



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

DAVID APPEL DE SOUZA

PROTÓTIPO DE ADIPÔMETRO DIGITAL

ITAJAÍ-SC
2023



DAVID APPEL DE SOUZA

PROTÓTIPO DE ADIPÔMETRO DIGITAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina Câmpus Itajaí, ligado ao Ministério da Educação, no curso de Engenharia Elétrica, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Tarcísio Pollnow Kruger

ITAJAÍ-SC
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca do IFSC.

Souza, David Appel de
Protótipo de Adipômetro Digital / David Appel de Souza ;
orientador, Tarcísio Pollnow Kruger, 2023.
114 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto
Federal de Santa Catarina, Campus Itajaí, Graduação em
Engenharia Elétrica , Itajaí, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica . 2. Adipômetro Digital. 3.
Diâmetros Cutâneas. 4. Microcontrolador. 5. Percentual de
Gordura. I. Pollnow Kruger, Tarcísio. II. Instituto Federal
de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica . III.
Título.


PROTÓTIPO DE ADIPÔMETRO DIGITAL

DAVID APPEL DE SOUZA


Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Itajaí, 08 de março de 2023


BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 TARCISIO POLLNOW KRUGER
Data: 07/04/2023 19:08:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Tarcisio Pollnow Kruger
Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

 Documento assinado digitalmente
JOAO PAULO CAMELO CUNHA
Data: 07/04/2023 13:52:31-0300
CPF: 000.351.313-06
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Me. João Paulo Camelo Cunha
Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

Documento assinado digitalmente
 GUILHERME RANZOLIN PIAZZETTA
Data: 07/04/2023 18:53:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Guilherme Ranzolin Piazzetta
Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

Por um mundo mais tecnológico e sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu a oportunidade de estar vivo, a meus pais Neiva Aurora Appel de Souza (*in memorian*) e Enio Oliveira de Souza (*in memorian*) que sempre me mostraram o quão importante a educação é na vida de um ser humano, à minha esposa amada Samara Eliane Maia que sempre me apoiou tanto nos momentos bons quanto nos momentos ruins, agradeço ao meu irmão Felipe Appel de Souza que mesmo morando longe me mostrou o real sentido da palavra “hombridade”, agradeço ainda aos amigos Nelson Duarte, Julia Matsunaga, Luiz Eduardo Rosa e Willian Bathke que contribuíram para que essa jornada se tornar-se possível, agradeço ao meu orientador Tarcísio Kruger por todo o apoio e ensinamentos.

Faço também um agradecimento em especial à professora Dra. Fernanda Argoud que me incentivou a não desistir nos momentos mais difíceis ao longo do curso, com menções honrosas agradeço à Ussama Abdallah, cliente e amiga, por sempre me dar uma visão mais ampla da Engenharia em si, agradeço aos meus familiares “os Appel” por todo seu apoio e carinho e por fim, aos mestres, por todo ensinamento, paciência, puxão de orelha e correções ao longo dos 5 anos deste curso, contribuindo para meu crescimento profissional.

*...Meu pai foi um homem como nenhum outro.
Ele me deu a vida, se tornou a minha mãe, me
alimentou, me ensinou, me vestiu, lutou por
mim, me segurou, gritou comigo, me beijou,
mas o mais importante: me amou
incondicionalmente!. (David Appel de Souza).*

RESUMO

O presente trabalho visa o desenvolvimento de um protótipo de adipômetro digital capaz de traduzir os diâmetros cutâneos em percentual de gordura sem a utilização de um *software* externo. Como base para o desenvolvimento do protótipo, utilizou-se um ESP32, um microcontrolador de baixa potência, baixo custo e com comunicação sem fio via *Bluetooth* e *Wi-Fi*. A análise dos dados foi feita por meio de um comparativo entre o protótipo e um adipômetro clínico, utilizando como recurso a precisão e exatidão, o teste F e o teste “T” pareado. A partir das informações obtidas, constatou-se que não existe diferença significativa entre os dispositivos.

Palavras-chave: Adipômetro Digital. Diâmetros Cutâneas. Microcontrolador. Percentual de Gordura.

