes.

Este trabalho visa elaborar um projeto que consiste em uma plataforma para acomodação e pesagem do botijão de gás, compatível com o modelo de botijão P13, já que é o modelo mais comercializado. Sob a plataforma, um conjunto composto por célula de carga (*strain-gauge*), circuito de condicionamento/amplificação e um micro controlador, vão monitorar constantemente o peso do botijão. A partir dos dados coletados do conjunto, será

possível informar ao usuário através da própria plataforma e/ou também via aplicativo para smartphone, a quantidade disponível de GLP para uso.

O intuito principal é que o cliente possa monitorar a quantidade de gás disponível e assim, não se deparar com a falta do mesmo no momento que desejar utilizá-lo. Outra funcionalidade do projeto, é a facilidade de monitorar a quantidade de gás consumido diariamente, e assim ter em mãos uma previsão para o término do GLP disponível no botijão. No momento da compra do botijão, o cliente vai ter a opção de averiguar a quantidade de gás disponível no botijão, através do peso total do mesmo, desta maneira, ajudar no combate às fraudes nas vendas a domicílio.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A solução proposta por esse projeto é elaborar um produto que possa ser vendido comercialmente, como uma forma automatizada e inteligente de monitorar, tanto presencialmente, quanto remotamente, via aplicativo, a quantidade de GLP disponível para uso. Neste projeto estão inclusos o desenvolvimento de alguns periféricos importantes para funcionamento do projeto principal.

Este trabalho remete a uma abordagem do uso mais econômico do gás de cozinha. Já que, uma das ideias iniciais do projeto é que o usuário, possa monitorar constantemente o uso de gás na sua residência, sendo atualizado diariamente da previsão de esgotamento do conteúdo do botijão. A partir disso, ele pode tomar medidas, que visem a economia do GLP.

Tratando-se do tipo do botijão, este trabalho será compatível como modelo de botijão P13, o modelo de botijão mais comercializado do mercado. Segundo COPAGAZ (2019), O modelo é o mais encontrado em cozinhas residenciais. Seu tamanho médio também favorece outros usos, como o aquecimento do chuveiro a gás e o acendimento de lareiras

Segundo Teza (2002), muito se fala sobre as novidades tecnológicas que irão equipar os lares no futuro próximo, e se está sempre a falar em futuro, mas já está na hora de viver-se o presente, pois, já existem estudos, tecnologia, projetos e residências efetivamente funcionando através dos recursos da automação.

De fato, hoje, encontra-se em um crescente uso da automação nas residências, que seguramente irá aumentar com o passar dos anos. A cada dia a tecnologia auxilia a monitorar

vidas, resolver problemas, movimentar finanças, entre outros. A tendência é que surjam, projetos como esse, que resolvam e auxiliem nos problemas convencionais do dia a dia, para que as pessoas possam dar mais atenção para a sua própria família, amigos e até mesmo sua atividade profissional, já que nos dias atuais, o tempo está cada vez mais valioso.

## 1.2 OBJETIVOS

Abaixo são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desse projeto é desenvolver um sistema microcontrolado capaz de monitorar e acompanhar remotamente a quantidade de GLP disponível para uso, e complementação via aplicativo para uso no smartphone.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Construir um sistema de pesagem confiável e estável para monitoramento da quantidade de GLP no botijão;
- Elaborar um aplicativo para o monitoramento do consumo via software;
- Elaborar um modelo de previsão do término do GLP disponível;
- Elaborar um sistema de aviso de término do GLP via hardware;
- Comunicar e transmitir dados entre interface de pesagem e aplicativo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

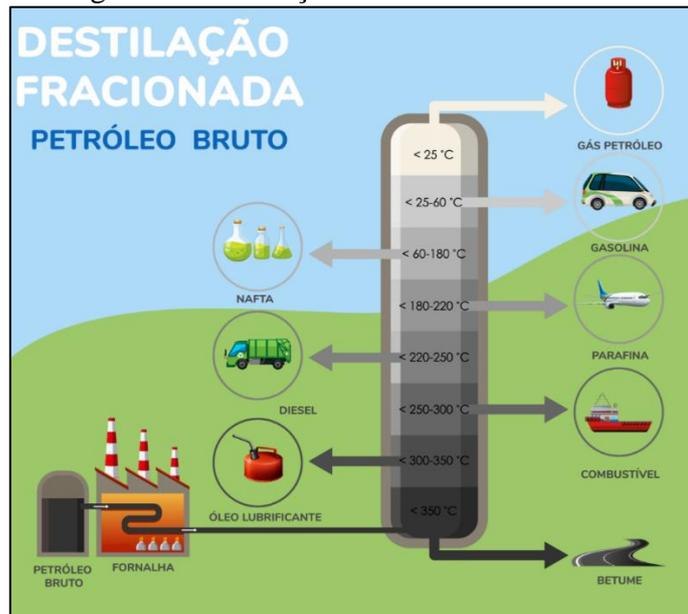
### 2.1 GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP)

A disponibilidade de fontes de energia vem a ser um dos fatores mais importantes no quesito evolução e desenvolvimento da sociedade. Nos primórdios da humanidade, a força humana foi usada como principal fonte de energia para realização das tarefas diárias. A grande evolução tecnológica e o desenvolvimento de grandes sociedades com poderes industriais, ocorreu por volta dos séculos XVIII e XIX, quando se iniciou a exploração e uso do carvão mineral e dos combustíveis fósseis como principais fontes de energia. O carvão mineral alavancou a revolução industrial na Europa, mais especificamente na Inglaterra, no início do século XIX. Com a utilização da máquina a vapor, dentro da indústria. Já o petróleo, foi usado inicialmente como combustível do motor à combustão.

O petróleo bruto é extraído dos poços a profundidades variadas, segundo JOKURA, podendo ser encontrado nas primeiras camadas do solo, ou até milhares de metros abaixo do nível do mar, como no caso dos poços de petróleo do pré sal brasileiro. Após a extração, é necessário que o petróleo passe por um processo de refino, para que possam ser obtidos os seus derivados. O principal processo utilizado no refino do petróleo é a destilação fracionada, segundo Kotz et al. (2015), no caso de misturas homogêneas formadas por dois ou mais líquidos com pontos de ebulição muito próximos, a destilação fracionada é processo de separação mais indicado.

Na Figura 1, pode-se observar a obtenção dos diferentes derivados do petróleo, cada um respectivamente com a sua temperatura de ebulição. O primeiro componente obtido através desse processo, a aproximadamente 25 °C é o gás liquefeito de petróleo (GLP), um gás composto de outros gases, como butano, buteno, propano, propeno, entre outros, popularmente conhecido como “gás de cozinha”.

Figura 1 – Destilação Fracionada do Petróleo

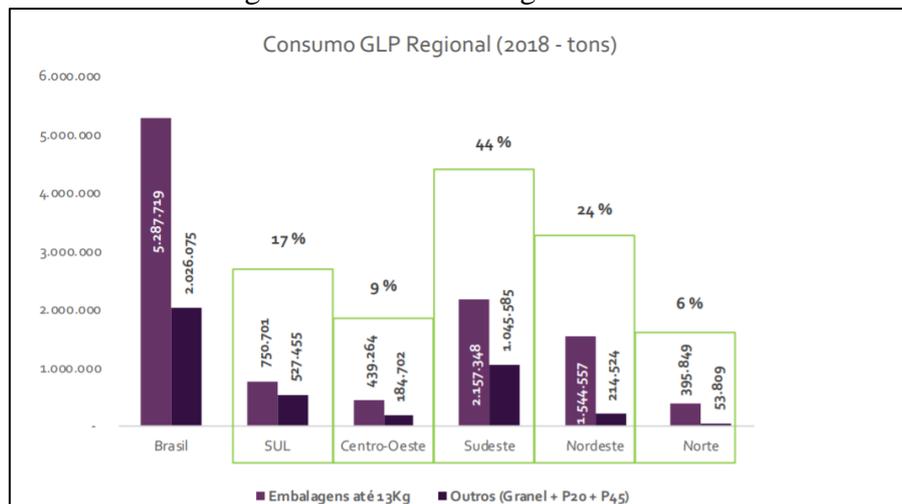


Fonte: VALIM, Paulo (2020)

O GLP, além de utilizado no preparo de alimentos, apresenta outras funcionalidades, tais como, climatização e esterilização de ambientes comerciais, fundição e corte de solda, queima e secagem de cerâmica, moldagem e acabamento de vidros, secagem de grãos, queima de ervas daninhas, fabricação de borrachas, fabricação de papel.

Pode-se concluir, com a apresentação dos dados acima, que o GLP, tem inúmeros usos residenciais ou industriais. Através da Figura 2, pode-se observar o consumo de GLP em cada uma das 5 regiões do país.

Figura 2 - Consumo Regional de GLP



Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, análise Sindicás (2018)

Responsável por 44% da comercialização, a região sudeste, lidera a quantidade de botijões comercializados por ano, devido a maior concentração populacional do país. Seguido pela região Nordeste, com 24% do consumo e a região Sul, em terceiro, responsável por 17% da comercialização.

Outro dado interessante fornecido pela Figura 2, em relação a comercialização do GLP no país, é a quantidade de botijões industriais comercializados, em relação aos botijões residenciais. Este dado ajuda na identificação das regiões com maiores níveis de industrialização. A região Sudeste é a região que mais comercializa botijões industriais, seguida pela região Sul. Segundo Sobrinho & Azzoni (2014), a concentração espacial da indústria no Brasil é histórica e tema de muitos debates, sendo mais uma das persistentes desigualdades brasileiras, mesmo assim o Sudeste e o Sul concentram a maior parte da produção industrial brasileira.

## 2.2 BOTIJÕES DE GÁS

Existem atualmente no Brasil basicamente 7 tipos diferentes de botijões de gás, com vasilhames que armazenam 2kg, 5kg, 8kg, 13kg, 20kg, 45kg e 90kg. No Brasil, o uso de GLP é proibido para uso em veículos automotores, com exceção de empilhadeiras movidas a GLP nas quais são utilizados botijões tipo P20. (SUPERGASBRAS, 2017).

Os botijões são caracterizados conforme seu peso. A cada modelo é atribuído a letra P maiúscula, seguido pelo seu peso correspondente. Como principais modelos para uso residencial, encontram-se o P2, P5, P8, P13 e o P45.

A fabricação dos botijões segue algumas etapas, dentre elas pode-se citar o corte da chapa de aço, proveniente das bobinas, modelagem, soldagem, tratamento térmico do recipiente e por final o recebimento da válvula de segurança. Posterior a esse processo, o botijão segue para o envase.

No Brasil, o processo de fabricação e manutenção dos botijões seguem rigorosas normas de segurança (LIQUIGÁS, 2016). Como normas vigentes tem-se a ABNT NBR8460, ABNT NBR8865 e a ABNT NBR8866.

A norma NBR 8460, especifica os requisitos mínimos exigíveis, peças acessórias e ensaios, para o projeto, fabricação, alteração e segurança no enchimento dos recipientes

transportáveis destinados ao acondicionamento de gás liquefeito de petróleo , a norma NBR 8865, trata do procedimento responsável por estabelecer os requisitos mínimos exigíveis para a requalificação de recipientes transportáveis de aço para gás liquefeito de petróleo, e a norma NBR 8866, estabelece os requisitos mínimos para seleção visual das condições de uso dos recipientes transportáveis de aço para gás liquefeito de petróleo (LIQUIGÁS, 2016).

O P13 é o principal tipo de botijão comercializado pelas distribuidoras e conseqüentemente utilizado nos lares brasileiros. A grande verdade é que fora das grandes capitais, só mesmo o botijão de 13kg é fácil de ser encontrado (PIVARI, 2000). Para o botijão de gás tipo P13, na etapa de enchimento na linha de produção, aproximadamente 31,5 litros do gás são inseridos no recipiente, os quais correspondem a 13kg (GÁS MAIS, 2018). As dimensões do botijão P13 pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Dimensões do botijão de gás tipo P13



Fonte: Supergásbras (2017)

Os pesos totais e dos cascos dos principais botijões do mercado, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Pesos dos diferentes tipos de botijões

	<b>Peso Casco (kg)</b>	<b>Peso Gás (kg)</b>	<b>Peso Total (kg)</b>
<b>P2</b>	4 a 5	2	6 a 7
<b>P5</b>	7 a 8,5	5	12 a 13,5
<b>P8</b>	11,7 a 12,4	8	19,7 a 20,4
<b>P13</b>	14,4 a 15	13	27,4 a 28
<b>P20</b>	27 a 29	20	47 a 49
<b>P45</b>	37,1 a 64	45	82,1 a 109

Fonte: O autor (2021).

Pode-se observar que o peso do casco, é elevado em relação a quantidade de GLP em quilogramas dentro de cada botijão.

### 2.3 BALANÇAS

A balança é empregada em uma operação denominada pesagem. Esta é realizada mediante a comparação direta entre dois objetos, um de massa conhecida e outro de massa desconhecida. A balança, com efeito, nada mais é do que uma alavanca. Alavanca constitui-se como qualquer barra rígida capaz de se mover em torno de um ponto, denominado ponto de apoio (AFONSO; DA SILVA, 2004).

Atualmente no mercado, encontram-se balanças com tipos de funcionamento diferentes. O primeiro modelo de funcionamento é o mecânico, no qual o dispositivo é composto por elementos mecânicos com molas, cutelos, hastes rígidas, entre outros. O segundo modelo é o modelo eletrônico, nesse sistema o dispositivo é composto por elementos eletrônicos, como células de carga, circuitos integrados, microcontroladores, extensômetros, entre outros. Também se encontram dispositivos híbridos, estes por sua vez, utilizam elementos mecânicos e eletrônicos.

Com os avanços da tecnologia e conseqüentemente da eletrônica, surgiu um elemento chamado célula de carga, que é um transdutor de força. Através de uma deformação mecânica, este dispositivo emite sinais elétricos que são interpretados pelo circuito eletrônico e assim o peso do objeto determinado (KNWAAGEN, 2019). A célula de carga ao se deformar, transforma essa depleção em tensão elétrica, dessa maneira quanto maior a deformação, maior a tensão elétrica de saída da célula.

Para funcionamento da balança, podem ser usadas combinações de células de carga para efetuar a medição, ou apenas uma célula. Os tipos de balança que utilizam células de carga, geralmente são balanças usadas no cotidiano, como balanças comerciais, industriais, de precisão, pessoais, rodoviária e de ponte rolante. A capacidade máxima de pesagem de cada balança está diretamente associada a capacidade máxima da célula utilizada, ou no caso de mais uma célula, o peso máximo suportado será a soma da capacidade individual de cada uma.

Outro princípio de funcionamento das balanças é através da força de compensação magnética. No momento da aplicação de um peso sobre o prato da balança, o campo magnético do ímã gera uma força eletromotriz contrária para trazer o sistema novamente em equilíbrio. A corrente gerada é proporcional a força aplicada e através de conversões digitais, esta corrente é transformada no peso (KNWAAGEN, 2019).

Balanças que utilizam este tipo de funcionamento são balanças microanalíticas, analíticas, semianalíticas e de precisão. Balanças que possuem seu modo de funcionamento baseado na força de compensação magnética, podem apresentar incertezas de 0,1 mg.

Apesar de serem confiáveis e apresentarem baixas incertezas, as balanças tipo EFC (compensação de uma força eletromotriz), possuem um valor de mercado elevado, além de não serem tão robustas e ágeis quanto as que funcionam através de células de carga (*strain-gauge*) Segundo o Gerente Internacional de produtos para tecnologia de pesagem e sensores OEM da HBM, “ Considerando o quanto evoluiu quanto à robustez, higiene e precisão, a tecnologia digital de pesagem (baseada em *strain-gauges*) não é mais apenas uma alternativa às células de carga EFC: ela já demonstra uma grande vantagem em muitas aplicações! Fica claro que: a tecnologia digital de pesagem baseada em *strain-gauge* permite uma redução de tempo nos processos industriais, diminuindo esforços e economizando dinheiro. ”

## 2.4 CÉLULAS DE CARGA

O uso de células de carga está presente em várias atividades do cotidiano, como pesagem, medição de força, análise de resistência dos materiais, dinamômetro, força em ferramentas de corte, etc.

São integrantes da nossa vida diária. “Em seu carro ou na balança do supermercado: encontramos células de carga em todos os lugares”, diz Stefan Schmidt, Gerente de Produtos da HBM. Elas não são reconhecidas de imediato, porque funcionam escondidas no interior dos equipamentos.

As células de carga são dispositivos que têm como função efetuar uma medição e transformá-la em uma saída de tensão ou corrente. O princípio de funcionamento das células de carga é a deformação do corpo, para uma determinada deformação, tem-se uma tensão de saída respectiva.

O surgimento das células de carga, ocorreu em 1843, neste ano, o físico Wheatstone, aprimorou um circuito com a capacidade de medir resistências elétricas que tinha sido criado por Samuel Hunter Christie em 1833. Esses circuitos, chamados de pontes de Wheatstone, foram amplamente utilizados para medir as alterações de resistência que ocorrem em sensores de deformação e tensão, havendo, portanto, uma ampla aplicação (KISTLER-MORSE, 2020).

A primeira célula de carga mecânica foi desenvolvida em 1843, porém somente em 1940, que a célula de carga eletrônica se tornou uma tecnologia viável de replicação. A célula de carga eletrônica conta com extensômetros (*strain-gauges*) para medição das deformações e transformação das forças aplicadas em valores de tensão.

#### 2.4.1 Strain-Gauges (extensômetros)

*Strain-gauges* são uma das principais alternativas para medir deformação e fadiga de materiais. Também são conhecidas por extensômetros de resistência elétrica. A extensometria é o método que utiliza o princípio da relação que existe entre tensões e deformações em corpos submetidos a solicitações mecânicas. O objetivo é a medição das deformações superficiais dos corpos, a qual está relacionada com a força mecânica (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

Em 1856, Kelvin realizou experimentos utilizando fios de cobre e ferro e observou que a resistência elétrica de ambos mudava quando os materiais sofriam deformação na região elástica. A variação relativa da resistência sobre a variação relativa a deformação é uma constante (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

Os extensômetros basicamente fornecem uma alteração de resistência em resposta a uma alteração de comprimento (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

No momento que antecede a aplicação de uma força sobre o extensômetro, é possível medir a resistência inicial e um comprimento inicial do sensor, após ser submetido a uma força, obtém-se uma variação no comprimento do sensor e conseqüentemente uma variação na resistência. Em consequência, a variação da resistência é transformada em uma variação na tensão de saída do extensômetro.

Essa constante, encontrada por Kelvin, posteriormente foi denominada de fator gauge. O fator de gauge (FG) é um fator proporcional entre a deformação medida e a mudança relativa na ponte (como mostra a Equação 1), que pode ser medida por um dispositivo adequado que suporta pontes de Wheatstone (HBM). O fator gauge é proporcional ao sinal, quanto maior o fator gauge, maior o sinal de saída do extensômetro e quanto menor o fator gauge, menor a tensão de saída. Idealmente o fator gauge é unitário. Contudo, a resistividade do material e a área do extensômetro também se alteram em função da distensão, fazendo com

que FG seja diferente de 1, em geral maior (BALBINOT; BRUSAMARELLO apud TOSIN, 2019).

$$FG = \frac{\frac{\Delta R_g}{R_{go}}}{\frac{\Delta l_g}{l_{go}}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{gn} = \frac{\Delta l_g}{l_{go}} \quad (2)$$

Sendo:

$\Delta R_g$  - Variação da Resistência Gauge [ $\Omega$ ];

$R_{go}$  – Resistência Gauge inicial [ $\Omega$ ];

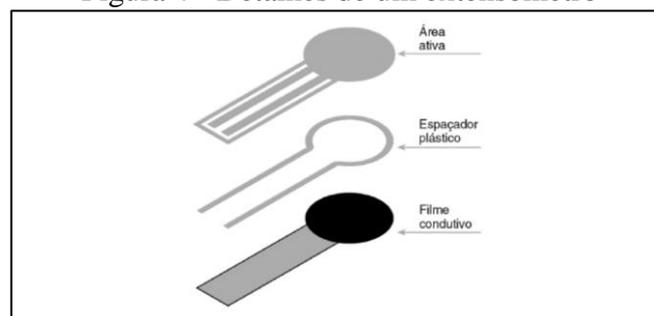
$\Delta l_g$  - Variação do Comprimento Gauge [mm];

$l_{go}$  – Comprimento Gauge inicial [mm];

$\epsilon_{gn}$ – Deformação normal sofrida pelo material;

De maneira geral, os extensômetros são usados para medir força e massa. Ao serem submetidos a uma força externa, que modifique suas características físicas como comprimento, largura ou algum tipo de deformação, eles apresentam uma variação na sua resistência, geralmente proporcional a variação física a que foram submetidos. Conseqüentemente, ao variarem sua resistência, variam também a tensão de saída, se estiverem ligadas a um circuito condicionador de sinal apropriado. A Figura 4, mostra em detalhes, as partes constituintes de um extensômetro.

Figura 4 - Detalhes de um extensômetro



Fonte: BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João (2019)

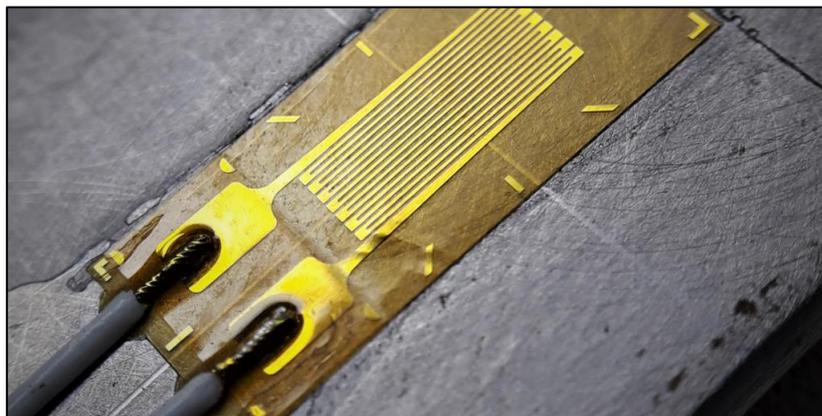
O comprimento do sensor consiste na área ativa da grade. Os extensômetros comerciais de resistência elétrica encontram-se disponíveis com comprimento de 0,2 mm a 100 mm.

Sabe-se que, na verdade, existe uma distribuição de tensões em torno de um ponto máximo. Quando um extensômetro é colado em uma região, é feita uma integração ou uma média da distribuição desses pontos sob a grade sensora. Dessa forma, o valor lido é sempre menor que o pico máximo de tensão. Quanto maior for a área da grade, menor será o valor de saída do extensômetro (em relação ao pico máximo de tensão) (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

A Figura 5, mostra um *strain-gauge* comercial, lembrando que segundo Balbinot (2019), a parte do contorno dos fios, juntamente com os terminais de cobre, é considerada insensível e, portanto, ficando fora do parâmetro de comprimento do sensor.

Existem dois tipos de formatos de *strain-gauges* disponíveis no mercado, o primeiro e mais tradicional é o extensômetro uniaxial, com formatos de grades mais simples, como quadrados, retângulos ou círculos e apenas uma grade por base. Utilizado geralmente para aplicações menos complexas, e em conjunto com demais sensores formando uma ponte de Wheatstone. O outro formato encontrado no mercado é o tipo roseta, esses *strain-gauges* apresentam mais que uma grade de sensores por base. O uso deste tipo de configuração se faz necessário quando ocorre uma aplicação de uma força biaxial, ou seja, forças superficiais sobre o objeto deformado que atuam em mais que uma direção ortogonal.

Figura 5 – *Strain-gauge* comercial uniaxial



Fonte: Nachazel (2020)

A temperatura altera a sensibilidade linear do extensômetro. Porém para temperaturas inferiores a 100 °C, a alteração da sensibilidade é pequena, menor que 1%.

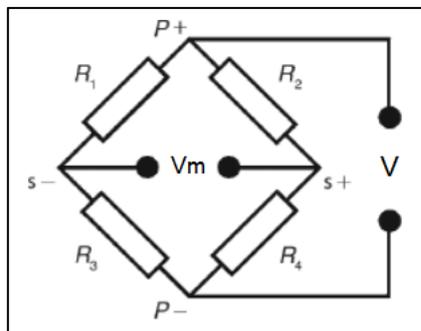
### 2.4.2 Ponte de Wheatstone

A etapa posterior ao processo das deformações e geração das tensões através dos *strain-gauges*, é utilizar medidores de tensão para obtenção de dados que possam ser convertidos em dados concretos. O medidor de tensão deve ser conectado a um circuito elétrico que seja capaz de responder com precisão às mudanças mínimas na resistência associadas à deformação. Segundo Nachazel (2020), vários medidores de tensão podem ser usados em um circuito de ponte dividido para medir pequenas mudanças na resistência elétrica, caracterizando uma ponte de Wheatstone.

Em uma configuração de ponte de Wheatstone, uma tensão de excitação é aplicada ao circuito e a tensão de saída é medida em relação aos dois terminais centrais. Quando não há carga atuando nos extensômetros, a ponte de Wheatstone equilibra-se, resultando numa tensão de saída igual a zero.

Qualquer pequena mudança no material sob o extensômetro, resulta em uma mudança na resistência do mesmo. Isso faz com que a ponte fique fora de equilíbrio, resultando em uma mudança na tensão de saída (NACHAZEL, 2020). A Figura 6, traz um exemplo de um circuito utilizando a ponte de Wheatstone.

Figura 6 - Ponte de Wheatstone



Fonte: BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João (2019)

A ponte é composta por quatro elementos resistivos, podendo ser montada em três diferentes configurações: um quarto de ponte, onde apenas um dos elementos é ativo, meia ponte onde dois elementos são ativos e ponte completa onde todos elementos são ativos (MARCELINO et al, 2018).

A tensão de saída da ponte depende da tensão de entrada e das resistências do circuito. A equação abaixo resulta na tensão de saída em função da tensão de entrada e dos resistores do circuito.

$$V_m = \frac{R_1 R_3 + R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} V \quad (3)$$

Se  $R_1 R_3 = R_2 R_4$ , ou  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ , logo a tensão de saída  $V_m = 0$ . Com isso pode-se dizer que a ponte está equilibrada ou em balanço.

Ao sofrerem uma variação  $\Delta R_i$ , cada resistência, a ponte estará desbalanceada e uma tensão de saída  $V_m$  diferente de zero surgirá. Se a variação  $\Delta R_i$  for muito menor do que o valor da resistência  $R_i$ , a equação seguinte é válida (EPUSP, 2017).

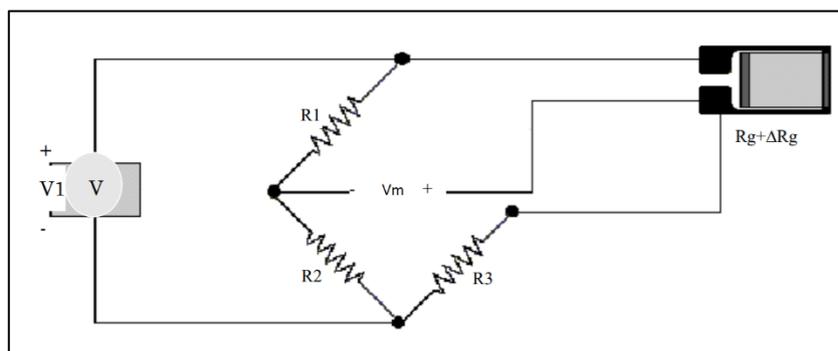
$$\frac{V_m}{V} = \frac{1}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \quad (4)$$

Para a configuração em um quarto de ponte, conforme Figura 7, a equação que determina a tensão de saída utilizando apenas um *strain-gauge* é vista a seguir.

$$V_m = \frac{1}{4} V \left( \frac{\Delta R_g}{R_{go}} \right) \quad (5)$$

Sendo  $R_1 = R_2 = R_3 = R_{go}$ .

Figura 7 - Ponte de Wheatstone com configuração em ¼ ponte



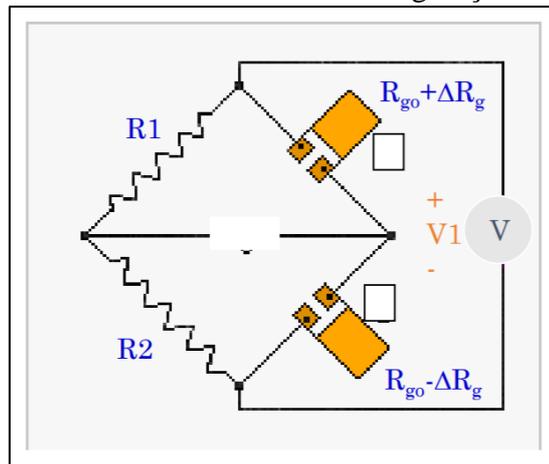
Fonte: BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2019 apud TOSIN, Maurício (2019)

Para a configuração em meia ponte, utilizando dois *strain-gauges*, conforme Figura 8, a equação que determina a tensão de saída é vista a seguir.

$$V_m = \frac{1}{2} V \left( \frac{\Delta R_g}{R_{go}} \right) \quad (6)$$

Sendo  $R_1 = R_2$ .

Figura 8 - Ponte de Wheatstone com configuração em meia ponte

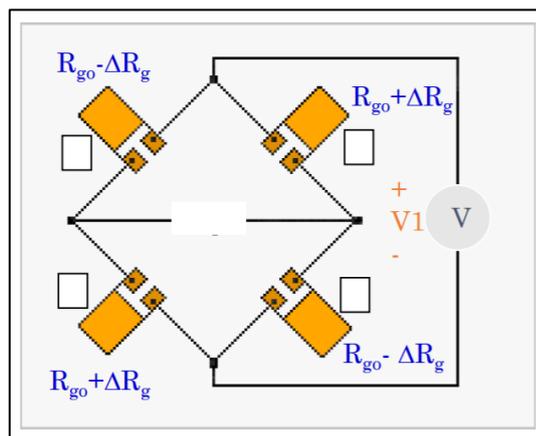


Fonte: BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2019 apud TOSIN, Maurício (2019)

Para a configuração em ponte completa, com quatro *strain-gauges*, conforme Figura 9, a equação que determina a tensão de saída é vista a seguir.

$$V_m = V \left( \frac{\Delta R_g}{R_{go}} \right) \quad (7)$$

Figura 9 - Ponte de Wheatstone com configuração ponte completa



Fonte: BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2019 apud TOSIN, Maurício (2019)

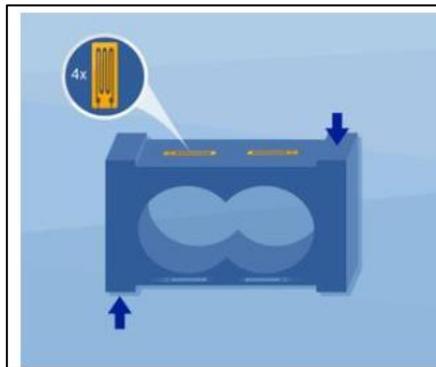
### 2.4.3 Tipos de Célula de Carga

Existem diferentes tipos de células de carga para diferentes aplicações. As mais usadas incluem as do tipo *single point*, *beam*, forças de compressão e forças de tração.

Células de carga tipo *single point*, como o próprio nome já diz, são células posicionadas sob uma plataforma e aplica-se um peso na sua parte superior. Pode-se observar um modelo de célula de carga tipo *single point* na Figura 10.

Lembrando que as flechas indicam o sentido de aplicação de força na célula. Um lado da célula fica fixo sob a superfície de fixação do equipamento, enquanto a outra extremidade sofre a aplicação da força peso e acaba sofrendo a deformação.

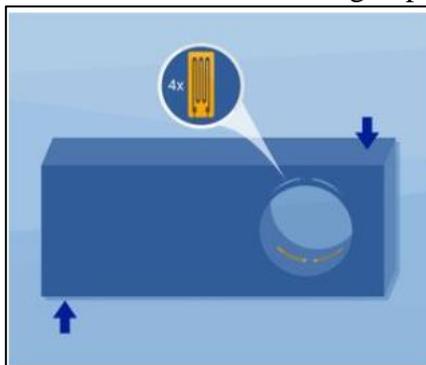
Figura 10 - Modelo célula de carga *single point*



Fonte: HBM (2019)

Para aplicações industriais robustas, que necessitam de agilidade na medição, utiliza-se geralmente células do tipo *beam*. Esse tipo de célula é utilizada em conjuntos. Basicamente, agrupa-se as células e as posicionam sobre uma plataforma, aplicando uma força na parte superior. O modelo da célula *beam* é demonstrado na Figura 11.

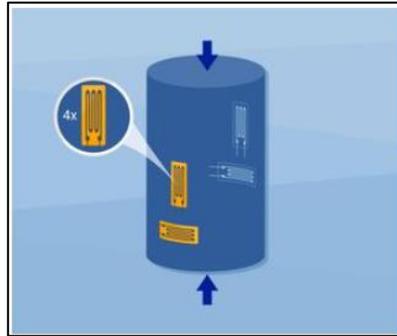
Figura 11 - Modelo célula de carga tipo *beam*



Fonte: HBM (2019)

As células de carga para forças de compressão são utilizadas em aplicações para pesagens acima de 1000kg. O princípio de funcionamento consiste em comprimir a célula para detecção da força aplicada. O modelo da célula de compressão encontra-se na Figura 12.

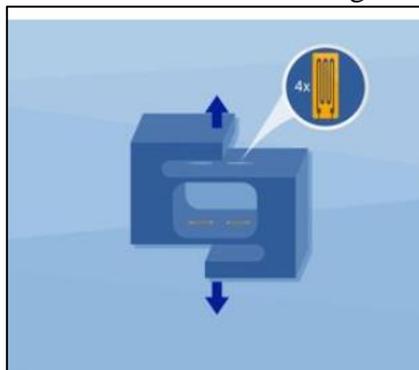
Figura 12 - Modelo célula de carga de compressão



Fonte: HBM (2019)

Por fim, as células de carga para tração são utilizadas para suspensão de pesos, utilizando uma ou mais células em conjunto. Pode-se observar o modelo dessa célula na Figura 13.

Figura 13 - Modelo célula de carga de tração



Fonte: HBM (2019)

Vale a pena salientar que para todos os modelos de células de carga, mencionados anteriormente, encontram-se quatro extensômetros posicionados de maneira estratégica junto a célula e também a ponte de Wheatstone em anexo, embutida da própria célula.

Células de carga também podem ser categorizadas baseadas no tipo de sinal de transmissão: células de carga digitais possuem uma eletrônica interna usada para processar os resultados de medição e enviá-los no formato pré-definido (digital). Para as células de carga analógicas, é necessário um equipamento adicional: um amplificador de medição (HBM).

Com o avanço da tecnologia, a Flintec, líder mundial em tecnologias de pesagem de alta qualidade e precisão, desenvolveu a primeira célula de carga sem fio totalmente aprovada

para uso comercial. A célula modelo CCW1 foi desenvolvida para uso em locais perigosos na indústria de óleo e gás.

O CC1W foi projetada para uso nos sistemas de controle de bombeamento de óleo para automatizar poços que utilizam a tecnologia de elevação de haste. Tradicionalmente, esses sistemas têm células de carga que transmitem dados de força da bomba por meio de um cabo. O cabo é o elo fraco do sistema, quebrando regularmente. Um cabo quebrado custará mais de US \$ 500 para substituir e resulta em um tempo de inatividade significativo da bomba (FLINTEC, 2021).

Além da célula de carga sem fio CC1W, a empresa desenvolveu um kit de adaptação CCWR. O kit tem como função converter células de carga com fio existentes em células de carga sem fio. O conjunto pode ser utilizado em qualquer célula que apresente uma sensibilidade em mV/V. Essa alternativa elimina a necessidade de cabos e o conjunto de falhas associadas aos mesmos.

#### **2.4.4 Ligação Da Célula De Carga**

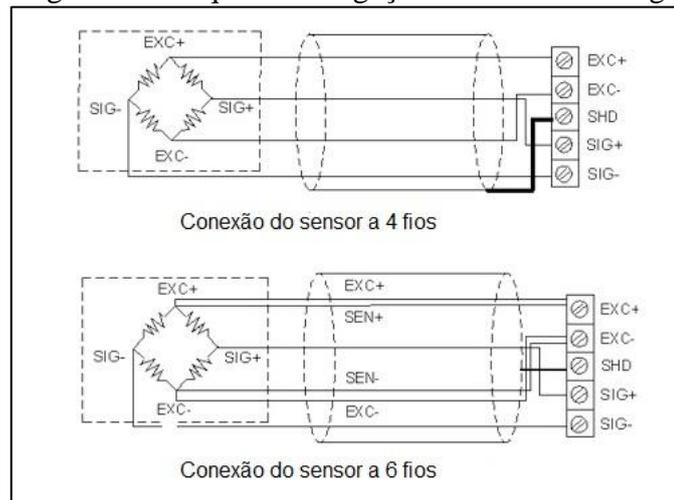
Uma saída de célula de carga é avaliada em milivolts por volt (mV / V) da diferença de tensão na carga mecânica nominal máxima. Os valores de sensibilidades mais comuns nas células de carga são de 1 a 3 mV/V. A configuração de saída das células de carga contempla geralmente 4 fios, alimentação (+), alimentação (-), sinal (+) e sinal (-). Algumas células apresentam um fio de blindagem que fica conectado ao corpo da célula.

Outro tipo de ligação encontrada nas células de carga, é a ligação a 6 fios. Esse tipo de ligação apresenta um par de fios a mais. Eles são a saída sensorial da célula, sensor (+) e sensor (-). A saída sensorial é ligada junto com os pinos de alimentação. A Figura 14 exemplifica essa ligação.

Os modelos comerciais de baixo custo, utiliza-se célula com 4 vias, porém para modelos de precisão e de valor de mercado elevado, a configuração com 6 vias é utilizada.

A utilização da configuração com 6 fios se deve ao fato, de que segundo Balbinot (2019), para a compensação do efeito de deslocamento de zero devido à variação da temperatura, é utilizado um resistor de cobre, o qual possui um coeficiente de temperatura positivo. Isso tende a reduzir o efeito de deslocamento de zero.

Figura 14 - Esquema de ligação de células de carga



Fonte: Alfacomp (2019), adaptado do autor (2021).

Porém comercialmente, alguns fabricantes utilizam a técnica da inserção de um sensor de temperatura operando juntamente com o circuito de compensação, ligado ao circuito de alimentação.

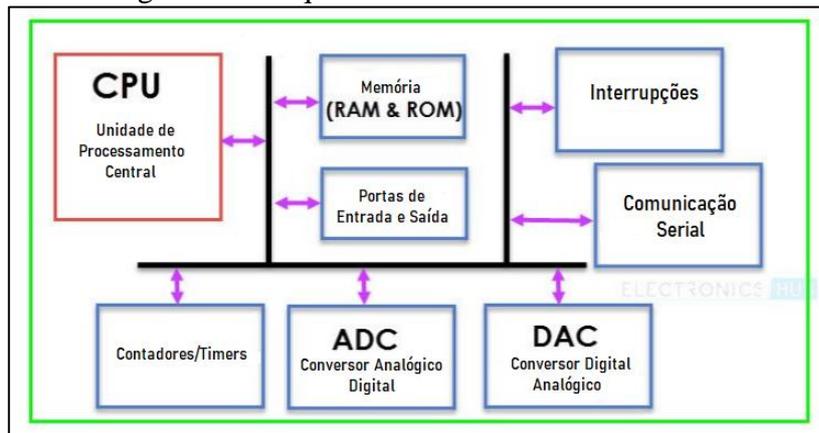
## 2.5 MICROCONTROLADORES

O microcontrolador desempenhou, e ainda desempenha, um papel fundamental na revolução tecnológica que moldou a vida moderna. A lista de possíveis aplicações de microcontroladores é longa: *Wearables* de baixo custo, equipamentos médicos, produtos eletrônicos de consumo sofisticados, dispositivos industriais robustos, sistemas militares e aeroespaciais de última geração (GRUPO AUTOCOMP, 2019).

Atualmente encontram-se diversos modelos de microcontroladores no mercado, tanto para aplicações mais simples até as mais sofisticadas com um grau de complexidade elevado. Independente do microcontrolador escolhido, o mesmo deve apresentar algumas características indispensáveis para obter a melhor performance do projeto ou produto em questão.

Primeiramente o microcontrolador é um único circuito integrado que reúne um núcleo de processador, memórias voláteis e não voláteis e diversos periféricos de entrada e de saída de dados. Ou seja, ele nada mais é do que um computador muito pequeno capaz de realizar determinadas tarefas de maneira eficaz e sob um tamanho altamente compacto (CARDOSO, 2020). A Figura 15 exemplifica a arquitetura básica de um microcontrolador.

Figura 15 - Arquitetura de um microcontrolador



Fonte: SHIN -TING, Wu (2019), adaptado do autor (2021).

Os três componentes principais em um microcontrolador são a CPU, a memória e as portas de entrada e saída. Os demais periféricos são considerados unidades de suporte para funcionamento do componente como um todo. Segundo Shin-Ting (2019) a unidade de processamento central ou CPU é o cérebro do microcontrolador. Basicamente é constituído por uma Unidade Lógica Aritmética (ULA) e uma Unidade de Controle (UC). Uma CPU lê, decodifica e executa instruções para realizar operações aritméticas, lógicas e de transferência de dados.

A interface do microcontrolador para o mundo externo é desempenhada pelas portas de entrada e saída. Dispositivos de entrada como botões, teclados, sensores, etc. fornecem informações do usuário para a CPU na forma de dados binários. Ao receber os dados dos dispositivos de entrada, a CPU executa as instruções apropriadas e dá resposta através dos dispositivos de saída como LED's, displays, etc.

Outra funcionalidade de um microcontrolador, é o seu conversor Analógico-Digital (ADC) integrado, utilizado principalmente para aquisição de dados analógicos provenientes de sensores, ou até mesmo saídas analógicas de circuitos.

O principal objetivo dos conversores analógico/digitais em um sistema de aquisição de dados é converter sinais analógicos condicionados em um fluxo de dados digitais, para que o sistema de aquisição de dados possa processá-los para exibição, armazenamento e análise (DEWESOFT, 2020).

A conversão é feita através da obtenção do sinal analógico e posteriormente a divisão da amplitude máxima do sinal pelo número de bits do conversor. Atualmente, encontram-se no mercado ADC's de 10 até 32 bits. Porém ADC's internos de microcontroladores não

chegam a resoluções tão elevadas, como 32 bits, para isso deve-se utilizar um ADC externo ao microcontrolador.

Como cada bit de resolução efetivamente dobra a resolução possível, os sistemas com ADCs de 24 bits fornecem uma resolução 16.777.216 bits. Assim, um sinal de um Volt de entrada pode ser dividido em mais de 16 milhões de níveis discretos no eixo Y (DEWESOFT, 2020).

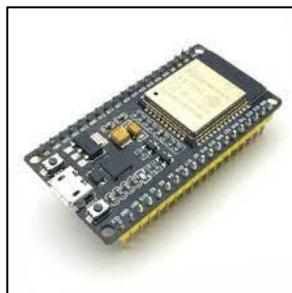
Conversores digitais-analógicos (DAC), são comumente menos encontrados nos microcontroladores.

Para aplicações em automação residencial, industrial e Internet das Coisas (IoT), é interessante que o microcontrolador possua integração com módulo Wi-Fi ou Bluetooth, com o intuito de efetuar a comunicação com a rede de Internet e entre outros dispositivos.

A família ESP8266 de microcontroladores da fabricante Espressif Systems, possuem alguns modelos de placas que oferecem essas funcionalidades, como os modelos ESP-01 A, ESP-7, ESP-12E e NodeMcu. Esses modelos possuem apenas módulo de comunicação Wi-Fi.

Tanto a placa ESP8266 NodeMCU e a ESP-WROOM-32 incluem os microcontroladores respectivos embutidos, periféricos e os demais pinos para conexão, além disso a placa conta com conversor serial e regulador de tensão próprio, não sendo necessário ambos como nas outras versões fora da placa. Na Figura 16, pode-se observar a placa ESP-WROOM-32. A Tabela 2 traz um comparativo entre os dois microcontroladores.

Figura 16 - Placa ESP-WROOM-32



Fonte: ESPRESSIF (2019)

Tabela 2 – Tabela comparativa entre microncontroladores

	<b>ESP8266</b>	<b>ESP32</b>
<b>Alimentação</b>	2,2V ~ 3,3V DC	2,2V ~ 3,3V DC
<b>Corrente de Consumo</b>	80 mA	80 mA
<b>Processador</b>	Tensilica® L106 ultra-low power 32-bit	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
<b>Frequência de Operação</b>	80MHz ~ 160MHz	80MHz ~ 240MHz
<b>Memória FLASH</b>	4MB	4MB
<b>Memória RAM</b>	36kB	520KB
<b>Pinos de I/O</b>	13 pinos com 9 PWM	34 pinos com 16 PWM
<b>ADC</b>	1 ADC com 10-bit (1024 bits)	18 ADC com 12-bit (4096 bits)
<b>DAC</b>	Não possui	2 DAC com 8-bit de resolução (256 bits)
<b>Wi-Fi</b>	Possui	Possui
<b>Bluetooth</b>	Não possui	Possui
<b>Interfaces de Módulos</b>	SPI, SDIO, LED PWM, I2S e I2C.	SPI, SDIO, LED PWM, Motor PWM, I2S e IR

Fonte: O autor (2021).