ABSTRACT

The present work aims at the development of a digital adipometer prototype capable of translating skin diameters into fat percentage without the use of external software. As a basis for the development of the prototype, an ESP32 was used, a low-power, low-cost microcontroller with wireless communication via Bluetooth and Wi-Fi. Data analysis was performed by means of a comparison between the prototype and a clinical adipometer, using precision and accuracy as a resource, the F test and the paired “T” test. From the information obtained, it was found that there is no significant difference between the devices.

Keywords: Digital Adipometer. Fat Percentage. Microcontroller. Skin Diameter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de blocos do circuito acoplado ao kit de processamento digital de sinais.....	21
Figura 2 – Esquemático do <i>hardware</i>	22
Figura 3 – DOIT Esp32 DevKit v1 Módulo <i>Wi-fi Bluetooth</i>	27
Figura 4 – DOIT Esp32 DevKit v1 Módulo <i>Wi-fi Bluetooth</i> 30 Pinos Nodemcu.....	28
Figura 5 – Circuito com potenciômetro para medição da posição $x(t)$	29
Figura 6 – Dados de ajuste e reta ajustada usando regressão linear para um potenciômetro de 22k.....	32
Figura 7 – Exemplo de Exatidão e Precisão.....	39
Figura 8 – Adipômetro AVAnutri.....	44
Figura 9 – Substituição do pino de acoplamento do eixo de rotação do adipômetro.....	45
Figura 10 – Substituição do pino de acoplamento do eixo de rotação do adipômetro, visão posterior.....	46
Figura 11 – <i>Knob</i> para fixação do potenciômetro.....	46
Figura 12 – <i>Knob</i> fixado à haste metálica e ambos fixados no eixo de rotação do adipômetro.....	47
Figura 13 – Local de conexão do Esp32 junto ao potenciômetro.....	48
Figura 14 – Terminais do potenciômetro.....	49
Figura 15 – Potenciômetro de 0° à 320°.....	49
Figura 16 – Zona morta do potenciômetro destacada pelas setas amarelas nos terminais 1 e 3.....	50
Figura 17 – Curva do potenciômetro linear, logaritmo e inverso logaritmo.....	50
Figura 18 – Portas do Esp32 usadas pelo <i>display</i> LCD 16x2 com módulo I2C.....	52
Figura 19 – <i>Display</i> LCD 16x2.....	52
Figura 20 – Módulo I2C.....	52
Figura 21 – <i>Display</i> LCD 16x2 com módulo I2C acoplado, visão inferior.....	53
Figura 22 – Botões conectados aos pinos 12, 13 e 14 do Esp32.....	53
Figura 23 – Módulo bateria 18650.....	54
Figura 24 – Bateria de Lithium recarregável 18650.....	55