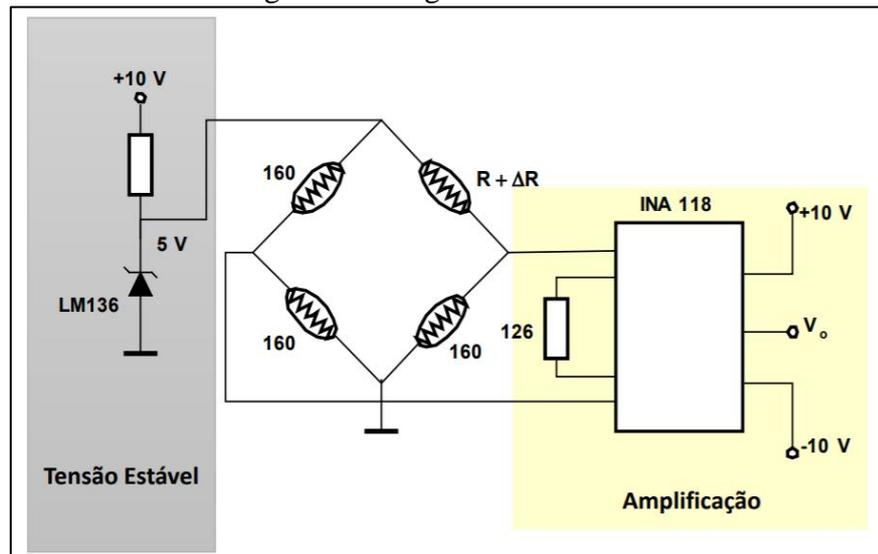
O ESP8266 NodeMCU, possui uma entrada analógica, ou seja, possui um canal que possibilita a utilização do ADC interno do microcontrolador para conversão de um sinal de tensão em um valor numérico. A resolução desse conversor analógico-digital é de 10 bits, convertendo valores de 0 até 1023.

Já o ESP-WROOM-32, possui 18 canais que possibilitam a leitura de valores de tensão e conversão em valores numéricos, separado em 2 controladores, sendo o ADC1 com 8 canais e o ADC2 com 10 canais.

## 2.6 CIRCUITO DE AMPLIFICAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE SINAIS DE PRECISÃO

Sensores resistivos como strain-gauges, termistores como NTC e PTC, necessitam de alguns requisitos básicos para o condicionamento e amplificação dos seus sinais em aplicações de precisão. O primeiro requisito é a alimentação do sensor de maneira constante, seja ela através de tensão ou de corrente. Geralmente para evitar variações na alimentação desses sensores, utiliza-se reguladores de tensão ou corrente. Na Figura 17, foi incluída uma fonte de referência estável (por exemplo, o LM136) que proporciona os 5V necessários para alimentar a ponte a partir de uma tensão de 10V (menos estável) que alimenta o amplificador selecionado.

Figura 17 - Regulador de Tensão



Fonte: BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2019 apud TOSIN, Maurício (2019)

O segundo ponto importante para o funcionamento de circuitos de precisão, é que sensores que apresentam saídas de baixíssima amplitude, necessitam de grandes ganhos para a faixa dinâmica do sinal de saída ser adequada com a faixa de entrada dos ADCs, que realizam a leitura do sinal de tensão proveniente do sensor.

Segundo Balbinot (2019), condicionadores para sensores remotos precisam ser sensíveis para correção da resistência dos cabos ou compensá-los, ou seja, para sensores sem ligação física (cabramento), é necessário calcular a queda de tensão nos mesmos, e embuti-la ao condicionador de sinal.

Na utilização de pontes de medida com strain-gauges, é interessante levar em consideração alguns pontos como, o equilíbrio da ponte que permite fixar seu valor zero em um ponto concreto da medida, a calibração da ponte, que permite obter outro ponto da curva de medida e que permitirá fixar o ganho do sistema para que se ajuste as necessidades e também, deve-se observar o cabramento do sistema, afim de reduzir os efeitos não desejados e assegurar a realização de uma medida correta.

Como terceiro ponto relevante em circuitos de condicionamento tem-se os amplificadores operacionais de precisão. Estes componentes são fortes aliados no desenvolvimento de circuitos de instrumentação, os quais buscam a obtenção precisa de grandezas elétricas.

Alguns dos principais tipos de amplificadores operacionais deste tipo encontrados no mercado são a série INA da *Texas Instruments* e os modelos AD8221, AD8421 da *Analog Devices*. Estes modelos possuem algumas características que os possibilitam trabalhar como amplificadores de instrumentação, com elevado CCMR, elevada impedância nas entradas, baixo offset e baixa corrente de bias, ou corrente de polarização.

O CCMR, *common-mode rejection ratio* ou rejeição de modo comum, é uma característica importante dos amplificadores operacionais. No momento que dois sinais da mesma amplitude, frequência e fase são aplicados às entradas (inversora e não inversora) de um operacional eles devem se cancelar e nenhuma saída deve ocorrer. Na prática, entretanto, um pequeno sinal ainda aparece, sendo especificado em relação ao ganho máximo em termos de atenuação ou rejeição em dB.

A característica de elevado CCMR, juntamente com o ganho elevado é indispensável em aplicações que necessitam lidar com sinais de baixíssima amplitude. A rejeição de modo comum é expressa em dB, nas especificações dos componentes em função do ganho e da frequência do sinal. Para visualização e plotagem dos valores do CCMR, utiliza-se um diagrama de Bode.

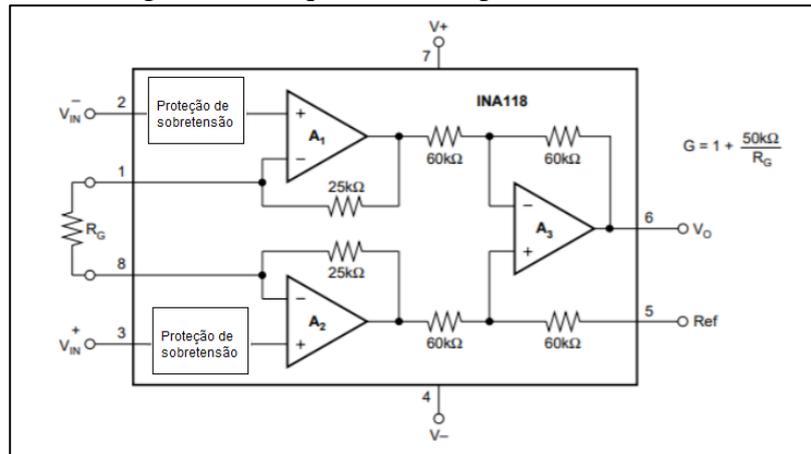
Em relação à elevada impedância de entrada, quanto maior a impedância de entrada do amplificador, maior será o percentual de tensão do sinal na entrada no amplificador (WENDLING, 2010). Essa característica, garante a minimização das perdas do sinal, já que para aplicações de instrumentação, geralmente trabalha-se com baixas tensões, sendo necessário à amplificação do sinal, mantendo a confiabilidade dos valores.

A tensão de offset de entrada do amplificador, gera um sinal diferencial que é aplicado as entradas do mesmo. Esse fenômeno produz uma tensão diferencial de saída, proporcional ao ganho. Segundo Wendling (2010), em circuitos de alta precisão, é necessário minimizar ou eliminar essa tensão de erro na saída do dispositivo. A eliminação dessa tensão, minimiza o erro associado a tensão de saída do amplificador e em consequência de todo o conjunto de instrumentação.

Na Figura 18, pode-se observar um esquemático de um amplificador de instrumentação INA118. É importante notar que não existe um arranjo de resistores externos controlando o ganho, mas sim apenas um único resistor  $R_g$ . Para obter valores de ganhos mais precisos, é interessante utilizar resistores de precisão, com variação de 1%.

Outra característica que vale a pena salientar é o ganho elevado para amplificação de sinais de baixas amplitudes, principalmente em aplicações de instrumentação.

Figura 18 - Esquemático amplificador INA118



Fonte: Texas Instruments (2019), adaptado do autor (2021).

## 2.7 PLATAFORMAS DE DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS PARA SMARTPHONE

Com o avanço da tecnologia e consequentemente do crescimento do mercado de dispositivos móveis, como smartphones e tablets, o uso de aplicativos está a cada dia mais presente no cotidiano dos usuários.

Com essa crescente onda, o mercado de aplicativos para celulares e também do aumento da automação de tarefas do cotidiano através de softwares, surgiram no mercado, ferramentas e serviços que possibilitam os usuários a desenvolverem seus próprios softwares para desempenhar uma atividade específica. Alguns deles serão vistos a seguir:

### - Fábrica de Aplicativos

Este serviço talvez seja o de maior utilização no Brasil. Ele permite que o usuário crie um aplicativo utilizando a linguagem HTML5 mesmo sem entender nada de programação. O objetivo do serviço é proporcionar aos interessados uma tecnologia que permita a criação de aplicativos de forma simples e gratuita (NASCIMENTO, 2019).

### - AppMachine

Com o AppMachine é possível criar aplicativos que possam ser executados em aparelhos equipados com iOS, Android e Windows Phone. O serviço apresenta um design

bem atraente e intuitivo. Certamente é um dos melhores em questões visuais. (NASCIMENTO, 2019)

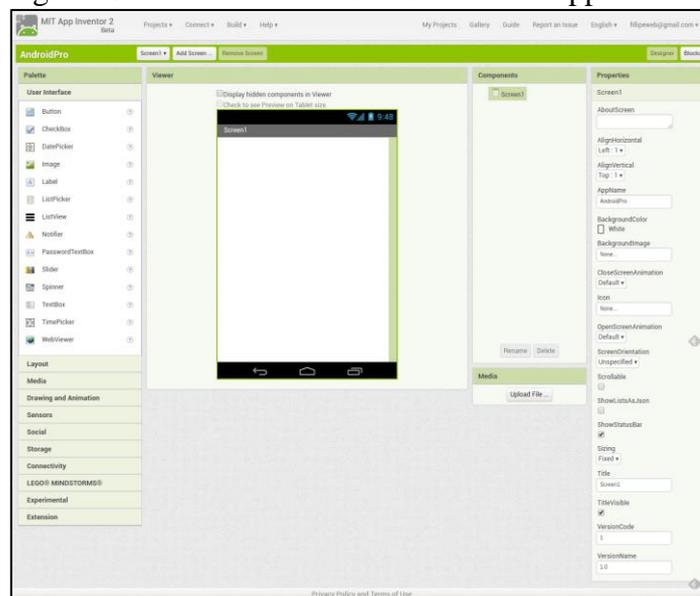
#### - MIT App Inventor

O App Inventor é um ambiente de programação de fácil utilização para os iniciantes na área de programação para smartphones e tablets. Mesmo sem conhecer muito de lógica de programação, é possível desenvolver aplicativos para celulares e tablets utilizando a plataforma.

É uma ferramenta de utilização online mantida pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). É necessário ter uma conta de e-mail do gmail para acessar a plataforma de desenvolvimento do software, e também um celular Android, para que os aplicativos desenvolvidos possam ser testados. Na Figura 19 é possível observar a interface de desenvolvimento do App Inventor.

Para aplicações em IoT, em inglês *Internet of Things*, é necessário que objetos e máquinas utilizem a internet para comunicarem entre si e realizarem tarefas que foram previamente pré-estabelecidas. No caso de aplicações para automação residencial, na maioria dos casos utiliza-se um micro controlador com acesso à internet via módulo Wi-Fi e um aplicativo remoto, responsável por enviar comandos, enviar e coletar dados.

Figura 19 - Interface de desenvolvimento App Inventor



Fonte: CORDEIRO, Fillipe (2017)

Dada a aplicação, é necessária uma infraestrutura que permita a sua implantação. Assim, para a comunicação de dispositivos IoT, um protocolo bastante utilizado é o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). O protocolo MQTT oferece uma arquitetura de comunicação diferente da abordagem padrão de requisição-resposta através da utilização de um modelo publicador-subscritor assíncrono (SILVA, 2020).

O protocolo MQTT faz uso de um sistema de organização de mensagens, baseada em tópicos. Dessa maneira, cada mensagem deve estar previamente identificada por um tópico para que o *broker* possa enviá-la aos endereços corretos (SILVA, 2020). A mensagem MQTT possui um código de identificação binário, sendo assim é possível escolher qual formato de dados é mais viável para cada aplicação, podendo ser uma *String*, JSON ou XML, além de outros.

Outra opção para comunicação entre clientes e servidores é o protocolo HTTP. Ele é utilizado para comunicação entre clientes (navegadores) e servidores web. Ao digitar uma URL no navegador, o mesmo envia uma requisição de algum recurso ao servidor que envia de volta o recurso solicitado. Uma requisição de um cliente é composta de um cabeçalho e de um corpo, opcional, separados por uma linha em branco (DORNELES, 2019).

Cada requisição individual é enviada para o servidor, que efetuará um tratamento da informação e fornecimento de uma resposta.

Entre a solicitação e a resposta existem várias entidades, designadas coletivamente como proxies, que executam operações diferentes e atuam como *gateways* (intermediários) ou caches, por exemplo (MDN, 2021).

## 2.8 ESTADO DA ARTE EM TORNO DO PROJETO

Com o crescimento do mercado de aplicativos e de automação residencial, a tendência é que cada vez mais sejam criadas soluções para os problemas domésticos e industriais, ou até mesmo com o passar dos anos, a tendência é que ocorra o aprimoramento de ideias, tornando-as cada vez mais práticas e eficientes.

Em Bhati (2017), é proposto um sistema inteligente de alerta familiar para monitorar os parentes que possuem idade mais idade avançada por questões de segurança. Segundo Medeiros e Santos (2017), esse sistema é composto por um aplicativo móvel e uma grande

quantidade de sensores presentes nos quartos das casas com o objetivo de monitorar o comportamento do idoso na casa evitando lesões. A comunicação entre os sensores e a aplicação ocorre através do Wi-Fi da residência.

Uma aplicação recente com um intuito similar a este trabalho é o projeto Smart-Gás, Medeiros e Santos (2017). Neste trabalho o intuito é monitoramento de GLP doméstico através de uma plataforma conectada à internet, sendo possível aferir o peso e acompanhar o consumo de gás remotamente de qualquer local, via aplicativo no smartphone. O trabalho foi desenvolvido utilizando o Arduino e uma placa *Shield* para conexão e troca de dados via internet. Além disso para monitoramento do consumo de gás foi utilizado um sensor de peso resistivo (*strain-gauge*).

Em Dal Ponte (2018), pode-se observar uma aplicação com a mesma finalidade, porém utilizando um modelo comercial de balança existente no mercado, conforme Figura 20.

Figura 20 – Projeto Gabriel Buligon Dal Ponte



Fonte: DAL PONTE, Gabriel (2018)

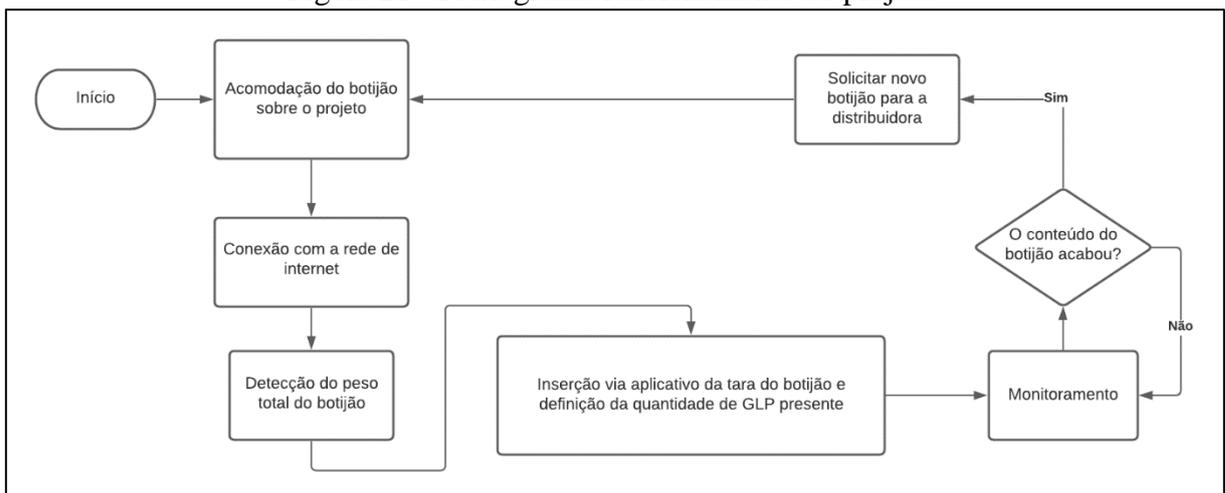
### 3 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu na elaboração e descrição das partes necessárias para a montagem de um projeto de caráter exploratório, com coleta de dados experimentais a fim de validá-lo como um produto comercial confiável. As etapas necessárias para obtenção dos resultados foram, construção, calibração e validação do protótipo.

#### 3.1 ESTRUTURA DO PROTÓTIPO

O projeto como um todo necessitou de algumas estruturas básicas como: base para acomodação do botijão de gás, circuito microcontrolado para tratamento e aquisição de dados, alimentação estável e uma comunicação entre a interface de pesagem e o aplicativo para smartphone. A Figura 21, traz um fluxograma do sistema de funcionamento do projeto.

Figura 21 - Fluxograma funcionamento do projeto



Fonte: O autor (2021)

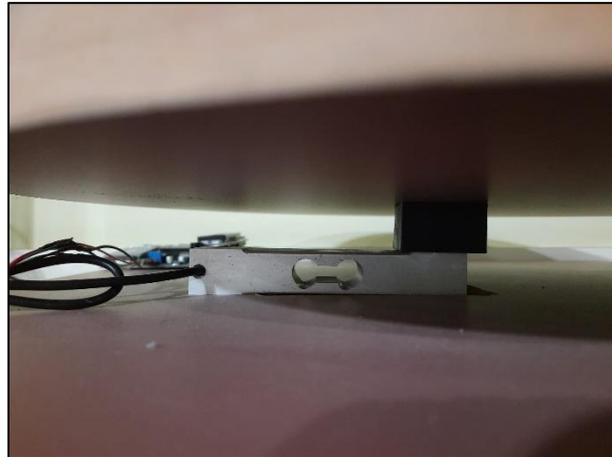
Primeiramente, para a acomodação do recipiente para o monitoramento, foi necessária uma base firme, sólida e compatível com o diâmetro do botijão P13, com um diâmetro da base inferior de 360 mm (ULTRAGAZ, 2019).

Logo, para a base de apoio e sustentação do projeto, foi utilizada duas placas de MDF, uma de 45cm x 45cm e a outra circular de Ø38 cm. A base maior, foi posicionada na parte inferior do protótipo, com quatro isoladores para a sustentação acima do solo, e a base menor,

na parte superior, para colocação do botijão sobre a mesma. Entre elas, a célula de carga foi posicionada de maneira centralizada. A Figura 22, exemplifica a estrutura base.

Uma alternativa ao invés de colocar um espaçador entre a célula e a base inferior, foi fazer uma cavidade na própria placa, com isso, a célula tem mobilidade para deformar-se.

Figura 22 - Estrutura de balança com célula de carga



Fonte: O autor (2021)

O conjunto formado por célula e placas, deve estar firme e bem fixado entre si, já que qualquer folga ou deslocamento entre os componentes pode interferir de maneira significativa na hora da pesagem.

A tensão de alimentação do circuito de amplificação e condicionamento do sinal deve ser contínua (DC) e o mais estável possível, a fim de não prejudicar os valores no momento da aferição do peso. Logo, para a alimentação do circuito principal e da célula de carga foi utilizada uma fonte para carregadores de bateria de notebooks. Ligada na rede elétrica com uma tensão de saída de 19V (DC).

Existem modelos de balança para essas aplicações, com uma ou quatro células. O modelo com uma célula, segundo Mettler Toledo (2019), é utilizado nos casos em que os itens geralmente ficam centralizados, isto é, a maioria das balanças de tanque, silo e recipiente. Já para a aplicação em que os itens provavelmente estarão posicionados fora do centro, como em balanças de piso, de caminhões pequenos e de esteira transportadora, a aplicação mais adequada é a com quatro células.

Como, o botijão após posicionado na base, permanece estável durante todo o período de pesagem, optou-se por trabalhar com apenas uma célula de carga. Sempre se assegurando que o objeto fique centralizado, afim de garantir uma medição confiável. Para auxiliar nesse

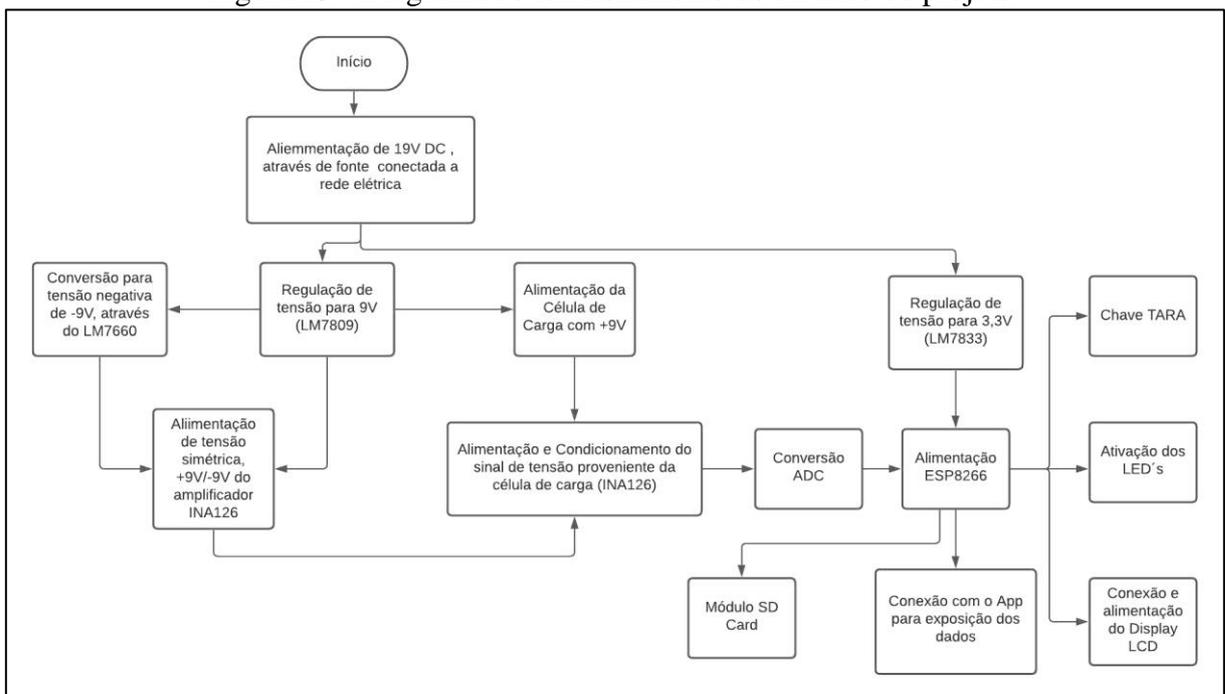
posicionamento, foi utilizada uma base circular, afim de garantir o posicionamento correto do botão. Segundo Mettler Toledo (2019), o segredo é garantir que o centro gravitacional do sistema não mude horizontalmente com a carga.

O cabeamento que faz a ligação da célula de carga ao circuito de amplificação deve ser o mais curto possível, já que o cobre altera a resistência de acordo com a temperatura e quanto menor a resistência do cabo, melhor. Para o projeto foi utilizado somente os cabos que vem acoplados a célula, ligado diretamente a placa, a fim de minimizar esse erro.