Figura 25 – <i>Hardware</i> implementado.....	55
Figura 26 – Esquemático completo do protótipo.....	56
Figura 27 – Inclusão de bibliotecas via Arduino IDE.....	58
Figura 28 – Seleção do modelo da placa DOIT Esp32 Devkti V1.....	59
Figura 29 – Seleção da porta COM.....	59
Figura 30 – Seleção do protocolo de avaliação física de 3 dobras para mulheres.....	63
Figura 31 – Pinçamento da dobra cutânea suprailíaca.....	64
Figura 32 – Percentual de gordura já calculado.....	64
Figura 33 – Valor mapeado de 770.....	66
Figura 34 – Adipômetro fixado em zero.....	67
Figura 35 – Esp32 lendo um valor mapeado de 770 a partir da leitura do nível de tensão equivalente ao zero do potenciômetro.....	67
Figura 36 – Leitura da dobra suprailíaca.....	69
Figura 37 – IMC e percentual de gordura.....	69
Figura 38 – Blocos padrão.....	75
Figura 39 – Blocos padrão de 10, 20 e 25 milímetros.....	75
Figura 40 – Suporte para fixação dos blocos padrão.....	76
Figura 41 – Adipômetro Cescorf.....	76
Figura 42 – Adipômetro Cescorf - 20 milímetros.....	77
Figura 43 – Protótipo - 20 milímetros.....	77
Figura 44 – Gráfico de não rejeição da H0 com 99%.....	78
Figura 45 – Gráfico de tendência, Re+ e Re-.....	85
Figura 46 – Aplicativo Serial <i>Bluetooth</i> - parâmetros de uma avaliação física.....	86
Figura 47 – Certificado de inspeção do tamanho dos blocos padrão.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de ajuste de potenciômetro de 22k conectado a uma fonte de tensão.....	30
Tabela 2 – Custo estimado para o desenvolvimento do protótipo.....	70
Tabela 3 – Custo protótipo concluído.....	70
Tabela 4 – Precisão e Exatidão do adipômetro para 25milímetros.....	72
Tabela 5 – Precisão e Exatidão do protótipo para 25 milímetros.....	72
Tabela 6 – Parâmetros de funcionamento do protótipo.....	74
Tabela 7 – Teste “F”.....	78
Tabela 8 – Teste "F" com auxílio de blocos padrão.....	80
Tabela 9 – Teste "T" Pareado.....	81
Tabela 10 – Teste "T" Pareado do percentual de gordura.....	82
Tabela 11 – Média, tendência e correção para 25 milímetros.....	83
Tabela 12 – Curva de erros, tendência e Re+- para 25 milímetros.....	84
Tabela 13 – Tabela teste "F" - 1%.....	111
Tabela 14 – Tabela teste "F" - 5%.....	111
Tabela 15 – Tabela teste "T" <i>Student</i> - 1% de significância.....	112
Tabela 16 – Tabela teste "T" <i>Student</i> - 95% de probabilidade.....	112
Tabela 17 – Níveis de confiança.....	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% GORD	Percentual de Gordura
ABD	Abdômen
ADC	Conversor Analógico/Digital
C	Correção
Com	Porta Serial do ESP32
Curva E	Curva de Erros
CV	Coefficiente de Variação
D12	Porta Digital
D13	Porta Digital
D14	Porta Digital
DAC	Conversor Digital/Analógico
DC	Densidade Corporal
DEXA (DXA)	Densitometria de Composição Corporal de Raios-X de Dupla Energia
E	Erro Absoluto
Ea	Erro Aleatório
<i>EasyEDA</i>	Simulador <i>Web</i>
EP	Erro Padrão
<i>EPd</i>	Erro Padrão das Diferenças
ER	Erro Relativo
ES	Erro Sistemático
ESP	Série de Microcontroladores
GND	<i>Ground</i> ou Terra, Referência de Tensão 0V em Circuitos Eletrônicos
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
H_0	Hipótese Nula
H_a	Hipótese Alternativa
IC	Intervalo de Confiança
IM	Incerteza de Medição
IMC	Índice de Massa Corporal
IoT	<i>Internet of Things</i>

L	Linearidade
n	Tamanho da Amostra
NL	Não Linearidade
PCE	Peso Corporal em Excesso
PCI	Peso Corporal Ideal
PM	Percentual de Massa Magra
q	Incerteza Padrão de Medida
<i>Re</i>	Repetibilidade
RB	Resultado-Base
RM	Resultado da Medição
Sb	Sensibilidade
SCL	<i>Serial Clock</i>
SDA	<i>Serial Data</i>
ST	Soma das Dobras Cutâneas
t	Cálculo da Estatística
Td	Tendência
TSMC	<i>Taiwan Semiconductor Manufacturing Company</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
u_{rx}	Incerteza Padrão de Medida Relativa
V_i	Medições Repetidas
V_m	Valor Medido
VP	Entrada Conversor Analógica/Digital
VV	Valor Verdadeiro
“T”	Coefficiente “T” Student

LISTA DE SÍMBOLOS

\bar{x}	Média
\bar{x}_∞	Número Infinito de Medições
μd	Valores de Hipóteses Nula e Alternativa
α	Nível de Significância
σ	Desvio Padrão
σ^2	Variância
\bar{d}	Média das Diferenças
Δ	Diferença entre Duas Variáveis
Σ	Somatório