### 3.2 CIRCUITO PRINCIPAL

O circuito principal é composto por algumas etapas entre elas: regulação de tensão 9V, regulação de tensão 3.3V, conversão para tensão negativa, circuito de amplificação, acoplamento da célula de carga, módulo SD Card display LCD, chave tara e LED's para auxiliar na interação com o usuário. A Figura 23, aborda o funcionamento e conexão dos módulos que compõem o projeto.

Figura 23 - Diagrama do funcionamento do circuito do projeto



Fonte: O autor (2021)

- **Regulação de Tensão 9V:** A tensão de 9V é para a alimentação da célula de carga e do circuito de amplificação. A regulação da tensão de entrada, foi feita por um regulador linear LM7809. O circuito integrado, é capaz de regular tensões de até 30V, para 9V. A corrente de saída máxima fica em torno de 1A, o suficiente para alimentar a célula de carga e o amplificador. Ao pino de saída do regulador, foi utilizado, ligados em paralelo, dois capacitores de desacoplamento de 100nF e 47 uF, com a função da filtragem de ruídos de alta frequência.
- **Regulação de Tensão 3.3V:** A tensão de 3.3V é exclusiva para alimentação do microcontrolador. A regulação da tensão foi desempenhada por um regulador linear LM7833. A corrente de saída máxima do regulador fica em torno de 1A, o suficiente para a aplicação. Ao pino de saída do regulador, foi utilizado, ligados em paralelo, dois capacitores de desacoplamento de 100nF e 47uF, com a função da filtragem de ruídos de alta frequência. Essa tensão permite trabalhar com diversas opções de microcontroladores como o ESP8266, ESP 32, STM32, entre outros.
- **Conversão para Tensão Negativa:** A utilização de alimentação simétrica para o amplificador operacional, aumenta o range de tensão do amplificador, aumentando a resolução da saída, além de garantir a faixa limitada de rejeição em modo comum que é dependente da temperatura. Além do mais, a alimentação simétrica é um requisito da série de amplificadores de instrumentação da família INA da *Texas Instruments*. Com isso optou-se por utilizar um regulador LM7660, um conversor de tensão positiva em negativa. Este circuito integrado, é alimentado com +9V, e na sua saída apresenta uma tensão de -9V.
- **Acoplamento da Célula de Carga:** A célula de carga escolhida para o projeto, foi a modelo *singlepoint*, com capacidade máxima de 50kg, já que o peso total de um botijão P13, pode variar de 27kg a 28kg. A célula de carga possui 4 fios, dois deles para alimentação, sendo um conectado no +9V, e o outro no GND. Os outros dois, são os pinos de sinal. Estes são a saída de informações da célula, sendo um deles ligado na entrada inversora do amplificador e o outro na entrada não-inversora. A Tabela 2, traz os parâmetros da célula de carga segundo o fabricante. Os fios são identificados por cores: vermelho (entrada+), preto (entrada-), verde (saída+) e branco (saída-). A Figura 24 mostra a célula escolhida para o projeto. As dimensões da célula são 130mm de comprimento, 30 mm de largura e 22 mm de altura. A célula de carga escolhida, possui a ponte de Wheatstone embutida.

Tabela 3 – Especificações da Célula de Carga

<b>Célula de Carga 50kg</b>
<b>Fabricante:</b> SIMOKIT
<b>Capacidade Nominal:</b> 50kg
<b>Sensibilidade:</b> 2mv/V
<b>Material:</b> Liga de Alumínio
<b>Classe Impermeável:</b> IP65
<b>Tensão de Excitação(V):</b> 5 -1 5
<b>Sobrecarga Seguro (RO%):</b> 150

Fonte: SIMOKIT

Figura 24 - Célula de Carga 50kg SIMOKIT



Fonte: SIMOKIT

- **Módulo SD Card:** O módulo tem como função, a opção de acoplamento de um cartão SD, para aumentar a capacidade de memória do sistema e até mesmo como uma opção de dados serem inseridos no sistema e no microcontrolador sem ser necessário acessar a memória interna do chip.
- **Chave TARA:** Tem como função, realizar a tara do equipamento e até mesmo zerar a tara do mesmo, caso for necessário, pressionando a chave continuamente por 2,5 segundos.
- **Display LCD:** O display tem como função informar ao usuário, o que está acontecendo no protótipo, como qual tipo de botijão está sendo utilizado, quantidade remanescente no recipiente, previsão de término, entre outras informações. O display comunica-se diretamente, com o microcontrolador, através do protocolo de comunicação I2C, com módulo de comunicação já acoplado ao display. A utilização desse sistema economiza pinos do microcontrolador.

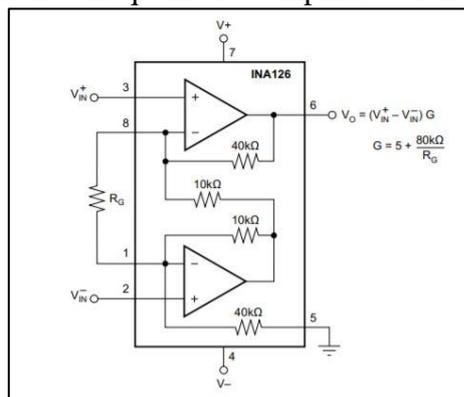
- LED's para interação com o usuário: O LED de cor vermelha informa que o botijão está acabando, ou se possui algum erro no sistema. Já o LED de cor verde informa que o protótipo está ligado e funcionando de maneira correta.

### 3.3 CIRCUITO DE AMPLIFICAÇÃO

Como o sinal proveniente da célula de carga é de amplitude extremamente baixa é necessário amplificar o sinal para níveis de tensão aceitáveis para a interpretação segura e confiável do mesmo. Já que o projeto em questão se trata de um aparelho de precisão, necessita-se de um amplificador de precisão, para isso foi escolhido o amplificador operacional INA126, já que se trata de um modelo disponível no mercado. A faixa de tensão de operação é de 1.35V a 18V. A Figura 25 mostra o diagrama do amplificador e também os componentes externos necessários.

O ganho do circuito é dado pela Equação 8, na qual necessita-se escolher o ganho que é necessário aplicar ao sinal de entrada. A Equação 9 fornece a tensão de saída do amplificador em função do ganho e da tensão de entrada.

Figura 25 - Esquemático amplificador INA126



Fonte: Texas Instruments (2019)

$$G = 5 + \frac{80k\Omega}{R_G} \quad (8)$$

$$V_O = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-) G \quad (9)$$

A sensibilidade do sensor é de 2 mV/V, conforme dado fornecido pelo fabricante, a célula possui uma capacidade máxima de 50kg, sendo alimentada nessa configuração com 9V. A partir desses dados foi possível estabelecer o ganho total que o sistema amplificador precisa fornecer, sabendo que a tensão máxima após a amplificação não pode exceder os 3,3V, suportados pelo conversor analógico-digital do microcontrolador utilizado.

$$G_{adequado} = \frac{V_{máximaADC}}{Sensibilidade \cdot V_{alimentação}} \quad (10)$$

$$G_{sistema} = \frac{3,3V}{2mV/V \cdot 9V}$$

$$G_{sistema} = 183,33$$

A Equação 10 apresenta um ganho projetado para o funcionamento adequado do sistema, segundo Nicolett (2014), o ganho de um sistema com amplificadores operacionais é a relação entre a tensão de saída e a tensão de entrada. Sendo a Equação 10 proveniente da relação entre a tensão máxima na saída do amplificador, com o intuito de não exceder os 3,3V e a tensão máxima de entrada, no caso de a célula estar sendo submetida a um peso de 50kg.

Após determinar o ganho desejado para o sistema, pode-se calcular o resistor de ganho adequado, seguindo a equação 8.

$$183,33 = 5 + \frac{80k\Omega}{R_G}$$

$$R_G = \frac{80k\Omega}{(183,33 - 5)}$$

$$R_G = 448 \Omega$$

O resistor de ganho que fica conectado entre os terminais 1 e 8 do INA126, deve ser qualquer valor igual ou levemente acima do valor calculado, já que se o resistor for de valor inferior, a tensão de saída do amplificador, eleva-se acima dos 3,3V, quando aplicado um peso de 50kg, podendo danificar o microcontrolador.

O valor de resistor comercial maior ou igual a 448Ω é o resistor de 470Ω. Para essa finalidade, no projeto foi utilizado um resistor de 470Ω de precisão, com erro de até 1%, os mais indicados para essa aplicação.

Com a obtenção do valor de ganho do sistema, é possível obter a tensão de saída esperada em função do peso em kg. Porém, primeiro necessita-se encontrar a sensibilidade da célula em mV/kg. Para isso utiliza-se a Equação 11.

$$S' = \frac{S \times V}{P} \quad (11)$$

$$S' = \frac{2 \text{ mV/V} \times 9\text{V}}{50\text{kg}}$$

$$S' = 0,36 \text{ mV/kg}$$

Sendo:

S' - Senbilidade em mV/kg;

S - Senbilidade em mV/V;

V - Tensão de alimentação;

P - Peso máximo do sistema;

Recalculando o valor do ganho, para valores reais, com componentes comerciais obtém-se o valor de:

$$G = 5 + \frac{80k\Omega}{470\Omega}$$

$$G = 175,21$$

Com a sensibilidade ajustada para o circuito, é possível, através da Equação 12 determinar a função de transferência teórica do sistema correspondente a um determinado peso aplicado sobre a célula:

$$V_o [V] = G * S' * \text{Peso (kg)} \quad (12)$$

$$V_o [V] = 175,21 * 0,36 \text{ mV/kg} * \text{Peso (kg)}$$

$$V_o [V] = 0,06307 \text{ V/kg}$$

Lembrando que o peso máximo suportado pela célula é de 50kg, logo a tensão máxima de saída do circuito é de aproximadamente 3,15V. Ficando abaixo dos 3,3V, suportados pelo microcontrolador.

### 3.4 MICROCONTROLADOR E MÓDULO ADC

A ideia inicial do projeto, seria a utilização do microcontrolador ESP32, já que este apresenta poder de processamento elevado, maior memória RAM para execução de programas, ADC de 12 bits, aumentando a resolução das leituras. Além de ser uma plataforma que já engloba módulo Wi-Fi para conexão com a internet e módulo Bluetooth. Sendo uma opção mais interessante que a versão mais inferior, o módulo ESP8266.

Porém, após leituras de artigos técnicos e alguns testes para confirmação, constatou-se que o conversor analógico-digital do ESP32 possui alguns aspectos que inviabilizam a utilização do mesmo para o projeto. Segundo Morais (2019), o ADC do ESP32 não é linear, e apresenta muitas variações nas leituras, além disso, cada ESP32 pode apresentar até 6 % de diferença nas leituras, boa parte devido à tensão de referência ( $V_{ref}$ ) do ADC apresentar grande variação.

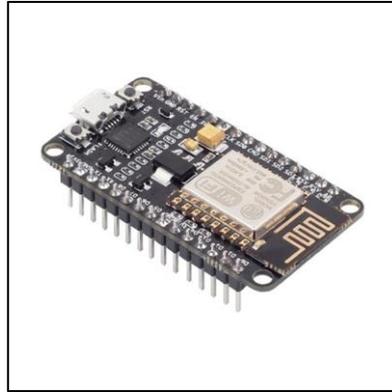
A não linearidade do ADC, inviabiliza a utilização de ferramentas para melhora nos resultados, como aproximações lineares e até mesmo retas de calibração. Por esse motivo, foi escolhido para o projeto o microcontrolador ESP8266, que possui modulo Wi-Fi para conexão com a internet, porém não apresenta módulo Bluetooth como o módulo ESP32. Outro ponto que levou a escolha do módulo para o projeto, foi a linearidade do conversor analógico-digital. Mesmo com 10 bits, o ADC apresenta uma confiabilidade e uma linearidade que favorece a aplicação de filtros digitais e ferramentas de linearização para obtenção de resultados mais precisos.

O módulo Wifi ESP8266 NodeMCU é uma placa de desenvolvimento que combina o chip ESP8266, uma interface USB-Serial e um regulador de tensão 3,3V. A programação pode ser feita usando LUA ou a IDE do Arduino, utilizando a comunicação via cabo micro-usb. O NodeMCU possui antena embutida e conector micro-usb para conexão ao computador, além de 11 pinos de I/O e conversor analógico-digital. Este módulo vem agora com o ESP-

12F, que mantém total compatibilidade com o ESP-12E e tem um aumento no alcance do sinal wireless entre 30% e 50%. (ESPRESSIF, 2019).

A Figura 26, mostra o módulo WiFi ESP8266 NodeMcu ESP-12.

Figura 26 - NodeMCU ESP8266



Fonte: ESPRESSIF (2019)

Utilizando o ADC do ESP8266, com uma tensão máxima de 3,3 volts, sendo a sua resolução de 10 bits, ou seja, tem-se aproximadamente 3,22 mV por bit.

$$\text{Sensibilidade} = \frac{\text{Tensão Máx}}{\text{Resolução}}$$

$$\text{Sensibilidade} = \frac{3,3}{2^{10}}$$

(13)

$$\text{Sensibilidade} = \frac{3,3}{1024} = 3,22 \text{ mV}$$

### 3.5 DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE

O firmware do projeto foi desenvolvido utilizando a IDE de programação do Arduino. Nele foram instanciadas as bibliotecas e funções necessárias para comunicação e funcionamento dos periféricos, além dos filtros digitais implementados, para melhoras na obtenção do resultado do peso.

O filtro digital utilizado no projeto, foi o filtro da média móvel, aplicado sob os valores de tensão lidos pelo ADC do microcontrolador. Segundo Pavan e Carneiro (2015), o

filtro de média móvel é aplicável em situações em que são detectados ruídos aleatórios de alta amplitude e curta duração, a fim de tornar o sinal mais uniforme.

Para obtenção de uma leitura de valor de peso aceitável, foi utilizado um período de amostragem de 12 ms entre as leituras do ADC e 10 leituras por amostra, assim cada amostra é o resultante da média móvel das 10 leituras anteriores.

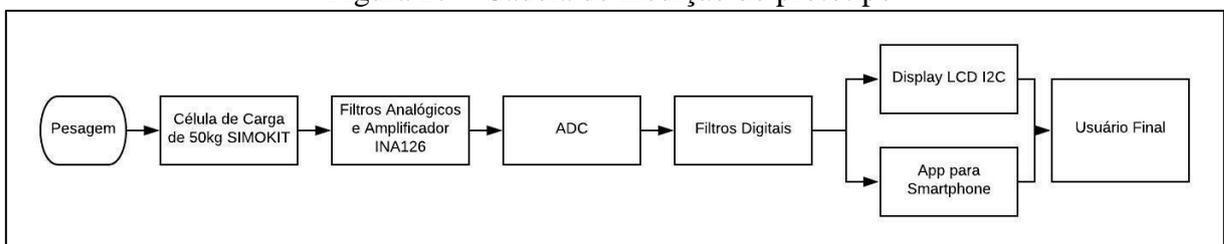
Para evitar interferências entre o módulo Wi-Fi e o ADC, foi criada uma rotina para execução do firmware, nessa rotina ao ligar o dispositivo, primeiramente o programa passa por uma etapa de inicialização, a fim de averiguar todos os periféricos conectados, após isso, o software fica alternando entre leitura do ADC, e conexão com o aplicativo via módulo Wi-Fi.

O programa foi desenvolvido de maneira que as leituras do conversor analógico digital não sofressem alterações nos valores, com o funcionamento simultâneo do módulo Wi-Fi. Já que, os dois operando simultaneamente, causam interferências entre si.

### 3.6 CADEIA DE MEDIÇÃO E CURVA DE CALIBRAÇÃO

A cadeia de medição é composta por um sensor/transdutor, um sistema de tratamento de sinal e um dispositivo mostrador ou indicador (ACC METROLOGIA, 2021). A Figura 27, demonstra a cadeia de medição do protótipo.

Figura 27 – Cadeia de medição do protótipo



Fonte: O autor, (2021).

A célula de carga tem capacidade de 50kg. Para obter a curva de calibração é necessário realizar medições com os pesos próximos com a faixa de operação real do sensor, no caso, valores próximos ou inferiores a 30kg. Partindo de que, a tara do botijão varia entre 14 e 15 quilogramas, e que o conteúdo de um P13 é de 13kg, podendo haver algumas variações no conteúdo.

Para obter a curva de calibração foram utilizados pesos de 1kg e 5kg, aferidos em uma balança de precisão, com selo do INMETRO. As Figuras 28 e 29, mostram os pesos utilizados, de 1 e 5 quilogramas respectivamente. Como não havia disponibilidade da quantidade necessária de pesos padrões para obtenção das medidas, o autor desenvolveu os seus próprios pesos padrões, utilizando recipientes de 1 litro e 5 litros, e completando-os com água, até obter o peso exato desejado.

Figura 28 - Peso respectivo de 1kg



Fonte: O autor, (2021).

Figura 29 - Peso respectivo de 5kg

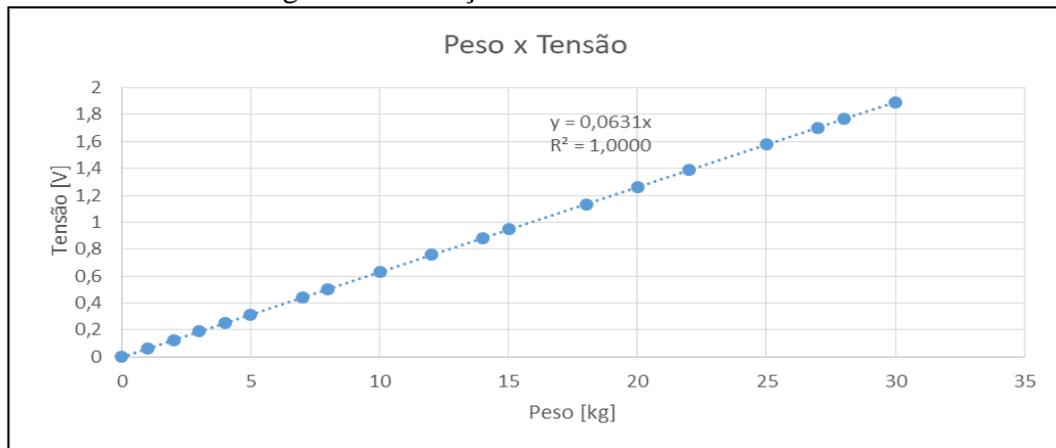


Fonte: O autor, (2021).

A fim de que a combinação desses pesos, resultem nos pesos desejados para obtenção da curva de calibração. Para cada peso da curva, foram obtidas, vinte medidas de tensão lidas diretamente do ADC, já convertida pelo microcontrolador. A Tabela com todos os dados referentes a curva de calibração, encontram-se no Apêndice A.

A função de transferência teórica, corresponde a  $V_{saída} = 0,06307 \text{ V/kg}$ , calculada anteriormente na sessão 3.3, sendo assim a Figura 30, demonstra o gráfico da função de transferência teórica.

Figura 30 – Função de transferência teórica



Fonte: O autor, (2021).

### 3.7 CARACTERIZAÇÃO DAS INCERTEZAS

As incertezas do sistema de medição podem ser determinadas a partir das incertezas dos resistores, do multímetro, do osciloscópio, dos instrumentos de calibração e das características físicas estruturais (fiação, ligações e soldas).

O circuito possui duas fontes de alimentação baseadas em reguladores lineares, e estes por natureza possuem uma incerteza associada na tensão de saída fornecida. Estes parâmetros podem ser encontrados no datasheet dos componentes. Esta incerteza por sua vez não tem influência importante neste projeto pois utiliza-se a função transferência experimental no sistema, em que estas incertezas já estão embutidas.

O conversor ADC do microcontrolador também é uma fonte de erro para a amostragem do valor final ao usuário, pois, deve-se ter em mente que para variação de 1 bit digital, temos variação 3,22mV na entrada ADC. Com isso, os valores intermediários de

tensão não são reconhecidos. Além disso, há incerteza nos cálculos feitos no processador gerados pela precisão de ponto flutuante do processador.

A célula de carga também é um fator que pode vir a fornecer erros, devido aos seus valores de resistência interna, que possuem tolerância em relação ao valor nominal.

Outra característica que interfere na medição é o próprio ambiente no qual a célula se encontra, pois, movimentos ou vibrações alteram a estabilidade mecânica do sistema, e a própria temperatura ambiente interfere nos valores de resistência dos elementos envolvidos. O multímetro utilizado para averiguação das tensões e offsets possui uma incerteza de 0,5% para tensões DC, com três dígitos significativos. A ficha técnica do multímetro de encontra no apêndice E.

Com isso, pode-se determinar a incerteza combinada da tensão de saída da célula de carga e também a incerteza total para o sistema convertida em quilogramas, através da Equação 14, pelo cálculo da incerteza combinada. Assim segundo Balbinot (2019), pode-se determinar o quanto uma pequena variação de cada uma das variáveis de entrada vão influenciar a saída, calculando assim incerteza mais provável da grandeza em função das incertezas de cada uma das variáveis, das quais a mesma é dependente.

$$u_c(y)^2 = \sum_k \frac{\partial y^2}{\partial x_k} * u_k^2 \quad (14)$$

Sendo:

$u_k$  : a incerteza padrão da variável  $x_k$ ;

$u_c(y)$  : a incerteza padrão combinada das entradas na saída;

A incerteza combinada da tensão de saída, depende dos pesos padrões os quais a incerteza é desconhecida, porém, pode haver diferença de +/- 1g, ou 0,1% correspondente a cada peso, da tensão de alimentação do circuito 9V +/- 5%, da corrente do circuito na qual desconhece-se a amplitude, e do amplificador INA126 de ganho 175,21 +/- 1%. A Equação 12, é a equação na qual foi realizado o cálculo das incertezas, já que a equação gera os resultados de tensão de saída do protótipo.

$$V_o [V] = \text{Ganho} * \frac{2\text{mV} * V_{in}}{50 \text{ kg}} * \text{Peso (kg)} \quad (12)$$

$$\text{Ganho} = 175,21 \text{ +/- } 0,5\%;$$

$$V_{in} = 9 \text{ V +/- } 5\%;$$

$$\text{Peso} = \text{variável +/- } 0,1\%;$$

A incerteza combinada total da tensão de saída após a amplificação representa 5,1% da tensão de saída, correspondente a cada peso padrão utilizado. Os cálculos e resultados da incerteza combinada podem ser observados, nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Incertezas Padrões

	Variável	Incerteza (%)	Incerteza Padrão
<b>Ganho</b>	175,21	1	1,7521
<b>Vin</b>	9	5	0,45
<b>Peso</b>	1	0,1	0,001
	5	0,1	0,005
	10	0,1	0,01
	15	0,1	0,015
	20	0,1	0,02
	25	0,1	0,025
	30	0,1	0,03

Fonte: O autor, (2021).

Tabela 5 – Cálculos para obtenção das incertezas combinadas

	1	5	10	15	20	25	30
<b>Derivada Parcial (Ganho)</b>	0,00036	0,0018	0,0036	0,0054	0,0072	0,009	0,0108
<b>Derivada Parcial (Vin)</b>	0,0070084	0,035042	0,070084	0,105126	0,140168	0,17521	0,210252
<b>Derivada Parcial (Peso)</b>	0,0630756	0,0630756	0,0630756	0,0630756	0,0630756	0,0630756	0,0630756
<b>Incerteza Combinada</b>	0,00321686	0,01608428	0,03216856	0,04825283	0,06433711	0,08042139	0,09650567
<b>Equação</b>	0,0630756	0,315378	0,630756	0,946134	1,261512	1,57689	1,892268
<b>Incerteza Tensão (%)</b>	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
<b>Peso Correspondente (g)</b>	51	255	510	765	1020	1275	1530

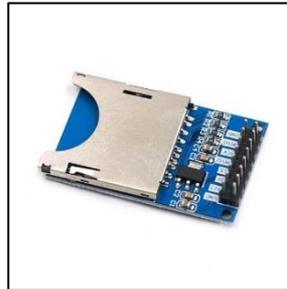
Fonte: O autor, (2021).

Analisando os dados obtidos, é possível observar que a incerteza varia linearmente com o peso, ou seja, aumentando o peso, aumenta a incerteza associada a ele. Mantendo a porcentagem de incerteza de 5,1% sobre o peso em questão.

### 3.8 CONEXÃO COM A REDE DE INTERNET

Para conexão com a rede de internet do hardware, é necessário que os dados estejam gravados em alguma memória a fim de serem acessados pelo microcontrolador. Para realização dessa função foi utilizado acoplado ao microcontrolador, um módulo Cartão SD. A Figura 31, demonstra o modelo do módulo utilizado.

Figura 31– Módulo Cartão SD Card



Fonte: ELETROGATE (2021)

Para acesso do protótipo, os dados da rede como SSID (nome de identificação da rede) e senha, ficam gravados em um arquivo .txt, em um formato previamente definido pelo autor.

### 3.9 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

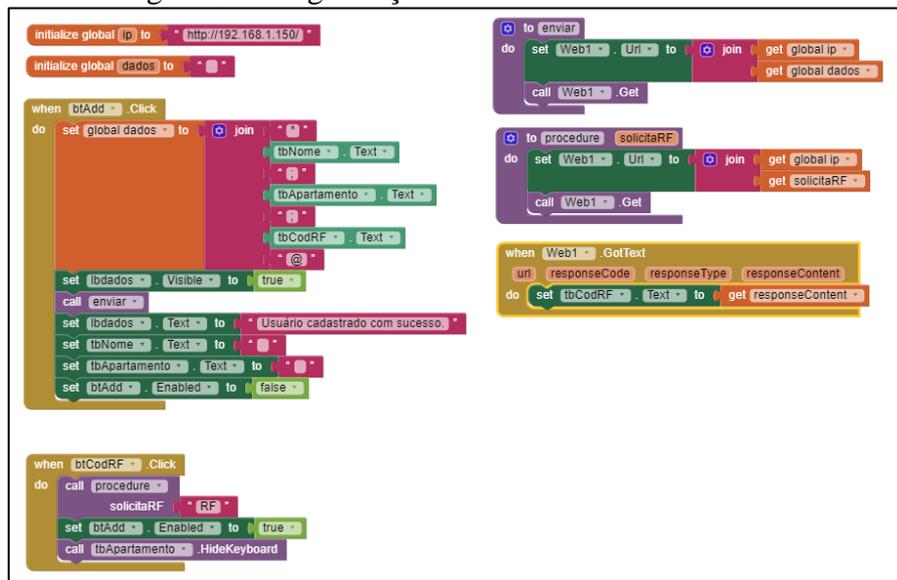
O aplicativo para smartphone para monitoramento remoto da quantidade de GLP foi elaborado com o uso da plataforma de desenvolvimento do MIT, APP Inventor. Para o acesso da plataforma, foi utilizada a conta de estudante da Universidade de Caxias do Sul. Com isso, todos os projetos desenvolvidos ficam salvos automaticamente.

A programação na plataforma é feita da seguinte maneira: primeiramente posiciona-se todos os objetos necessários como botões, caixas de textos, Figuras, ..., devidamente posicionados, nomeando-os da maneira desejada, que favoreça a sua identificação posteriormente. Após isso deve-se acessar a parte para programação em blocos da plataforma. Nessa parte é feita a programação e a interação entre os objetos inseridos anteriormente, além da comunicação com protocolos e demais atividades pertinentes ao funcionamento do projeto. Pode-se observar a programação em blocos conforme Figura 32.

Para comunicação e transmissão de dados entre o protótipo e o aplicativo foi utilizado o protocolo HTTP. Em uma comunicação utilizando o protocolo HTTP, necessita-se que tanto cliente, quanto servidor estejam conectados à rede de internet.

Primeiramente, inicia-se instanciando o servidor com o construtor WiFiServer no código fonte do microcontrolador. A porta padrão para o protocolo HTTP é a porta 80. Após isso define-se a rede que ele deve se conectar, fornecendo nome da rede e senha.

Figura 32- Programação em blocos do APP Inventor



Fonte: O autor, (2020).

Havendo sucesso na conexão entre servidor e cliente, o programa fica monitorando a cada iteração, se há alguma requisição solicitada pelo cliente, ou a necessidade de enviar uma resposta. Basicamente, os dados sobre a quantidade de GLP disponível no botijão, são enviados pelo hardware a cada período pré-estabelecido no momento de desenvolvimento do protótipo, e assim alimentando o aplicativo de monitoramento.

Após a confirmação e recebimento dos dados, o aplicativo efetua o devido tratamento dos dados, informando ao usuário as informações atualizadas sobre a situação do seu botijão.

A previsão de término do GLP no botijão, foi feita, com base no estudo de diversos órgãos controladores e reguladores do consumo de gás no país, como SindiGás. Segundo essas entidades, cada botijão de 13kg dura em média 226 horas de uso. Para cálculo da estimativa de dias, foi constatado, que cada botijão é utilizado em média, 3 horas por dia,

dependendo da quantidade de pessoas presentes na residência, da eficiência dos aparelhos domésticos e também da quantidade de refeições preparadas por dia.

Partindo da quantidade de dias de duração, estimados pelas informações acima, o software, informa a data de término do botijão a partir da data vigente. Para obtenção dessas informações, foi utilizado o protocolo NTP, segundo Rodrigues e Costa (2012), NTP é um protocolo que permite a sincronização dos relógios dos dispositivos de uma rede como servidores, estações de trabalho, roteadores e outros equipamentos a partir de referências de tempo confiáveis.

Assim é possível, obter informações precisas, como dia, mês, ano, hora, minuto e segundo. Lembrando que para o protocolo NTP operar de maneira correta é necessário informar o fuso horário referente ao meridiano de Greenwich, do local onde se encontra o protótipo.

### 3.10 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO

A validação do protótipo tem como objetivo, conferir os resultados de peso obtidos pelo projeto desenvolvido, com algum instrumento ou ferramenta de precisão que possua selo de calibração pelo INMETRO. O serviço de aferição de instrumentos de medição é realizado pelo órgão e deve ser contratado pela empresa solicitante, a fim de aferir o desempenho do seu produto. Utiliza-se pesos padrões averiguados pelo INMETRO, para realização desta atividade, em balanças comerciais.

Porém este serviço, incluindo obtenção de selo de qualidade e lacre, possui um valor elevado, determinado pelo órgão de aferição. Além disso, para calibração de um instrumento de medição o órgão exige que o produto seja fabricado por uma empresa registrada, fornecendo assim, lote do produto, número de série, data de fabricação entre outros fatores.

Partindo disso, a solução encontrada para validação dos resultados deste projeto, foi a utilização de uma balança comercial averiguada e aprovada pelo INMETRO, de mesma carga máxima que a balança do protótipo. A Figura 33, demonstra a balança Marte LS 50, com capacidade para 50kg utilizada para comparação dos valores e validação do projeto. Porém, para calibração dos pesos padrões foi utilizada a balança SARTORIUS PMA, conforme Figura 34.

Figura 33 - Balança Marte LS 50



Fonte: TopLab (2021)

Figura 34 - Balança SARTORIUS PMA



Fonte: SARTORIUS (2021)

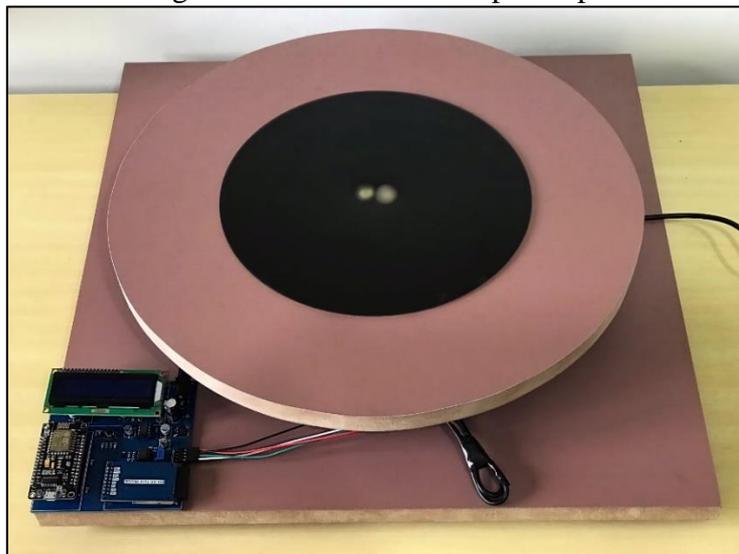
Com posse destes instrumentos, foi possível a comparação dos valores obtidos pelo protótipo e pela balança comercial. Diferenças de até 1% entre as medidas, são aceitáveis para este projeto.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 PLATAFORMA DO PROTÓTIPO

A plataforma é constituída, pelo circuito principal, placa de pesagem, célula de carga e condutores, placa de sustentação, isoladores e fonte de alimentação. O conjunto todo pesa aproximadamente 5,5kg, ocupando uma área de 0,2025 m<sup>2</sup>. Sendo necessário, para seu funcionamento adequado uma rede elétrica 127 V ou 220V. A Figura 35, demonstra a plataforma desenvolvida para o protótipo.

Figura 35 – Plataforma do protótipo



Fonte: O autor, (2021).

A acomodação da plataforma deve ser sob uma superfície ou solo nivelado e livre de imperfeições, lembrando que as vibrações, causam interferências na plataforma, assim como o vento. A plataforma foi projetada para suportar um botijão P13, ou seja, aproximadamente 30kg, porém foi constatado através de testes que a mesma suporta até 35kg sem apresentar deformações ou alterações na sua estrutura.

Conforme recomendado por Mettler Toledo (2019), garantiu-se que o sistema apresenta resultado de peso idênticos, mesmo o objeto estando em posições distintas da plataforma, deslocadas do centro da balança.

## 4.2 CIRCUITO DE AMPLIFICAÇÃO E CONDICONAMENTO

O circuito principal foi montado sobre uma placa de circuito impresso (PCB), garantindo a funcionalidade e a estética do projeto. Além disso, a PCB, evita problemas com má conexão de componentes e também a formação de correntes parasitas. A Figura 36, demonstra a placa do circuito principal. O desenho da placa para fabricação encontra-se no apêndice F.

Figura 36 - Placa do circuito principal



Fonte: O autor, (2021).

No circuito principal estão presentes, todos os reguladores para obtenção das tensões necessárias para funcionamento do projeto. Abaixo pode-se observar, os valores práticos obtidos na saída de cada regulador.

O regulador LM7809 foi utilizado para obtenção da tensão de operação da célula de carga, regula a tensão de entrada, para a tensão de 9V, conforme Figura 37, pode-se observar a tensão obtida pelo regulador.

Figura 37 - Resultado tensão de 9V



Fonte: O autor, (2021).

Conforme, informações do datasheet do fabricante *Unisonic Technologies*, a saída pode apresentar uma variação de  $\pm 5\%$ , ou seja, o valor de 9,10V está dentro dos resultados esperados para o regulador.

Outros reguladores utilizados foram o LM7805 para obtenção da tensão de 5V e o LM7833, para a tensão de 3.3V. Ambos apresentaram tensões de operações dentro da faixa de erro esperada, os resultados encontram-se na Figura 38.

Figura 38 - Resultado tensão de 5V/3.3V



Fonte: O autor, (2021).

Para alimentação do amplificador operacional, é necessária a utilização de alimentação simétrica, que favorece o aumento do range de tensão do amplificador e aumenta a resolução da saída. Para isso as tensões devem ser as mais idênticas possíveis. Já que qualquer diferença entre elas, interfere nas características do amplificador e conseqüentemente nos resultados. A Figura 39, mostra primeiramente a tensão simétrica positiva e posteriormente a tensão simétrica negativa, proveniente do regulador LM7660.

Figura 39- Tensão de alimentação simétrica – LM7660



Fonte: O autor, (2021).

Pode-se observar uma diferença de 0,109% entre as tensões. Comportamento esperado, já que segundo dados do fabricante, *TelCom Semiconductor*, a eficiência da conversão de tensão apresenta diferenças típicas em torno de 0,2%, entre a tensão de entrada e a tensão de saída.

#### 4.2.1 Função de Transferência Experimental – via Circuito Principal

Como visto anteriormente, nos processos metodológicos, a função de transferência tem papel fundamental, na obtenção de resultados confiáveis. Sendo assim, é possível extrai-la, diretamente da tensão de saída do amplificador de instrumentação, assim garantindo o funcionamento do sistema de amplificação analógico. Para obtenção da função de transferência experimental foi utilizado o multímetro DTG-101, medindo diretamente a tensão de saída do amplificador INA126, através dos pinos 6 e 5.

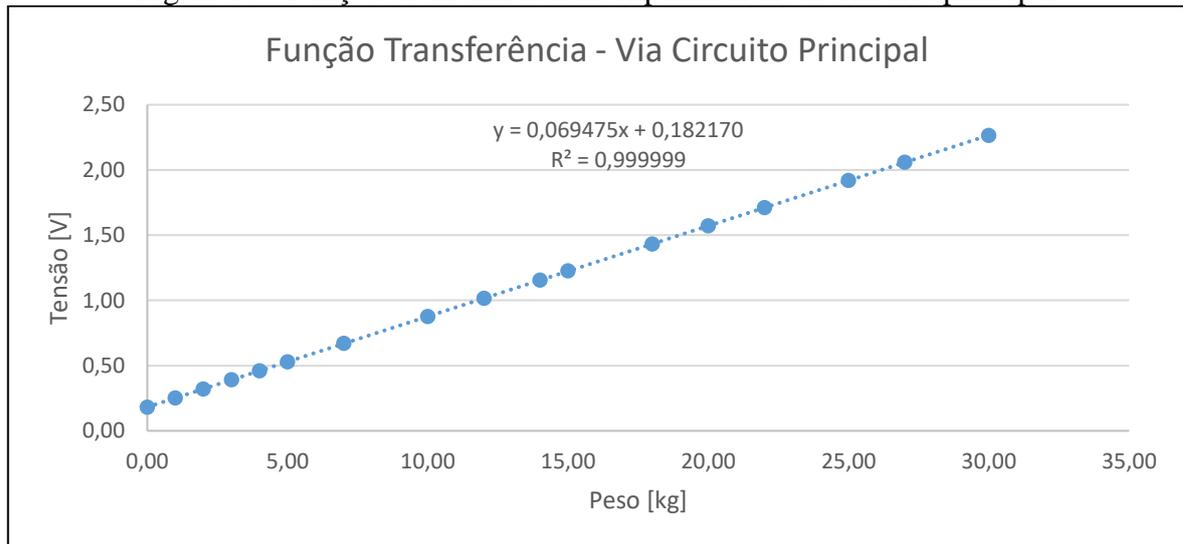
A Figura 40, mostra o gráfico da função de transferência, via circuito principal. A Tabela 6, traz os dados coletados para estimativa da função de transferência via circuito principal

Tabela 6 – Dados experimentais tensão de saída INA126

Peso (kg)	Tensão (V)
0	0,181
1	0,251
2	0,321
3	0,391
4	0,46
5	0,529
7	0,67
10	0,877
12	1,016
14	1,155
15	1,225
18	1,433
20	1,572
22	1,711
25	1,919
27	2,058
30	2,265

Fonte: O autor, (2021).

Figura 40 - Função de Transferência experimental via circuito principal



Fonte: O autor, (2021).

A aproximação linear dos dados acima, foi feita utilizando o método dos mínimos quadrados. Segundo Khan Academy (2021), o  $R^2$  informa que percentual é eliminado do erro de previsão na variável  $y$  quando se utiliza a regressão de mínimos quadrados sobre a variável  $x$ . Observando, a Figura 42 acima é possível observar a proximidade de  $R^2$ , do valor unitário. Isso garante que o modelo explica a variabilidade dos dados de resposta ao redor de sua média.

#### 4.3 COLETA DE DADOS VIA SOFTWARE

A coleta de dados via software é um processo criterioso no momento da elaboração de um instrumento de medição microcontrolado, já que nessa etapa ocorre a recepção e tratamento dos dados pelo algoritmo.

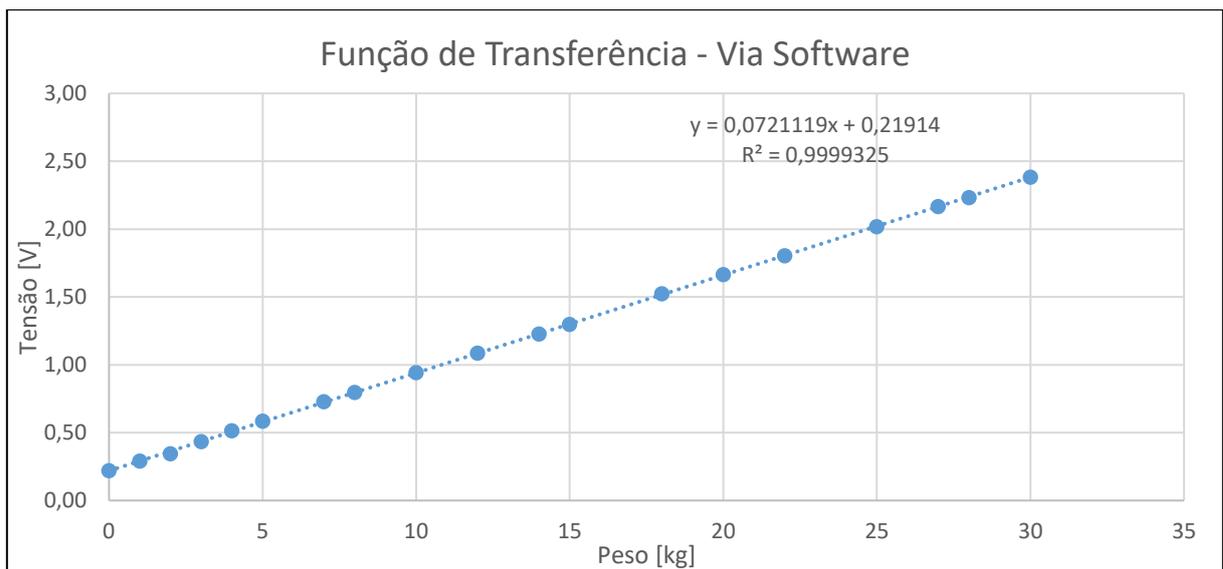
O microcontrolador utilizado para desempenhar esta função, como já mencionado anteriormente foi o NodeMCU-ESP8266. A aquisição dos dados, ocorre através da entrada analógica A0 da placa. Após, ocorre a conversão do sinal de tensão analógico para o valor digital correspondente de 0 a 1023, através do ADC interno de 10 bits.

O gráfico de dispersão apresentado na Figura 41, mostra a linha de tendência formada pela leitura dos pesos padrões. Juntamente com a linha de tendência é apresentada a equação que a descreve, ou seja, a função de transferência experimental do sistema. A curva de

calibração é uma reta com sensibilidade de 0,0721119 e termo independente de 0,21914, valor devido a estrutura de madeira na qual serve de sustentação para pesagem do botijão. O valor da dispersão dos pontos, conforme pode-se observar da equação de tendência ficou próximo de 1.

Sabe-se que a entrada do ADC é de 3,3V e 10 bits, significa que a resolução máxima é de  $3,3/1024 = 3,22$  mV por bit, devido a isso há influência no valor interpretado pelo ADC, causando pequenos erros nos valores de tensão lidos, e por consequência no peso calculado.

Figura 41- Função de transferência experimental



Fonte: O autor, (2021).

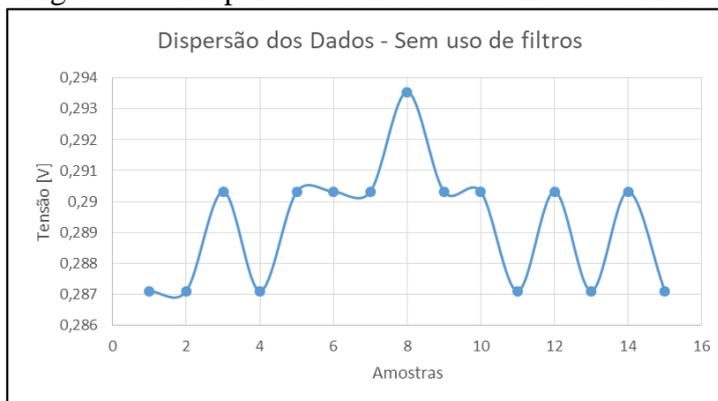
A Figura 42, traz a sequência de leituras do sinal de tensão do protótipo sem aplicação dos filtros. O código fonte completo do firmware, se encontra no apêndice B.

Figura 42 - Leituras sem filtros para 1kg



Fonte: O autor, (2021).

Figura 43 – Dispersão dos Dados – Sem uso de filtros



Fonte: O autor, (2021).

Tabela 7 – Dados estatísticos sem uso de filtros

<b>Amostras</b>	15
<b>Média</b>	0,289247
<b>Desvião Padrão</b>	0,001989

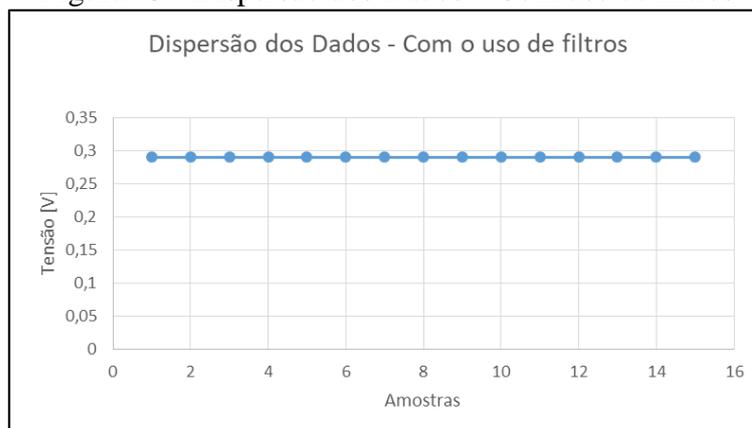
Fonte: O autor, (2021).