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 PROBLEMA.....	19
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 Objetivo Geral.....	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	20
1.3 JUSTIFICATIVA.....	20
1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1 AVALIAÇÃO FÍSICA ATRAVÉS DAS MEDIDAS DE DOBRAS CUTÂNEAS.....	24
2.1.1 Protocolos de 3 dobras.....	25
2.1.2 Protocolos de 7 dobras.....	25
2.1.3 Índice de Massa Corporal (IMC).....	25
2.1.4 Massa Magra, Massa Gorda, Peso Corporal Ideal e Peso Corporal em Excesso.....	26
2.2 PLACA DE DESENVOLVIMENTO - MICROCONTROLADOR ESP32.....	26
2.3 CARACTERIZAÇÃO METROLÓGICA DE INSTRUMENTOS.....	28
2.3.1 Regressão linear e ajuste de curvas por mínimos quadrados generalizado.....	31
2.3.2 Medidas de Dispersão.....	33
2.3.3 Estimativa de incerteza da medida.....	34
2.3.4 Estimativa da Repetibilidade.....	36
2.3.5 Erro.....	37
2.3.6 Precisão e Exatidão.....	38

2.3.7 Linearidade.....	39
2.3.8 Tendência (Td).....	40
2.3.9 Correção (C).....	40
2.3.10 Intervalo de Confiança (IC).....	40
2.3.11 Faixa de Indicação.....	41
2.3.12 Faixa de Medição.....	41
2.3.13 Resolução.....	41
2.3.14 Teste de F.....	41
2.3.15 Teste “t” Pareado.....	42
3 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	44
3.1 ESTRUTURA BASE PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	44
3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO <i>HARDWARE</i> DO PROTÓTIPO.....	47
3.2.1 Interação Potenciômetro / ESP32.....	47
3.2.2 Demais partes do protótipo.....	51
3.2.2.1 <i>Display</i> LCD 16x2 com módulo I2C.....	51
3.2.2.2 Botões de interação.....	53
3.2.2.3 Alimentação do protótipo (módulo bateria 18650 e bateria de lithium 18650).....	54
3.2.2.4 <i>Hardware</i> implementado.....	55
3.3 ESQUEMÁTICO ELETROELETRÔNICO.....	56
3.4 IMPLEMENTAÇÃO DO <i>SOFTWARE</i> DO PROTÓTIPO.....	56
3.4.1 Interface de usuário.....	60
3.4.2 Avaliação física.....	62
3.4.3 Ajuste.....	65
3.5 LISTA DE MATERIAIS.....	70
4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	71
4.1 PRECISÃO E EXATIDÃO FINAL DO DISPOSITIVO.....	71

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE O PROTÓTIPO E UM ADIPÔMETRO CLÍNICO.....	74
4.3 APLICATIVO SERIAL <i>BLUETOOTH</i>	85
4.4 GENERALIDADES.....	87
5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	88
6 REFERÊNCIAS.....	89
7 APÊNDICES.....	94
APÊNDICE A - Fluxograma do protótipo.....	94
APÊNDICE B - Algoritmo implementado no protótipo.....	95
8 ANEXOS.....	111
ANEXO A - Tabelas teste “F” para 1% e 5% respectivamente.....	111
ANEXO B - Tabelas teste “T” Student - Tabela com 1% de significância e tabela com 95% de probabilidade, respectivamente.....	112
ANEXO C - Níveis de confiança em 99%.....	113
ANEXO D - Folha de certificação dos blocos padrão.....	114

1 INTRODUÇÃO

O percentual de gordura é um dos índices que fazem parte de toda a composição corporal em relação às demais partes do organismo de um indivíduo, sendo elas o sangue, os músculos e os órgãos. As partes citadas anteriormente, formam de maneira conjunta a chamada massa magra, conjunto de músculos e vísceras (CORTÊS, 2020).

Já a massa gorda nada mais é do que apenas gordura e quando acumulada em excesso, pode trazer inúmeros problemas à saúde (GEONAUTE, 2016).

A obesidade é um problema de saúde pública cada vez mais presente, uma vez que se torna a porta de entrada para diversas patologias tais como: diabetes, hipertensão, problemas respiratórios, doenças cardiovasculares, além de problemas físicos como artrose, entre outras (KOPELMAN, 2007).

Outro problema que acompanha a obesidade é a satirização social causada aos indivíduos que sofrem com tal doença, ou seja, os indivíduos são frequentemente hostilizados devido à aparência física (MYERS; ROSEN, 1999). Logo, torna-se necessário produzir mais instrumentos capazes de acessar informações acerca da quantidade de gordura corporal, para então combater a obesidade.