Figura 44 – Leituras com filtros para 1kg



Fonte: O autor, (2021).

Figura 45 - Dispersão dos Dados – Com uso de filtros



Fonte: O autor, (2021).

Tabela 8 - Dados estatísticos com uso de filtros

<b>Amostras</b>	15
<b>Média</b>	0,29004
<b>Desvião Padrão</b>	0

Fonte: O autor, (2021).

A Figura 43 e 45, mostram a dispersão das leituras, juntamente com a Tabela 7 e Tabela 8, trazendo dados estatísticos das amostras. Através desses dados, é possível observar a melhoria nos dados, de forma estatística. O desvio padrão nulo, relativo as amostras com uso de filtros na aquisição dos dados, confirma a eficiência do mesmo.

Observando a série de leituras, da tensão referente ao peso via ADC, pode se observar a variação nos valores das leituras. Aplicando o filtro de média móvel no software, observou-se uma melhora na qualidade das leituras, conforme Figura 44.

Segundo Smith (1999), a média móvel consiste em um filtro linear invariante no tempo (LIT), que possui resposta impulsiva finita e necessita de valores de entrada futuras. O filtro de média móvel tem como resultado uma média, que vai se alterando como o tempo, entre os valores do sinal em questão. A utilização do filtro auxilia na obtenção de melhores resultados em questão de precisão, e também em relação a interferências externas, evitando que vibrações ou leves toques no aparelho alterem a resposta do sistema, já que o amplificador operacional, detecta qualquer mudança na tensão vinda da célula de carga, amplificando para a saída.

Sabe-se que a sensibilidade do sistema é 3,22mV/bit, como visto anteriormente na Equação 13. A partir desse dado é possível explicar a deficiência observada na obtenção do peso, em relação a esse projeto. Levando em conta que o coeficiente angular da função de transferência é 0,072119, e o coeficiente linear é 0,21914, pode-se demonstrar numericamente a alteração nas medidas, devido ao uso de um ADC de baixa resolução. A demonstração é feita tendo base, o peso de 1kg, o mesmo utilizado para obtenção dos resultados referentes a utilização dos filtros.

$$Tensão\ saída = (Peso * coeficiente\ angular) + coeficiente\ linear \quad (15)$$

$$Tensão\ saída = (1 * 0,072119) + 0,21914$$

$$Tensão\ saída = 0,29126\ V$$

A tensão de 0,29126V seria a tensão exata para obtenção de 1kg segundo a função de transferência do sistema, lembrando que a função possui um  $R^2$  muito próximo do valor unitário.

Transformando esse valor, para o valor em bits, obtém-se:

$$\text{Valorbit} = \frac{\text{Tensão}}{\text{Sensibilidade}} \quad (16)$$

$$\text{Valorbit} = \frac{0,29126 \text{ V}}{3,22 \text{ mV/bit}}$$

$$\text{Valorbit} = 90,376 \text{ bit}$$

Porém sabe-se que bits, assumem somente valores inteiros, ou seja, nesse caso o sistema utiliza o arredondamento e a correspondência em bits para essa tensão assume o valor de 90. Utilizando novamente a Equação 16, pode-se determinar a tensão correspondente para o valor em bits.

$$90 = \frac{\text{Tensão}}{3,22 \text{ mV/bit}}$$

$$\text{Tensão} = 0,290039 \approx 0,29004 \text{ V}$$

Após os dados acima, pode se observar que a resolução do ADC interfere nas medidas, mesmo o sistema de amplificação apresentando uma resposta exata. Com a tensão obtida na Figura 45, é possível estimar o peso obtido pelo protótipo para 1kg. Isolando a Equação 15, pode-se determinar o peso resultante.

$$\text{Peso} = \frac{\text{Tensão} - \text{coeficiente linear}}{\text{coeficiente angular}}$$

$$\text{Peso} = \frac{0,29004 - 0,21914}{0,072119}$$

$$\text{Peso} = 0,983 \text{ kg} = 983 \text{ g}$$

Considerando o resultado obtido, pode-se determinar o erro resultante, conforme Equação 17.

$$\text{erro}_{\%} = \frac{\text{experimental} - \text{exato}}{\text{exato}} * 100 \quad (17)$$

$$erro_{\%} = \frac{0,983 - 1,00}{1,00} * 100$$

$$erro_{\%} = -1,7\%$$

Conforme mencionado na sessão 3.10, diferenças de até 1% são aceitáveis para este projeto. Para o peso de 1kg, a diferença ficou acima do esperado, porém lembrando que 1kg, é um valor fora da faixa de trabalho do projeto. A Figura 46, comprova os dados acima.

Figura 46 – Resultado para medida de 1kg



Fonte: O autor, (2021).

Em contrapartida, para medições de 3kg, o resultado foi exato, mesmo sendo um valor fora da faixa de trabalho do projeto, a Figura 47, traz o resultado obtido.

Figura 47 - Resultado para medida de 3kg



Fonte: O autor, (2021).

Pode-se observar, aplicando o mesmo método que foi aplicado para 1kg, que a aproximação do ADC, interfere no resultado referente a cada peso.

$$Tensão\ saída_{3kg} = 0,435373\ V$$

$$Valor_{bit} = 134,93\ bit = 135$$

$$135 = \frac{Tensão_{3kg}}{3,22\ mV/bit}$$

$$Tensão_{3kg} = 0,435058 \approx 0,43506\ V$$

O valor de tensão encontrado referente a saída do ADC 0,43506V é o mesmo, encontrado no Apêndice A, referente ao peso de 3kg.

#### 4.4 OBTENÇÃO DO PESO DO BOTIJÃO

A obtenção e visualização do peso correto do botijão no protótipo com certeza, é uma parte com relevância do projeto. O peso do botijão foi calculado, utilizando os parâmetros da função transferência, obtida através dos pesos da cadeia de medição e da curva de calibração. Lembrando que a função de transferência utilizada é de caráter linear, e possui coeficiente angular e linear, conforme equações de primeiro grau do tipo  $y = ax + b$ , sendo  $a$  o coeficiente angular e  $b$  o coeficiente linear.

$$Coeficiente\ angular = 0,0721119$$

$$Coeficiente\ linear = 0,21914$$

Lembrando que o coeficiente linear, é proveniente da base utilizada para sustentação do botijão sobre a célula de carga.

O peso do botijão é informado ao usuário via display LCD, ou via aplicativo para smartphone, ambos mostram o peso em quilogramas, com duas casas significativas.

#### 4.4.1 Funcionamento da Tara

O processo de tara da balança acontece através do botão presente na placa. Ao pressionar o botão, o sistema realiza a tara da balança e atribui como novo valor de tara, o peso anterior. Conforme Figura 48.

O botão de tara possui ainda mais uma funcionalidade, ao pressionar o botão por 1,2s, o sistema zera a tara, aguarda 2,5s e então reinicia o funcionamento do protótipo. Lembrando que a tara do botijão é informada via aplicativo para smartphone, ao conectar o dispositivo com o protótipo.

Figura 48 – Processo de tara do protótipo



Fonte: O autor, (2021).

#### 4.4.2 Residual dos botijões P13

Sabe-se que os botijões são descartados, com uma pequena quantidade de GLP no seu interior. Afim de tomar conhecimento desse percentual, foi realizado um levantamento de dados com 25 botijões de gás modelo P13. Esses botijões encontravam-se em uma distribuidora, e já tinham sido utilizados, porém o intuito do levantamento foi identificar, a quantidade de gás ainda presente nos mesmos, para após constituir e justificar a eficiência do protótipo.

A Tabela com os valores de tara e o peso de cada botijão vazio encontram-se no Apêndice C.

Inicialmente do conjunto de dados, extraiu-se a média de cada variável, o desvio padrão sobre as medidas em torno da média, e definiu-se também os limites superiores e inferiores de cada dado, com um intervalo de confiança de 95% sobre a média. Os valores encontram-se na Tabela 9. O software utilizado para levantamento dos dados foi o *IBM SPSS Statistics* versão 21.

Tabela 9 – Dados sobre residual dos botijões

<b>Botijão Vazio</b>	<b>Média</b>	14,7001
	<b>Intervalo de Confiança - Limite Inferior</b>	14,4871
	<b>Intervalo de Confiança - Limite Superior</b>	14,9133
	<b>Desvio Padrão</b>	0,51634
<b>Tara</b>	<b>Média</b>	14,5724
	<b>Intervalo de Confiança - Limite Inferior</b>	14,3753
	<b>Intervalo de Confiança - Limite Superior</b>	14,7695
	<b>Desvio Padrão</b>	0,51634

Fonte: O autor, (2021).

Após análise dos dados é possível identificar a porcentagem de gás em relação a tara que permanece dentro dos botijões.

Analisando o limite inferior do intervalo, encontrou-se:

$$\%GLP = \frac{BotijãoVazio_{Inferior} - Tara_{Inferior}}{Tara_{Inferior}} * 100 \quad (18)$$

$$\%GLP = \frac{14,48 - 14,37}{14,37} * 100$$

$$\%GLP = 0,76\%$$

Analisando o limite superior do intervalo, encontrou-se:

$$\%GLP = \frac{BotijãoVazio_{Superior} - Tara_{Superior}}{Tara_{Superior}} * 100$$

$$\%GLP = \frac{14,91 - 14,76}{14,76} * 100$$

$$\%GLP = 1,01\%$$

E analisando a média dos dados, encontrou-se:

$$\%GLP = \frac{Botij\tilde{a}oVazio_{M\acute{e}dia} - Tara_{M\acute{e}dia}}{Tara_{M\acute{e}dia}} * 100$$

$$\%GLP = \frac{14,70 - 14,57}{14,57} * 100$$

$$\%GLP = 0,9\%$$

É possível estimar que permanece 1% de GLP em relação ao peso da tara do botijão. Ou seja, em um botijão com uma tara de 15kg, provavelmente ao término do uso do mesmo, ainda restará 150 gramas de GLP no interior do botijão.

Esse residual ocorre por diversos fatores, dentre eles, temperatura que o botijão está exposto, acondicionamento e até mesmo pela válvula de saída do botijão apresentar algum defeito. Vale ressaltar que algumas revendedoras de gás, praticam a política de ressarcir o consumidor, com o residual de cada botijão na compra seguinte. Porém segundo o presidente Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo, Sérgio Bandeira de Mello (2009), pondera que a perda residual em embalagens ocorre com todo tipo de produto, e não apenas com o gás de cozinha. O gás sai por pressão própria, então é impossível que saia 100%. O mesmo ocorre com a pasta de dente, com o óleo de cozinha, com tantos outros produtos.

#### 4.4.3 Comparação dos resultados encontrados e incertezas do sistema

Para averiguação completa do sistema, foi comparado o peso de um botijão novo obtido via protótipo, e também via balança de precisão calibrada com selo do INMETRO. As Figuras 49 e 50 mostram respectivamente, o peso do botijão via protótipo e o peso obtido através da balança certificada MARTE LS 50.

Figura 49 – Peso botijão via protótipo



Fonte: O autor, (2021).

Figura 50 – Peso botijão via balança



Fonte: O autor, (2021).

A tara do botijão utilizado para averiguação do peso é de 15kg, então pode-se afirmar que o botijão contém apenas 12,922kg de GLP e não os 13kg, conforme vendido pelo distribuidor. Esse é um ponto interessante do protótipo, possibilita o consumidor averiguar o botijão que comprou, verificando o peso do mesmo, e assim evitando fraudes por parte das distribuidoras e revendedoras, conforme reportagem de Martins (2019).

Com posse dos resultados finais, é possível estimar a precisão do sistema. A incerteza para o botijão novo, foi calculada conforme Equação 19.

$$erro_{\%} = \frac{experimental - exato}{exato} * 100 \quad (19)$$

$$erro_{\%} = \frac{27,900 - 27,922}{27,922} * 100$$

$$erro_{\%} = -0,078\%$$

A diferença entre as medidas representou um erro de 0,078%. Porém, o sistema não trabalha somente com essa faixa de valores, o protótipo tem uma faixa de operação em torno de 15kg até 29kg, apresentando diversas variações de medidas nessa faixa, como a diferença para 15kg, segundo Figura 51.

Figura 51 – Peso referente a 15kg



Fonte: O autor, (2021).

$$erro_{\%} = \frac{experimental - exato}{exato} * 100 \quad (19)$$

$$erro_{\%} = \frac{14,970 - 15,000}{15,000} * 100$$

$$erro_{\%} = -0,2\%$$

Pode-se concluir que a precisão do sistema de pesagem é de 0,5% referente ao peso medido, para faixa de operação entre 15kg e 30kg.

#### 4.5 COMUNICAÇÃO E INTERFACE DO APLICATIVO

O aplicativo desenvolvido via plataforma MIT AppInventor, teve como objetivo principal a funcionalidade ao usuário e praticidade de uso. O aplicativo pode ser instalado em um *smartphone* qualquer, seja ele Android ou IOS. O nome do aplicativo é SmartGLP, versão 1.0.

Vale ressaltar que, o hardware alterna sua rotina de funcionamento, primeiramente ao ligar o protótipo na tomada, ele passa por um processo de inicialização, posterior a isso o software foi desenvolvido com o intuito de ficar alternando entre pesagem e conexão com o hardware, para evitar que o funcionamento do módulo Wi-Fi, não interfira nas leituras do ADC.

A Figura 52 mostra a tela inicial do aplicativo.

Figura 52 – Tela inicial do aplicativo



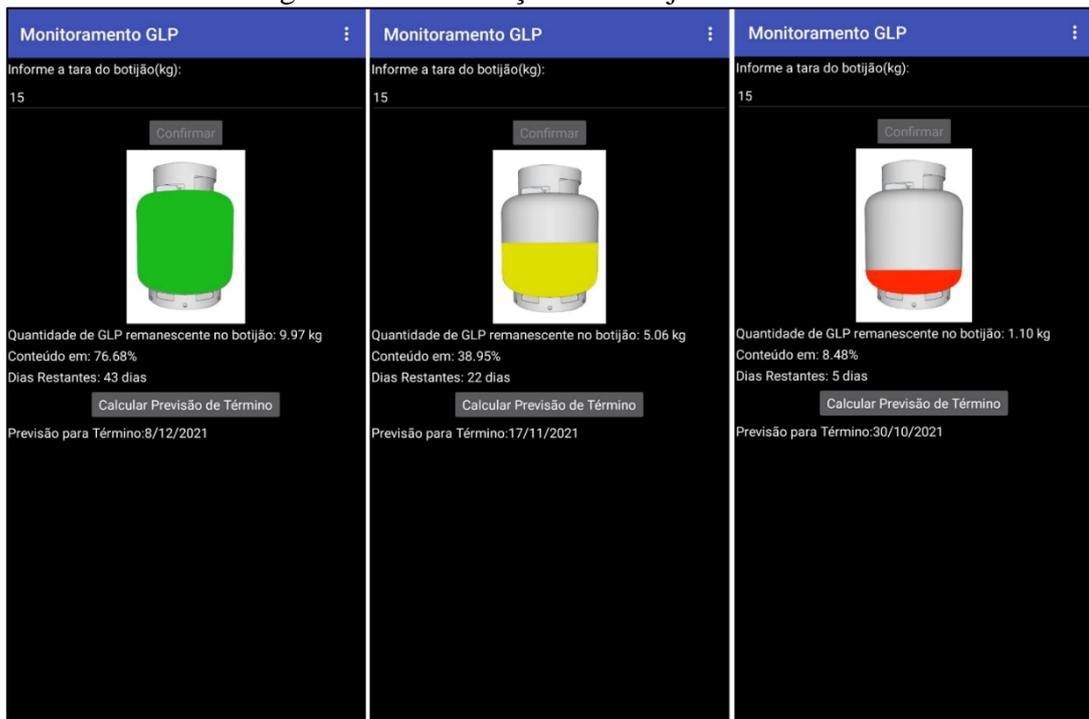
Fonte: O autor, (2021).

O funcionamento da pesagem pode ser identificado quando o LED verde estiver aceso, ao passo que quando ele estiver desligado, o protótipo está comunicando com o aplicativo, via protocolo HTTP. A duração de cada estágio dura aproximadamente 8 segundos

Já o LED vermelho ficará aceso somente quando o sistema estiver operando com um botijão, informando a tara do mesmo para o sistema, e a quantidade de GLP inferior a 1,5kg.

Após iniciar a conexão com o hardware, o usuário deve informar a tara do botijão, após isso, o aplicativo fica disponível para informar ao usuário a situação do botijão. Clicando sobre a Figura do botijão de gás, presente na tela posterior a de inicialização, o usuário pode-se deparar com 3 situações, mostradas na Figura 53 a seguir.

Figura 53 – Informações do botijão ao usuário



Fonte: O autor, (2021).

A tara do botijão é encontrada no corpo do mesmo, situada na parte superior do botijão, na alça de carregamento. A Figura 54, mostra onde fica localizada a tara.

Figura 54 – Tara do botijão



Fonte: O autor, (2021).

A primeira situação, mostra ao usuário um botijão com conteúdo entre 100% e 50%. A segunda situação informa ao usuário que o conteúdo está entre 50% e 10%. E a terceira situação, apresenta um botijão com conteúdo inferior a 10%, próximo do término do conteúdo.

Pode-se observar conforme Figura 53, que é informado ao usuário também a quantidade de GLP restante, o percentual do botijão e também os dias restantes, além da previsão de término.

#### **4.5.1 Previsão de Término**

A previsão de término, como mencionado na sessão 3.9, foi elaborada com base que um botijão em média possui 226 horas de uso. Para calcular a quantidade de dias restantes foi considerado o uso do botijão, em média de 3 horas por dia. Os testes da Figura 53, foram realizados no dia 26/10/2021, sendo assim, para elaboração da data de término, o software considera a data vigente e soma a ela os dias restantes, resultantes da quantidade de GLP presente.

Lembrando que a previsão pode variar segundo algumas variáveis como quantidade de vezes por dia que o botijão é utilizado e também quantos e qual tipo de aparelho ele abastece.

## 5 CONCLUSÃO

Com o aumento da quantidade de dispositivos que vem utilizando a tecnologia IoT, foi proposto um projeto com intuito de monitorar o consumo de gases envasados para fins residenciais. Este trabalho apresentou uma proposta para aumento da praticidade e comodidade aos usuários de botijão de gás. O sistema consiste num protótipo composto por uma balança de precisão, em conjunto com um aplicativo para smartphone que expõe os dados importantes aos usuários em relação à utilização e duração do seu botijão de gás.

O intuito da realização deste protótipo foi introduzir no cotidiano, dispositivos construídos com auxílio de ferramentas tecnológicas, que pudessem de maneira simples e prática, eliminar problemas relacionados ao término do botijão de gás.

O projeto foi concluído na sua totalidade, passando por alguns testes e validações metrológicas. Para a pesagem de valores na faixa entre um botijão P13 cheio e um vazio, o sistema apresentou erro de +/- 0,5%, ou seja, erro de medição de no máximo 150 gramas. Viabilizando a utilização do mesmo para aplicações no cotidiano. Para execução e término do protótipo, foram utilizados vários conhecimentos adquiridos nas disciplinas do curso.

A etapa que demandou maior esforço e conhecimento foi a parte do circuito de amplificação e aquisição dos dados por parte do microcontrolador. Já que foram utilizadas várias estratégias de tratamento e filtragem de sinal, como capacitores para eliminar ruídos de frequência, resistores de precisão para amplificação com erro reduzido e também filtros de tratamento de sinal via software, para garantir o resultado de peso desejado. Para obter um resultado de peso com uma maior precisão, deve ser utilizado um ADC de maior resolução.

O projeto se assemelha ao sistema desenvolvido por Dal Ponte (2018), mantendo algumas características como plataforma de pesagem e monitoramento via aplicativo para smartphone, porém se distinguindo em alguns pontos como melhora na precisão do sistema de pesagem e também na questão de alimentação do protótipo, realizada por Dal Ponte (2018), através de uma bateria de 5V.

Este projeto abre a possibilidade de melhorias e continuidade do protótipo com o intuito de venda e utilização comercial e residencial em larga escala, já que se trata de um produto com funcionalidade e demanda comercial.

## 6 PROJETOS FUTUROS

Para elaboração de versões futuras comerciais do projeto é interessante a observação de alguns pontos de melhoria. O primeiro é a utilização de um ADC de maior resolução, como 24 bits, garantindo a qualidade na obtenção do peso. Vale ressaltar que para isso deve ser utilizado um ADC externo ao microcontrolador, como o ADS1220.

Outro ponto importante, é a elaboração de uma previsão de término do botijão seguindo padrão de consumo e utilização do mesmo. Essa modificação agregaria a utilização de inteligência artificial no protótipo e também reconhecimento de padrões. A previsão elaborada desta maneira, agregaria mais profissionalmente ao projeto e também assemelharia a uma situação de uso real.

A escolha do tipo de botijão utilizado também pode ser considerada para projetos futuros. Assim o protótipo, pode ser utilizado com os principais tipos de botijões de gás presentes no mercado, como o P5, P8, P13 e o P45, sendo esse último, necessário uma modificação no tipo de célula de carga utilizada, já que o peso de um botijão P45 cheio, ultrapassa os 50kg.

Outra modificação pertinente seria, a implantação de um aviso sonoro para alertar o término do botijão, assim mesmo o aplicativo emitindo o aviso via smartphone, ainda é possível detectar o término do botijão somente via hardware, sem ter que ir até o local do botijão.

Outro ponto interessante para o próximo projeto, seria analisar a economia de energia, colocando o projeto em stand-by, durante intervalos de tempo.

O projeto em si possui uma grande aplicabilidade no cotidiano, porém o preço final é algo decisivo para aprovação no mercado, ou seja, um preço competitivo é fundamental para obter sucesso na comercialização do mesmo.

## REFERÊNCIAS

- ACC. **Entenda como funciona a cadeia de medição.** ACC METROLOGIA – Calibração, 2021. Disponível em: < <https://accmetrologia.com.br/entenda-como-funciona-a-cadeia-de-medicao/> >. Acesso em: 18 out. 2021.
- ADMINISTRATOR. **Basics of Microcontrollers – History, Structure and Applications.** Eletronics Hub, 2017. Disponível em: < <https://www.electronicshub.org/microcontrollers-basics-structure-applications/> >. Acesso em: 18 mai. 2021.
- AFONSO, Júlio Carlos; DA SILVA, Raquel Medeiros. **A evolução da balança analítica.** Scielo Brasil, 2004. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/qn/a/HBdsFxpD4G7RsYKZymbsf9d/?lang=pt#articleSection1> >. Acesso em: 02 mai. 2021.
- AMARAL, Haroldo. **Amplificador de Instrumentação com Amplificador Operacional.** Embarcados, 2015. Disponível em: < <https://www.embarcados.com.br/amplificador-de-instrumentacao/> >. Acesso em: 22 mai. 2021.
- AMATO, Fábio. **Consumo do gás de cozinha cresceu 23% com crise do coronavírus.** G1, 2020. Disponível em: < <https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/04/08/consumo-de-gas-de-cozinha-cresceu-23percent-com-crise-do-coronavirus-diz-governo.ghtml> >. Acesso em: 11 abr. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8460:2020:** Recipientes Transportáveis de aço para gás liquefeito de petróleo (GLP) - Requisitos e métodos de ensaio. 4 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2020. 39 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8865:2020:** Recipientes transportáveis de aço para gás liquefeito de petróleo (GLP) - Requalificação - Requisitos. 4 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2020. 19 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8866:2015:** Recipientes transportáveis para gás liquefeito de petróleo (GLP) — Seleção visual das condições de uso nas bases de envasamento. 5 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2015. 3 p.
- AUTOCOMP. **Como escolher o microcontrolador certo para o seu projeto?** Grupo AutoComp, 2019. Disponível em: < <http://grupoautcomp.com.br/nao-categorizado/como-escolher-o-microcontrolador-certo-para-o-seu-projeto/> >. Acesso em: 18 mai. 2021.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas - Vol. 2**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2019. 9788521635888. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635888/>. Acesso em: 06 mai. 2021.