A taxa de gordura, em tese, é o resultado da soma de duas medidas. A primeira é a gordura visceral, gordura essa que de maneira interna encontra-se localizada entre os órgãos — que é importante para protegê-los, mas em excesso pode ser prejudicial para a saúde. A segunda é chamada de gordura subcutânea que, como o próprio nome sugere, fica abaixo da pele e é baseada nesta segunda, gordura subcutânea, que se desenvolverá o protótipo de adipômetro a fim de se calcular o percentual de gordura (DORAZIO, 2016).

Vale ressaltar que a massa de gordura não deveria exceder 20% e 27% do peso corporal total para homens e mulheres, respectivamente, uma vez que seria considerado gordura em excesso (POLLOCK; WILMORE, 1993).

Com objetivo de se estimar a porcentagem de gordura, visceral e subcutânea, são usados os mais variados equipamentos tais como: dispositivos de bioimpedância (equipamento que mede a corrente elétrica circulante pelo corpo); densitômetro, equipamento que realiza a Densitometria de Composição Corporal através da absorção de raios-X de dupla energia (DEXA ou DXA), medindo assim a densidade das massas: magra (músculos), gordurosa e óssea; e o adipômetro, ferramenta para a mensuração da composição corporal (FREITAS JÚNIOR, 2018).

“De acordo com informações da Escola de Medicina de Harvard, na maioria das pessoas, 90% da gordura corporal é subcutânea, ou seja, está sob a pele. Se você tocar sua barriga, a gordura macia também é subcutânea” (BBC NEWS BRASIL, 2018).

“Os 10% restantes, considerados visceral ou intra-abdominais, estão "escondidos" além do nosso alcance, abaixo da parede abdominal. Encontram-se nos espaços que rodeiam o fígado, os intestinos e outros órgãos” (BBC NEWS BRASIL, 2018).

Aqui, o adipômetro será a matéria prima deste trabalho final de conclusão de curso por meio do desenvolvimento de um protótipo de adipômetro digital.

1.1 PROBLEMA

Frente ao problema da obesidade, apresentam-se os seguintes problemas:

- a) É possível desenvolver um protótipo de adipômetro digital detector do percentual de gordura, oferecendo um custo menor de fabricação, se comparado aos dispositivos presentes no mercado, e maior agilidade na leitura dos dados utilizando dispositivos eletrônicos?
- b) É possível ainda que esse dispositivo minimize os erros na leitura dos dados antropométricos, visto que a gordura corporal é regressiva frente à pele, por parte do profissional avaliador físico?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O projeto tem a finalidade de desenvolver um adipômetro digital capaz de aferir os dados antropométricos e fazer uma tradução em termos de percentual de gordura, apresentando os respectivos resultados em um *display*.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Especificar componentes para construção de um medidor digital de adipometria de custo reduzido;
- b) Processar os dados coletados de maneira automática, de modo a dispensar a anotação de valores ou de cálculos manuais;
- c) Fazer uma comparação entre um adipômetro clínico e o protótipo de adipômetro digital utilizando amostras;
- d) Classificar a composição corporal dos indivíduos, de maneira automatizada por parte do *software* do protótipo, de acordo com o percentual de gordura e a faixa etária em: excelente, bom, acima da média, média, abaixo de média, ruim e muito ruim.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica através do desenvolvimento de um adipômetro digital capaz de aferir de maneira funcional o percentual de gordura, assim como informar os valores das dobras cutâneas e densidade corporal, o índice de massa corporal (IMC), o percentual de massa magra entre outros. Dessa forma, o adipômetro digital representa um componente de extrema importância no monitoramento da composição corporal, podendo de fato, contribuir para o combate à obesidade entre outras doenças associadas a ela tais como: diabetes, cardiopatias, hipertensão entre outras.

Além de maior agilidade na coleta dos dados, o adipômetro digital terá como atrativo um custo reduzido se comparado aos dispositivos de melhor qualidade encontrados no mercado, dispositivos que podem variar de R\$550,00 até R\$1150,00. Esses preços referem-se apenas aos adipômetros e não levam em consideração o valor do *software* de avaliação física, pois são vendidos separadamente. Em média, o preço do *software* de avaliação física pode variar de R\$30,00 (no caso do *software* bem básico) até R\$300,00 (*software* de melhor qualidade).