BHATI, Abhishek; HANSEN, Michael; CHAN, Ching Man. **Energy conservation through smart homes in a smart city: a lesson for Singapore households**. Elsevier: Energy Policy, Singapore, v. 104, n. 8, p. 230-239, maio 2017.

CARDOSO, Matheus. **O que é um Microcontrolador?** IEEE RAS UFCG, Capítulo Estudantil de Robótica e Automação, 2020. Disponível em: < <https://edu.ieee.org/br-ufcgras/o-que-e-um-microcontrolador/> >. Acesso em: 18 mai. 2021.

COPAGAZ. **Tipos de botijão de gás: escolha o certo para seu negócio**. Copagaz, 2021. Disponível em: < <https://copagaz.com.br/blog/tipos-de-botijao-de-gas/> >. Acesso em: 11 abr. 2021.

CORDEIRO, Fillipe. **App Inventor: Guia de Criação de Apps**. AndroidPro, 2017. Disponível em: < <https://www.androidpro.com.br/blog/desenvolvimento-android/app-inventor/> >. Acesso em: 26 mai. 2021.

CROSBY. **What is a load cell?** Crosby SP, 2019. Disponível em: < <https://www.straightpoint.com/what-is-a-load-cell.html> >. Acesso em: 16 mai. 2021.

DAL PONTE, Gabriel Buligon. **Desenvolvimento de sistema de monitoramento remoto de consumo de gás envasado utilizando tecnologia iot**. 2018. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Tecnológico, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: < <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/348/GABRIEL%20BULIGON%20DAL%20PONTE%20-%20TCC.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 26 mai. 2021.

DEWESOFT. **O que é o Conversor ADC?** DEWESoft, 2020. Disponível em: < <https://dewesoft.com/br/aquisicao-de-dados/o-que-e-conversor-adc> >. Acesso em: 18 mai. 2021.

DORNELES, Ricardo Vargas. **Introdução ao NodeMCU**. UCS – AUT0246 – Tópicos Especiais em Controle e Automação I, 2020. Disponível em: < <https://ava.ucs.br/courses/1173/files?preview=325717> >. Acesso em: 01 jun. 2021.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2018**. Empresa de Pesquisa Energética, 2018. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018> >. Acesso em: 25 abr. 2021.

EPUSP. **Laboratório de instrumentação elétrica**. PSI-EPUSP – Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, 2017. Disponível em: < [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4116701/mod\\_resource/content/2/Exp%2003%20%20Introdu%C3%A7%C3%A3o%20Te%C3%B3rica%20%20Ponte%20de%20Wheatstone%20v%202017.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4116701/mod_resource/content/2/Exp%2003%20%20Introdu%C3%A7%C3%A3o%20Te%C3%B3rica%20%20Ponte%20de%20Wheatstone%20v%202017.pdf) >. Acesso em: 22 mai.2021.

EXAME. **Um em cada cinco botijões de gás vendidos no país é irregular**. Exame, 2010. Disponível em: < <https://exame.com/brasil/cada-cinco-botijoes-gas-vendidos-pais-irregular-597986/> >. Acesso em: 11 abr. 2021.

FERNANDES, Natalia. **O que é o protocolo MQTT**. HI Tecnologia, 2021. Disponível em: < <https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-e-protocolo-mqtt/> >. Acesso em: 26 mai. 2021.

FLINTEC. **CC1W... A Primeira Célula De Carga Sem Fio Totalmente Aprovada**. Flintec, 2021. Disponível em: < <https://www.flintec.com/br/news/cc1w-a-primeira-c%C3%A9lula-de-carga-sem-fio-totalmente-aprovada> >. Acesso em 16 mai. 2021.

FLINTEC. **PC1 single point load cell – Datasheet**. Flintec, 2021. Disponível em: < <https://www.flintec.com/media/downloads/pc1-single-point-datasheet-en.pdf> >. Acesso em: 16 mai. 2021.

GONÇALVES, Felipe Gabardo et al. **Frequência de operação de microcontroladores comerciais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METROLOGIA, 8., 2015, Bento Gonçalves. **Anais do Metrologia 2015**. Bento Gonçalves: Científica, 2015. p. 1-4. Disponível em:< <http://bom.org.br:8080/jspui/bitstream/2050011876/337/1/vicente-machado-neto%2864%29.pdf> >. Acesso em: 18 mai. 2021.

HBM. **Ponte de Wheatstone baseada em strain gauges - Por que uma configuração de fator de gauge exata é tão importante**. HBM, 2019. Disponível em: < <https://www.hbm.com/pt/7942/desvio-do-fator-de-gauge/> >. Acesso em: 05 mai. 2021.

HBM. **Tecnologia de Pesagem Digital na Indústria Alimentícia**. HBM, 2019. Disponível em: < <https://www.hbm.com/pt/6220/artigo-tecnico-tecnologia-digital-de-pesagem-na-industria-alimenticia/> >. Acesso em: 03 mai. 2021.

KANNENBERG, Vanessa; SCARTON, Suzy. **Governo retoma cogestão, mas amplia suspensão de atividades para fins de semana e feriados.** GovRS, 2021. Disponível em: <<https://estado.rs.gov.br/governo-retoma-cogestao-mas-amplia-suspensao-de-atividades-para-os-fins-de-semana-e-feriados>>. Acesso em: 11 abr. 2021.

KHAN ACADEMY. **Raciocínio para o  $R^2$ .** Khan Academy, 2021. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/math/ap-statistics/bivariate-data-ap/assessing-fit-least-squares-regression/a/r-squared-intuition>>. Acesso em: 18 out. 2021.

KISTLER-MORSE. **O que é uma célula de carga?** Kistler-Morse, 2020. Disponível em: <<https://www.kistlermorse.com.br/post/c%C3%A9lula-de-carga-o-que-e#:~:text=Esses%20circuitos%2C%20chamados%20de%20pontes,%2C%20portanto%2C%20uma%20ampla%20aplica%C3%A7%C3%A3o.&text=Desde%20ent%C3%A3o%2C%20esse%20dispositivo%20se,e%20outros%20equipamentos%20de%20medi%C3%A7%C3%A3o.>>. Acesso em: 12 mai. 2021.

KITCHIN, Charles; COUNTS, Lew. **A designer's guide to instrumentation amplifiers.** 3ª ed. Analog Devices, 2006. p. 18-24. Disponível em: <<https://www.analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/designers-guide-instrument-amps-complete.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2021.

KOTZ, John C. et al. **Química Geral e Reações Químicas - Volume 1 - Tradução da 9ª edição norte-americana.** Cengage Learning Brasil, 2016. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522118281/>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

LIQUIGÁS. **Manual de segurança para consumidores de GLP.** Liquigás, 2008. Disponível em: <[https://www.liquigas.com.br/wps/portal!/ut/p/z0/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8zivf0MjIw83I0MDFzcjAyMgoICLAM9XAYdXU30C7IdFQFBZkiZ/p0/IZ7\\_KN022HG200VI40270TOD3A1O67=CZ6\\_KN022HG200DF202RRP9QHD1CE4=MECTX!QCPWebQCAContentQCPLiquigasQCPMenuQCPProdutosQCAeQCAServicosQCPBotijosQCAparaQCAresidenciasQCPDicasQCAdeQCASegurancaQCP==/](https://www.liquigas.com.br/wps/portal!/ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8zivf0MjIw83I0MDFzcjAyMgoICLAM9XAYdXU30C7IdFQFBZkiZ/p0/IZ7_KN022HG200VI40270TOD3A1O67=CZ6_KN022HG200DF202RRP9QHD1CE4=MECTX!QCPWebQCAContentQCPLiquigasQCPMenuQCPProdutosQCAeQCAServicosQCPBotijosQCAparaQCAresidenciasQCPDicasQCAdeQCASegurancaQCP==/)>. Acesso em: 27 abr. 2021.

MARCELINO, Mateus et al. **Aplicação da ponte de wheatstone com extensômetros elétricos: instrumentação de um link para medições das forças de tração e compressão.** Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000128, 07/08/2018.

Disponível em: < <https://semanaacademica.com.br/artigo/aplicacao-da-ponte-de-wheatstone-com-extensometros-eletricos-instrumentacao-de-um-link-para> >. Acesso em: 10 mai. 2021.

MARTINS, Marcos. **Consumidor denuncia compra de gás de cozinha com peso alterado.** FolhaBV, Editoria de Cidades, 2019. Disponível em: < <https://folhadv.com.br/noticia/CIDADES/Capital/Consumidor-denuncia-compra-de-gas-de-cozinha-com-peso-alterado/56783> >. Acesso em: 26 out. 2021.

MDN. **Uma visão geral do HTTP.** MDN Web Docs, 2021. Disponível em: < <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTTP/Overview> >. Acesso em 10 jun. 2021.

MEDEIROS, Gabriel Vitor da Silva; SANTOS, Matheus Ricardo dos. **Smartgás: uma plataforma inteligente para monitoramento de gás de cozinha.** 2017. 48 f. Relatório de Prática Profissional - Curso de Técnico em Informática Para Internet. Centro Tecnológico, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: < <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1441/SmartG%C3%A1s%20uma%20plataforma%20inteligente%20para%20monitoramento%20de%20g%C3%A1s%20de%20cozinha.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 26 mai. 2021.

METTLER TOLEDO. **Célula de Carga e Módulo de Pesagem/Definição de Célula de Carregamento.** METTLER TOLEDO. Disponível em: < [https://www.mt.com/br/pt/home/products/Industrial\\_Weighing\\_Solutions/AutomPrecision/load-cell-and-weigh-module.html?cmp=sea\\_08010904&SE=GOOGLE&Campaign=MT\\_IND\\_PT\\_BR&Adgroup=Load+Cells&bookedkeyword=celula%20carga&matchtype=p&adtext=438149763530&placement=&network=g&kclid=k\\_Cj0KCQjw--GFBhDeARIsACH\\_kdZiGnuUBm12d4YJv7iIaJjw61arYQmzO58i855gi4UTTaYPrK2lDEaAsqzEALw\\_wcB\\_k\\_gclid=Cj0KCQjw--GFBhDeARIsACH\\_kdZiGnuUBm12d4YJv7iIaJjw61arYQmzO58i855gi4UTTaYPrK2lDEaAsqzEALw\\_wcB](https://www.mt.com/br/pt/home/products/Industrial_Weighing_Solutions/AutomPrecision/load-cell-and-weigh-module.html?cmp=sea_08010904&SE=GOOGLE&Campaign=MT_IND_PT_BR&Adgroup=Load+Cells&bookedkeyword=celula%20carga&matchtype=p&adtext=438149763530&placement=&network=g&kclid=k_Cj0KCQjw--GFBhDeARIsACH_kdZiGnuUBm12d4YJv7iIaJjw61arYQmzO58i855gi4UTTaYPrK2lDEaAsqzEALw_wcB_k_gclid=Cj0KCQjw--GFBhDeARIsACH_kdZiGnuUBm12d4YJv7iIaJjw61arYQmzO58i855gi4UTTaYPrK2lDEaAsqzEALw_wcB) >. Acesso em: 03 jun. 2021.

NACHAZEL, Ted. **What is a Strain Gauge and How Does it Work?** Michigan Scientific Corporation, 2020. Disponível em: < <https://www.michsci.com/what-is-a-strain-gauge/> >. Acesso em: 10 mai. 2021.

NASCIMENTO, William. **5 ferramentas para criar um aplicativo**. CanalTech, 2019. Disponível em: < <https://canaltech.com.br/apps/como-criar-um-aplicativo/> >. Acesso em: 26 mai. 2021.

OLIVEIRA, José Raimundo de; SHIN -TING, Wu. **Microcontroladores**. DCA - FEEC – Unicamp, 2019. Disponível em: < <https://www.dca.fee.unicamp.br/courses/EA075/2s2019/notas/topico10.pdf> >. Acesso em: 18 mai. 2021.

PAVAN, Theo; CARNEIRO, Adilton. **Introdução a filtros digitais**. USP – Sinais e Ssistemas, 2015. Disponível em: < [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1687753/mod\\_resource/content/0/Filtros.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1687753/mod_resource/content/0/Filtros.pdf) >. Acesso em: 27 set. 2021.

PEDOTT, Alexandre. **Incertezas de Medição**. UFRGS – Metrologia e Ensaaios, 2012. Disponível em: < [http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/387\\_incerteza\\_de\\_medicao.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/387_incerteza_de_medicao.pdf) >. Acesso em: 18 out. 2021.

PEGORINI, Leonardo Pessin. **Banco de Usuários Inteligente para Acesso de Condomínios**. 2020. 5 f. Relatório Final de Estágio Obrigatório - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Ciência Exatas e Engenharias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020.

PIVARI, Marcos. **Botijões de Gás**. MaCamp, 2000. Disponível em: < [https://macamp.com.br/botijoos\\_de\\_gas/#:~:text=Primeiramente%2C%20a%20grande%20verdade%20%C3%A9,ser%20%C3%A1%20f%C3%A1cil%20de%20ser%20encontrado.&text=%20%89%20correto%20aformar%20tamb%C3%A9m%20que,Sua%20desvantagem%20%C3%A9%20o%20pre%20%C3%A7o.](https://macamp.com.br/botijoos_de_gas/#:~:text=Primeiramente%2C%20a%20grande%20verdade%20%C3%A9,ser%20%C3%A1%20f%C3%A1cil%20de%20ser%20encontrado.&text=%20%89%20correto%20aformar%20tamb%C3%A9m%20que,Sua%20desvantagem%20%C3%A9%20o%20pre%20%C3%A7o.) >. Acesso em 12 mai. 2021.

PREÇO DO GÁS. **Quanto tempo dura um botijão de 13kg?** Preço do Gás, 2021. Disponível em: < <https://www.precodogas.com.br/quanto-tempo-dura-um-gas-de-13kg.php> >. Acesso em: 10 out. 2021.

RABELO TEZA, Vanderlei. **Alguns aspectos sobre a automação residencial – doméstica**. 2002. p. 1-108. Tese de Mestrado em Ciência da Computação – UFSC, Florianópolis, 2002.

RESCAROLI. **Tipos de botijões de gás no Brasil**. SuperGasbras, 2017. Disponível em: < <http://rescaroli.com.br/blog/tipos-de-botijoos-de-gas-no-brasil/> >. Acesso em: 27 abr. 2021.

RF. **História da Balança.** RF Balanças e Automação, 2015. Disponível em: < <http://www1.rfbalancas.com.br/?p=2021> >. Acesso em: 03 mai. 2021.

RODRIGUES, Cristiane; COSTA, Leonardo. **NTP.** UFJF, 2012. Disponível em: < [https://www.ufjf.br/ciro\\_barbosa/files/2012/03/NTP.pdf](https://www.ufjf.br/ciro_barbosa/files/2012/03/NTP.pdf) >. Acesso em: 12 out. 2021.

SARTORIUS. **Escalas de misturas de coloração PMA.Evolution.** Sartorius, 2021. Disponível em: < [https://www.sartorius.com/shop/ww/pt/brl/aplica%c3%a7%c3%b5es-laborat%c3%b3rio-solu%c3%a7%c3%b5es-para-mistura-de-tintas-escalas-de-mistura-de-colora%c3%a7%c3%a3o-pma-evolution/c/M\\_PMA\\_Evolution](https://www.sartorius.com/shop/ww/pt/brl/aplica%c3%a7%c3%b5es-laborat%c3%b3rio-solu%c3%a7%c3%b5es-para-mistura-de-tintas-escalas-de-mistura-de-colora%c3%a7%c3%a3o-pma-evolution/c/M_PMA_Evolution) >. Acesso em: 20 jun. 2021.

SILVA, Caio Augusto. **Desenvolvimento e validação de módulo de comunicação mqtt para a plataforma bipes para aplicações de internet das coisas.** 2020. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia da Computação, Centro Tecnológico, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: < [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13656/TCC\\_Caio\\_BIPES\\_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13656/TCC_Caio_BIPES_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y) >. Acesso em: 26 mai. 2021.

SIMOKIT. **Célula de Carga 50kg.** SIMOKIT – Especificações Técnicas. Disponível em: < [https://www.simokit.com/MLB-991803332-celula-de-carga-50kg-1-pecas-JM#position=49&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=fa92fb29-557f-40d6-9332-f4d6f12a9e54](https://www.simokit.com/MLB-991803332-celula-de-carga-50kg-1-pecas-JM#position=49&search_layout=stack&type=item&tracking_id=fa92fb29-557f-40d6-9332-f4d6f12a9e54) >. Acesso em: 03 jun. 2021.

SINDIGÁS. **Matriz energética residencial.** Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo, 2021. Disponível em: < [http://www.sindigas.org.br/novosite/?page\\_id=17426](http://www.sindigas.org.br/novosite/?page_id=17426) >. Acesso em: 26 out. 2021.

SMITH, Steven W. **The scientist and engineer's guide to digital signal processing.** 2nd ed, California Technical Publishing San Diego, California, 1999. Disponível em: < [https://www.academia.edu/24705956/Scientist\\_and\\_Engineers\\_Guide\\_to\\_Digital\\_Signal\\_Processing\\_Second\\_Edition\\_By\\_Steven\\_W.Smith](https://www.academia.edu/24705956/Scientist_and_Engineers_Guide_to_Digital_Signal_Processing_Second_Edition_By_Steven_W.Smith) >. Acesso em: 18 out. 2021.

TEXAS INSTRUMENTS. Datasheet INA 126. Texas Instruments, 2019. Disponível em: < [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina118.pdf?ts=1622326413709&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FINA118%253Futm\\_source%253Dsupplyframe%2526utm\\_medium%253DSEP%2526utm\\_campaign%253Dnot\\_alldatasheet%2526DCM%253Dyes%2526clid%253DCN3h7Or07\\_ACFZ0yuQYd5FwPnw](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina118.pdf?ts=1622326413709&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FINA118%253Futm_source%253Dsupplyframe%2526utm_medium%253DSEP%2526utm_campaign%253Dnot_alldatasheet%2526DCM%253Dyes%2526clid%253DCN3h7Or07_ACFZ0yuQYd5FwPnw) >. Acesso em: 25 mai. 2021

TOLEDO. **Você sabe como funciona uma célula de carga?** TOLEDO DO BRASIL, 2017. Disponível em: < <https://www.toledobrasil.com/blog/voce-sabe-como-funciona-uma-celula-de-carga> >. Acesso em: 03 jun. 2021.

TOSIN, Maurício. **Instrumentação – Aula 12 – Circuitos condicionadores para sensores resistivos; Sensores geradores.** UCS – ELE0222 – Instrumentação, 2019. Disponível em: < <https://ucsvirtual.ucs.br/globalAva/2/20194ELE0222A/arquivos/aula12.pdf/> >. Acesso em: 12 mai. 2021

ULTRAGAZ. **Você sabe como é produzido o botijão de gás?** Ultragaz, 2017. Disponível em: < <https://www.ultragaz.com.br/residencial/ultradicas/voce-sabe-como-e-produzido-o-botijao-de-gas#:~:text=Tudo%20come%C3%A7a%20na%20linha%20de,que%20ser%C3%A3o%20modelados%20e%20soldados> >. Acesso em: 27 abr. 2021.

UTC. Datasheet LM7809. Unisonic Technologies, 2020. Disponível em: < <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/33410/UTC/LM7809.html> >. Acesso em: 19 out. 2021

VALIM, Paulo. **Separação de Misturas: Parte II.** Ciência em ação, 2020. Disponível em: < <https://cienciaemacao.com.br/separacao-de-misturas-parte-ii/> >. Acesso em 25 abr.2021.

WAAGEN, KN. **Conheça os tipos de balança e seus princípios de funcionamento.** KnWaagen, 2019. Disponível em: < <https://blog.knwaagen.com.br/tipos-de-balanca/> >. Acesso em: 03 mai. 2021.

WENDLING, Marcelo. **Amplificadores Operacionais.** Unesp – Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá “ Professor Carlos Augusto Patrício Amorim”, 2010. Disponível em: < <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/3---amplificadores-operacionais-v2.0.pdf> >. Acesso em: 24 mai. 2021.