Nos adipômetros científicos, normalmente, a leitura das medidas é feita através de

duas ponteiros, geralmente a ponteira menor indica as dezenas e a ponteira maior indica as unidades, como a leitura de cada dobra deve ser realizada dentro de 2 ou 3 segundos (isso porque a gordura é regressiva em relação à pele), a leitura do resultado acaba por ser uma grande dificuldade para a maioria dos avaliadores físicos. Já nos adipômetros clínicos, a leitura é feita através de uma régua de medição, normalmente angular.

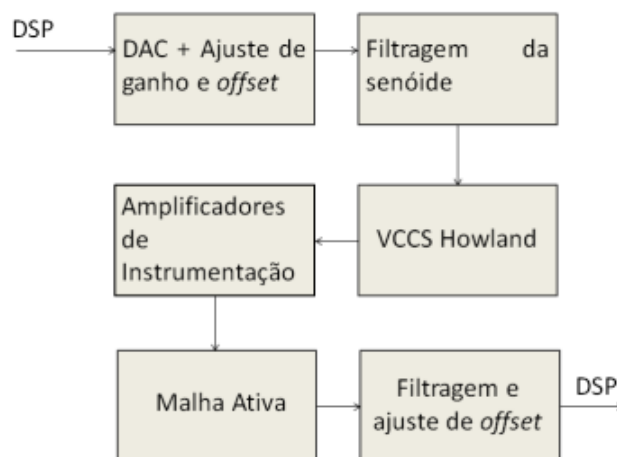
Em vias de regra, o protótipo terá como diferencial em relação aos adipômetros convencionais, um código de programação capaz de gerar os resultados das avaliações físicas de maneira automatizada, dispensando a utilização de um *software* de avaliação física externo (*software* utilizado junto ao *notebook* por exemplo), e ainda, a possibilidade de dispor os resultados das avaliações físicas tanto em seu próprio *display*, *display* do protótipo, quanto a na tela dos *smartphones*.

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem alguns projetos os quais têm como finalidade demonstrar a versatilidade do cálculo do percentual de gordura.

O projeto de Sirtoli (2015) tem como objetivo a análise da bioimpedância em tecidos musculares. Esse trabalho traz uma revisão da literatura acerca das principais áreas que envolvem o estudo da bioimpedância, além de conceber um protótipo medidor de bioimpedância elétrica. A figura 1 mostra o diagrama de blocos de Sirtoli (2015).

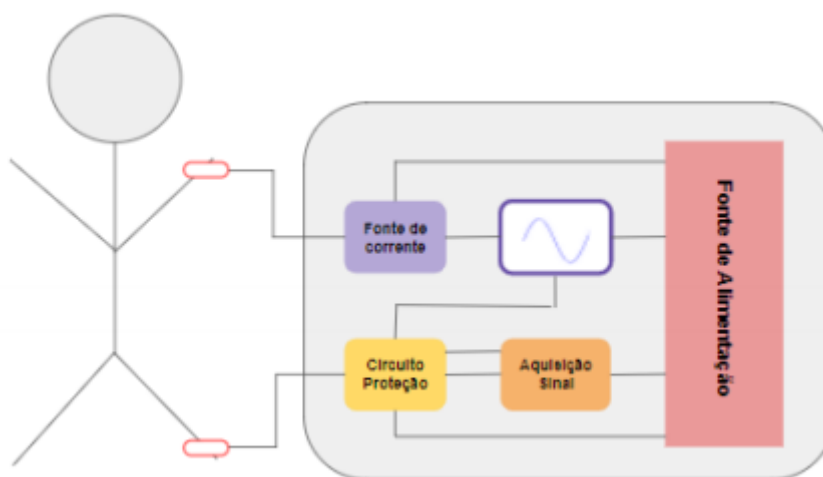
Figura 1: Diagrama de blocos do circuito acoplado ao kit de processamento digital de sinais.



Fonte: Sirtoli (2015).

Ainda é possível citar o trabalho de conclusão de curso publicado por Campos (2017), trabalho esse que descreve a construção de uma balança de bioimpedância capaz de estimar a composição do corpo humano, indicando porcentagens aproximadas de gordura, massa muscular e volume de água a partir da medição da impedância elétrica do corpo. A figura 2 mostra o esquemático do *hardware* conforme as especificações de Campos (2017).