## **APÊNCIDES**

## APÊNDICE A – TABELA CADEIA DE MEDIÇÃO

Medidas de Tensão													Peso [kg]												
	0	1	2	3	4	5	7	8	10	12	14	15	18	20	22	25,00	27,00	28,00	30,00						
0,21946	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58589	0,72832	0,79628	0,94357	1,08660	1,227830	1,293300	1,523900	1,666110	1,804690	2,019430	2,165660	2,232000	2,383200	2,383990						
0,21943	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58627	0,72815	0,79631	0,94342	1,086680	1,227830	1,298870	1,523670	1,666110	1,804690	2,019610	2,165630	2,222400	2,382780	2,382780						
0,21914	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58631	0,72814	0,79603	0,94399	1,086560	1,227830	1,298730	1,524250	1,666110	1,804690	2,019870	2,165630	2,220600	2,383640	2,383640						
0,21914	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58586	0,72832	0,79624	0,94332	1,086430	1,227830	1,298730	1,523850	1,666110	1,804690	2,018760	2,165630	2,220300	2,382990	2,382990						
0,21935	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58546	0,72832	0,79671	0,94363	1,086040	1,227830	1,298730	1,523890	1,666110	1,804690	2,018730	2,165630	2,221460	2,383660	2,383660						
0,21928	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58497	0,72832	0,79674	0,9442	1,086040	1,227830	1,298940	1,523400	1,666320	1,804690	2,019010	2,165630	2,220200	2,383200	2,383200						
0,21935	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58549	0,72832	0,79643	0,94406	1,086520	1,228290	1,298870	1,523640	1,666610	1,804690	2,018410	2,165630	2,222800	2,383270	2,383270						
0,21957	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,586	0,72832	0,796	0,94328	1,086920	1,228080	1,298730	1,523220	1,666110	1,804720	2,018980	2,165630	2,221850	2,383280	2,383280						
0,21945	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58528	0,72832	0,79631	0,943	1,086430	1,227830	1,298730	1,523680	1,666110	1,805290	2,018970	2,165630	2,222370	2,383250	2,383250						
0,21964	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,5856	0,728	0,79639	0,94246	1,086040	1,227830	1,298730	1,523850	1,666360	1,804760	2,019190	2,165660	2,222810	2,382490	2,382490						
0,21914	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58547	0,72828	0,796	0,94385	1,086350	1,227830	1,298730	1,524390	1,666220	1,804690	2,019340	2,166230	2,222560	2,383090	2,383090						
0,21946	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58511	0,72832	0,79606	0,94381	1,086600	1,227830	1,299260	1,524140	1,666110	1,804690	2,019400	2,165630	2,221810	2,384100	2,384100						
0,21996	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58542	0,72832	0,79628	0,9441	1,086250	1,227830	1,298910	1,523430	1,666110	1,804690	2,019580	2,165630	2,222230	2,382360	2,382360						
0,21946	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58554	0,72832	0,79603	0,94364	1,086040	1,227830	1,298730	1,523640	1,666110	1,804690	2,019150	2,165630	2,222310	2,382850	2,382850						
0,21939	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58563	0,72832	0,79656	0,94396	1,086040	1,227830	1,298730	1,523720	1,666110	1,804690	2,019360	2,165630	2,222310	2,382640	2,382640						
0,21928	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58557	0,72832	0,79621	0,94353	1,086040	1,227830	1,298730	1,523680	1,666110	1,804690	2,019580	2,165630	2,222910	2,382990	2,382990						
0,21963	0,29004	0,36416	0,43506	0,51563	0,58546	0,72825	0,7968	0,94363	1,086170	1,227830	1,298730	1,523820	1,666280	1,804690	2,020000	2,165630	2,222920	2,382000	2,382000						
0,21971	0,29004	0,36416	0,4352	0,51563	0,58589	0,72803	0,79686	0,94364	1,086420	1,228220	1,298730	1,523400	1,66650	1,804690	2,019830	2,165630	2,222340	2,382390	2,382390						
0,21924	0,29004	0,36416	0,43527	0,51563	0,58592	0,72832	0,79642	0,94346	1,086570	1,228150	1,298730	1,523670	1,666110	1,804690	2,019400	2,165630	2,222560	2,382930	2,382930						
0,21949	0,29004	0,36416	0,4352	0,51563	0,58617	0,72832	0,79642	0,94328	1,086040	1,227830	1,298730	1,523510	1,666110	1,804720	2,018590	2,165630	2,222000	2,382780	2,382780						
0,2194285	0,29004	0,36416	0,4350845	0,51563	0,5856655	0,7282665	0,796334	0,9435915	1,086339	1,227901	1,2988185	1,5237375	1,666199	1,804765	2,0192395	2,165663	2,2223335	2,383005	2,383005						

## APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE DO FIRMWARE

```

1 // Bibliotecas
2 #include <ESP8266WiFi.h>
3 #include <Wire.h>
4 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
5 #include <SPI.h>
6 #include <SD.h>
7 #include <string.h>
8 #include <TimeLib.h>
9 #include <WiFiUdp.h>
10
11 // Pinos de Entrada
12 #define vin_pin A0 //pino de entrada da tensão da célula
13 #define tara_pin D0 //pino de entrada da tact
14 #define cs_pin D8 //pino de interfade com o modulocartaoSD
15 #define mosi_pin D7 //pino de interfade com o modulocartaoSD
16 #define miso_pin D6 //pino de interfade com o modulocartaoSD
17 #define sck_pin D5 //pino de interfade com o modulocartaoSD
18 #define ledverde_pin D3 //pino do led verde
19 #define ledverme_pin D4 //pino do led vermelho
20
21
22 // Definições de Tempo para Amostragem
23 #define system_time 10 //base de tempo do sistema [ms]
24 #define adc_time 12 //intervalo entre conversões do ADC [ms]
25 #define adc_samples 10 //número de amostras do ADC
26
27 #define weigth_samples 10 // quantidade de leituras por amostra
28
29 #define coeficiente_linear 0.21914 //parâmetros da funcao transferencia
30 #define coeficiente_angular 0.0721119
31
32 // #define calibration //descomentar para mostrar na SERIAL a tensão lida da célula
33
34 //Definições LCD
35 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
36
37 //Definições para conexão com a Internet
38 IPAddress ip(192,168,1,150);
39 IPAddress gateway(192,168,1,1);
40 IPAddress subnet(255,255,255,0);
41 IPAddress dns(192,168,1,1);
42 WiFiServer server(80);
43 String ssid;
44 String password;
45
46 //Definições para leitura do cartão SD
47 File dataFile;
48 bool cartaoOk = true;
49 String user;
50 char linha;
51
52 //Definições para obtenção de data e hora via protocolo NTP
53
54 static const char ntpServerName[] = "us.pool.ntp.org";
55 const int timeZone = -3;
56 WiFiUDP Udp;
57 unsigned int localPort = 8888; // local port to listen for UDP packets
58
59 time_t getNtpTime();
60 void digitalClockDisplay();
61 void printDigits(int digits);
62 void sendNTPpacket(IPAddress &address);
63 char valores[15];
64 float tempodias;
65 int dm[13]={0,31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31};
66
67 typedef struct
68 {
69     float vin_voltage;
70     bool key_pressed;
71     float current_weight;
72     float discount_weight;
73 } GlobalVariables_Struct;

```

```

74
75 GlobalVariables_Struct sys;
76
77 typedef enum
78 {
79     INICIALIZACAO,
80     OPERACAO,
81     TARA,
82     CONEXAO,
83 } StateMachine_TypeDef;
84
85 StateMachine_TypeDef state = INICIALIZACAO;
86
87 void setup()
88 {
89     pinMode(ledverde_pin,OUTPUT);
90     pinMode(ledverme_pin,OUTPUT);
91     pinMode(tara_pin, INPUT);
92     digitalWrite(ledverde_pin, LOW);
93     digitalWrite(ledverme_pin, LOW);
94
95     Serial.begin(9600);
96     Wire.begin();
97     lcd.init();
98     lcd.backlight();
99
100 //Verificação se o cartão SD esta inserido
101 if (!SD.begin(cs_pin))
102 {
103     Serial.println("Erro na leitura do cartão SD ou o módulo está conectado
104     incorretamente");
105     digitalWrite(ledverme_pin,HIGH);
106     cartaoOk = false;
107     return;
108 }
109 //Verificação do arquivo texto com dados da internet
110 if (cartaoOk)
111 {
112     dataFile = SD.open("logininternet.txt");
113     Serial.println("Cartão SD Inicializado para leitura.");
114     dataFile.seek(0);
115 }
116
117 // Leitura dos dados do Cartão SD
118 linha = '\0';
119 int i = 0;
120 while(dataFile.available()) {
121     linha = dataFile.read();
122     if (linha == '*'){
123         i++;
124         if (i == 1)
125         {
126             ssid = user;
127             linha = '\0';
128             user = "";
129         }
130         if (i == 2)
131         {
132             password = user;
133             linha = '\0';
134             user = "";
135         }
136     }else if (linha != '\0')
137     {
138         user.concat(linha);
139     }
140 }
141 dataFile.close();
142
143 //Conexão com a rede de internet
144 Serial.print("Conectando com: ");
145 Serial.println(ssid);

```

```

146
147   WiFi.config(ip,dns,gateway,subnet);
148   WiFi.begin(ssid,password);
149
150   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
151   {
152     delay(500);
153     Serial.print(".");
154   }
155
156   server.begin();
157   Serial.println("Wi-Fi Conectado");
158   Serial.println("Servidor Iniciado em: ");
159   Serial.println(WiFi.localIP());
160   Serial.print("IP number assigned by DHCP is ");
161   Serial.println(WiFi.localIP());
162   Serial.println("Starting UDP");
163   Udp.begin(localPort);
164   Serial.print("Local port: ");
165   Serial.println(Udp.localPort());
166   Serial.println("waiting for sync");
167   setSyncProvider(getNtpTime);
168   setSyncInterval(300);
169 }
170
171 time_t prevDisplay = 0; // when the digital clock was displayed
172
173 void loop ()
174 {
175   static uint32_t last_time_system = 0;
176   static uint32_t last_time_adc = 0;
177
178   if (millis() >= last_time_system + system_time) //chamada da função de controle do
179   sistema
180   {
181     last_time_system = millis();
182     #ifndef calibration
183     main_machine();
184     #endif
185   }
186
187   if (millis() >= last_time_adc + adc_time) //chamada da função de conversão do adc
188   {
189     last_time_adc = millis();
190     adc_get_conversion();
191   }
192 }
193
194 void main_machine()
195 {
196   static uint16_t timer = 0;
197   static uint16_t timerconexao = 0;
198   static uint16_t i = 0;
199   static uint16_t timer_key_pressed = 0;
200   static float last_weight[weigh_samples];
201   static uint8_t j = 0;
202
203
204   timer++;
205   timerconexao++;
206   digitalWrite(ledverde_pin,HIGH);
207
208   switch (state)
209   {
210     case INICIALIZACAO:
211       if (timer == 1 && i == 0) //inicialização
212       {
213         lcd.setCursor(0, 0);
214         lcd.print("UCS-TCC-LEONARDO");
215       }
216
217       if (timer == 20 && i <= 16) //"barra de progresso"

```

```

218     {
219         timer = 0;
220         lcd.setCursor(i, 1);
221         lcd.write(0xFF);
222         i++;
223     }
224
225     if (i == 17 && timer == 200) //aguarda 2 segundos e passa para o estado de
    operação normal
226     {
227         lcd.clear();
228         state = OPERACAO;
229         timer = 0;
230         digitalWrite(ledverde_pin, HIGH);
231     }
232     break;
233 case OPERACAO:
234     if (timer % 10 == 0)
235     {
236         sys.current_weight = ((sys.vin_voltage - coeficiente_linear)
    /coeficiente_angular);
237         last_weight[j] = sys.current_weight; //acumula os últimos pesos
238         j++;
239         if (j == weigth_samples)
240         {
241             j = 0;
242         }
243     }
244     sys.current_weight = average_calc(last_weight, weigth_samples);
245     if (timerconexao == 1000)
246     {
247         state = CONEXAO;
248         timerconexao = 0;
249         if (timeStatus() != timeNotSet)
250         {
251             if (now() != prevDisplay)
252             {
253                 prevDisplay = now();
254                 digitalWriteClockDisplay();
255             }
256         }
257     }
258     if (sys.key_pressed) //se pressionada a tecla para tarar a balança
259     {
260         state = TARA;
261         sys.discount_weight = sys.current_weight;
262         timer = 0;
263     }
264     if ( ((sys.current_weight - sys.discount_weight) >= 1.5) &&
    (sys.discount_weight >= 15))
265     {
266         digitalWrite(ledverme_pin, LOW);
267     }else
268     {
269         digitalWrite(ledverme_pin, HIGH);
270     }
271     if (timer == 50) //atualização do display cada 500ms
272     {
273         timer = 0;
274         lcd.setCursor(0, 0);
275         lcd.print("Peso: ");
276         lcd.print(sys.current_weight - sys.discount_weight, 2);
277         lcd.print("kg ");
278         lcd.setCursor(0, 1);
279         lcd.print("Tara: ");
280         lcd.print(sys.discount_weight, 2);
281         lcd.print("kg ");
282     }
283     break;
284 case TARA:
285     if (timer == 1) //atualiza o display com o valor da nova tara
286     {
287         lcd.clear();
288         lcd.setCursor(3, 0);

```

```

288     lcd.print("Nova Tara:");
289     lcd.setCursor(4, 1);
290     lcd.print(sys.discount_weight, 3);
291     lcd.print("kg");
292 }
293 if (sys.key_pressed == true) //verifica se a tecla está sendo mantida
pressionada
{
294     timer_key_pressed++;
295 }
296 if (timer_key_pressed == 120) //se ficar pressionada por 1.2s zera a tara
{
297     sys.discount_weight = 0; //zera o valor da tara
298     timer = 0; //reseta o timer para atualizar o display
299 }
300 if (timer == 250 && sys.key_pressed == false) //após 2.5s volta à operação
normal
{
301     timer = 0;
302     timer_key_pressed = 0;
303     state = OPERACAO;
304 }
305 break;
306 case CONEXAO:
307     digitalWrite(ledverde_pin,LOW);
308     WiFiClient client = server.available();
309
310     String req = client.readStringUntil('\r');
311     Serial.println(req);
312     client.flush();
313     client.println("HTTP/1.1 200 OK");
314     client.println("Content-Type: text/html");
315     client.println("");
316
317     if ((req.indexOf("tara") != -1))
318     {
319         req = req.substring((req.indexOf("*")+1),req.indexOf("@"));
320         sys.discount_weight = req.toFloat();
321         //Serial.println(sys.discount_weight);
322     }
323     if((req.indexOf("dados") != -1))
324     {
325         client.println(sys.current_weight - sys.discount_weight, 3);
326     }
327     if((req.indexOf("previsao") != -1))
328     {
329         client.println(valores);
330     }
331     if (timerconexao == 2)
332     {
333         timerconexao = 0;
334         state = OPERACAO;
335         timer = 0;
336     }
337     digitalWrite(ledverde_pin,HIGH);
338     break;
339 }
340 }
341
342 void adc_get_conversion()
343 {
344     int i = 0;
345     static float vin_samples[adc_samples];
346     static float vin_voltage[adc_samples];
347     static float switch_samples[adc_samples];
348     float movingaverage_vin;
349     float average_switch;
350     static uint8_t index = 0;
351
352     for (int j = adc_samples - 1; j > 0; j--)
353     {
354         vin_samples[j] = vin_samples[j- 1];
355     }

```

```

359
360 vin_samples[0] = (float) analogRead(vin_pin);
361 switch_samples[index] = (float) analogRead(tara_pin); //armazena a leitura da
    entrada da chave
362
363 movingaverage_vin = 0;
364 for (int j = 0; j < adc_samples; j++)
365 {
366     movingaverage_vin += vin_samples[j];
367 }
368
369 vin_samples[index] = movingaverage_vin/adc_samples;
370 vin_voltage[index] = (3.3 * vin_samples[index]) / 1024.0;
371
372 average_switch = average_calc(switch_samples, adc_samples);
373 sys.vin_voltage = average_calc(vin_voltage, adc_samples);
374 sys.key_pressed = key_debounce(average_switch);
375 index++;
376
377 if (index == adc_samples)
378 {
379     index = 0;
380     #ifndef calibration
381     Serial.println(sys.vin_voltage,5);
382     #endif
383 }
384 }
385
386 float average_calc(float vet[], uint8_t n)
387 {
388     uint8_t i = 0;
389     double acc = 0;
390     for (i = 0; i < n; i++)
391     {
392         acc += (double) vet[i]; //soma os valores do vetor
393     }
394     acc /= n; //calcula e retorna a média
395     return (float) acc;
396 }
397
398 bool key_debounce(float key_ad_value)
399 {
400     if (key_ad_value < 100)
401     {
402         return true; //tecla pressionada
403     }
404     return false; //tecla não pressionada
405 }
406
407 void digitalClockDisplay()
408 {
409     int d,m,a;
410     sprintf(valores, "%d/%d/%d ",day(),month(),year());
411     d = day();
412     m = month();
413     a = year();
414
415     if ((sys.current_weight - sys.discount_weight) > 0)
416         tempodias = ((sys.current_weight-sys.discount_weight)*56.5)/13;
417     else
418         tempodias = 0;
419
420     d+= tempodias;
421     if (a % 4 == 0){
422         dm[2] = 29;
423     }
424     while (d>dm[m])
425     {
426         d-=dm[m];
427         m++;
428     }
429     if ( m > 12) {
430         m = 1;

```

```

431     a++;
432 }
433 sprintf(valores, "%d/%d/%d ",d,m,a);
434 }
435
436 void printDigits(int digits)
437 {
438     Serial.print(":");
439     if (digits < 10)
440         Serial.print('0');
441     Serial.print(digits);
442 }
443
444 const int NTP_PACKET_SIZE = 48;
445 byte packetBuffer[NTP_PACKET_SIZE];
446
447 time_t getNtpTime()
448 {
449     IPAddress ntpServerIP;
450     while (Udp.parsePacket() > 0) ;
451     Serial.println("Transmit NTP Request");
452     WiFi.hostByName(ntpServerName, ntpServerIP);
453     Serial.print(ntpServerName);
454     Serial.print(" ");
455     Serial.println(ntpServerIP);
456     sendNTPpacket(ntpServerIP);
457     uint32_t beginWait = millis();
458     while (millis() - beginWait < 1500) {
459         int size = Udp.parsePacket();
460         if (size >= NTP_PACKET_SIZE) {
461             Serial.println("Receive NTP Response");
462             Udp.read(packetBuffer, NTP_PACKET_SIZE);
463             unsigned long secsSince1900;
464
465             secsSince1900 = (unsigned long)packetBuffer[40] << 24;
466             secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[41] << 16;
467             secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[42] << 8;
468             secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[43];
469             return secsSince1900 - 2208988800UL + timeZone * SECS_PER_HOUR;
470         }
471     }
472     Serial.println("No NTP Response :-(");
473     return 0;
474 }
475
476 void sendNTPpacket(IPAddress &address)
477 {
478     memset(packetBuffer, 0, NTP_PACKET_SIZE);
479     packetBuffer[0] = 0b11100011;
480     packetBuffer[1] = 0;
481     packetBuffer[2] = 6;
482     packetBuffer[3] = 0xEC;
483     packetBuffer[12] = 49;
484     packetBuffer[13] = 0x4E;
485     packetBuffer[14] = 49;
486     packetBuffer[15] = 52;
487     Udp.beginPacket("pool.ntp.br", 123);
488     Udp.write(packetBuffer, NTP_PACKET_SIZE);
489     Udp.endPacket();
490 }

```

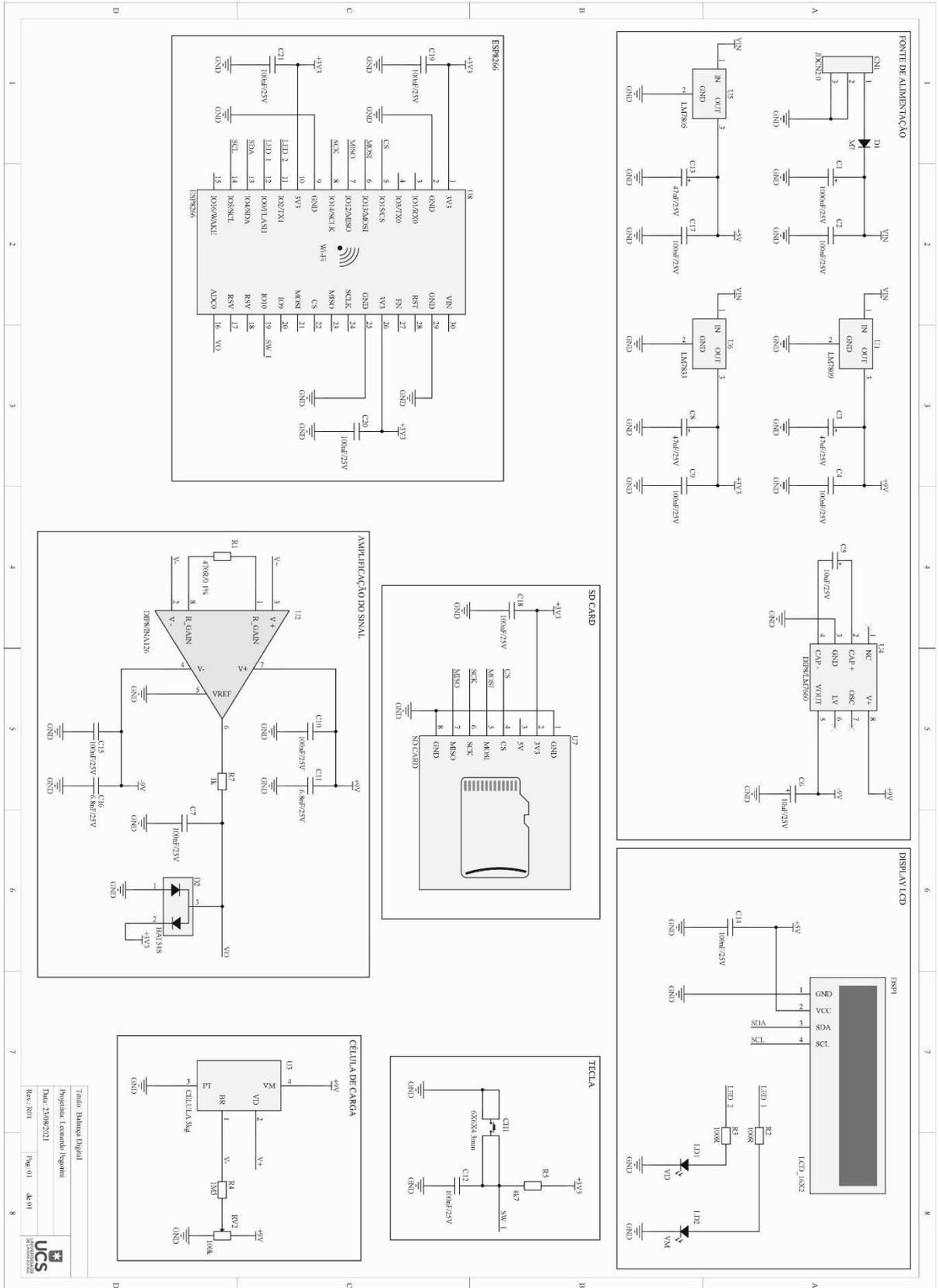
**APÊNDICE C – TABELA RESIDUAL DOS BOTIJÕES P13 USADOS**

<b>Botijão Vazio [kg]</b>	<b>Tara [kg]</b>
15,509	14,300
15,029	15,050
15,123	15,100
13,935	13,900
14,620	14,550
14,160	14,100
14,440	14,350
14,450	14,300
15,117	15,110
13,830	13,900
14,765	14,750
14,300	14,200
14,040	13,600
14,820	14,750
15,270	15,200
15,230	15,250
14,820	14,750
14,770	14,750
14,130	14,150
15,171	15,150
14,440	14,400
14,282	14,250
14,300	14,300
15,270	15,250
15,702	14,900

Imagem demonstrativa do dia da medição dos botijões com balança MARTE LS 50



## APÊNDICE D – ESQUEMÁTICO CIRCUITO PRINCIPAL



## APÊNDICE E – FICHA TÉCNICA MULTÍMETRO DT-101



DT-101



MULTÍMETRO DIGITAL COMPACTO

### Características:

1. Display de 2000 conteos
2. Holster protector

### Especificaciones:

Function	Max. Range	Accuracy	101
Voltage DC	600V	±0.5%	*
Voltage AC	600V	±1.8%	*
Current DC	200mA	±1.0%	*
Resistance	2MΩ	±0.8%	*
Diode Check			*
Continuity			
Size (H*W*D)	100mm*48mm*26mm (101/102) 108mm*53mm*32mm (103/105/107/108)		
Weight	102g		

## APÊNDICE F – DESENHO PLACA CIRCUITO PRINCIPAL