Figura 2: Esquemático do *hardware*.



Fonte: Campos (2017).

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho de conclusão de curso teve como embasamento teórico uma revisão bibliográfica que possui uma certa proximidade com os objetivos definidos aqui. Também foram analisados diversos dispositivos eletrônicos a fim de se identificar as tecnologias que melhor se encaixam ao desenvolvimento do protótipo em questão.

Após conhecer melhor a teoria e as possíveis combinações de dispositivos eletrônicos que pudessem ser utilizados, teve início o desenvolvimento do protótipo medidor de gordura.

O protótipo foi implementado tendo como base um adipômetro (clínico), um microcontrolador (Esp32), um *display* LCD, um potenciômetro, três *push buttons*, uma *shield* de alimentação, baterias de lithium e diversos *jumpers*.

Após a conclusão do protótipo, foi realizada a coleta de dados junto aos blocos padrão e a um grupo de dez voluntários e os resultados foram comparados a um dispositivo já existente no mercado que realizou os mesmos procedimentos.

Depois do procedimento de coleta de dados, foram realizadas medições junto aos blocos padrão para comparar tanto a precisão quanto a exatidão do protótipo em relação ao adipômetro clínico, assim como o Teste “F” para comparar as variâncias entre ambos e por fim, o Teste “T” Pareado para comparar um valor amostral com um valor tabelado, a fim de dizer se existe ou não diferença entre as observações emparelhadas entre o adipômetro clínico e o protótipo de adipômetro digital. Vale ressaltar que o Teste "T" Pareado utilizou como base as avaliações físicas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AVALIAÇÃO FÍSICA ATRAVÉS DAS MEDIDAS DE DOBRAS CUTÂNEAS

O protocolo de avaliação física de Jackson e Pollock, é um dos protocolos mais utilizados nos dias de hoje para se estimar o percentual de gordura corporal, ele se diferencia em protocolos de 3, 5 ou 7 dobras.

O protocolo de avaliação física de Jackson e Pollock realiza o cálculo do percentual de gordura corporal utilizando a densidade corporal (DC) por meio do somatório de dobras cutâneas, lembrando que para cada dobra deve-se fazer uma média de 3 valores, isso porque a espessura da gordura corporal é regressiva, em outras palavras, a gordura tende a se espalhar durante o pinçamento de cada dobra cutânea (JACKSON; POLLOCK, 1978).

Essa metodologia é disposta de maneira generalizada para o cálculo da DC de adultos de 18 à 65 anos, ou seja, após estar munido com o somatório das dobras cutâneas é possível encontrar a densidade corporal, neste caso, utilizando ou o protocolo de 3 ou de 7 dobras para homens e mulheres respectivamente, a fim de se estimar o percentual de gordura (SIRI, 1961).

As equações 1 e 2, representam o cálculo da DC utilizando 7 dobras tanto para homens quanto para mulheres, respectivamente. Já as equações 3 e 4, fazem referência ao cálculo da DC utilizando 3 dobras tanto para homens quanto para mulheres, também respectivamente. Por fim, a equação (5) é utilizada para auxiliar todas as equações (1, 2, 3 e 4), uma vez que calcula o percentual de gordura utilizando como base a DC.

$$DC = 1.11200000 - [0.00043499 * ST + 0.00000055 * (ST^2)] - (0.0002882 * idade) \quad (1)$$

$$DC = 1.0970 - [0.00046971 * ST + 0.00000056 * (ST^2)] - (0.00012828 * idade) \quad (2)$$

$$DC = 1.10938 - [0.0008267 * ST + 0.00000016 * (ST^2)] - (0.0002574 * idade) \quad (3)$$

$$DC = 1.0994921 - [0.0009929 * ST + 0.00000023 * (ST^2)] - (0.0001392 * idade) \quad (4)$$

$$Gordura(\%) = (495 / DC) - 450 \quad (5)$$

Os elementos que compõem as equações acima são os seguintes:

- a) DC representa a densidade corporal em gramas por centímetro cúbico (g / cm^3);

- b) ST representa a soma total do comprimento das dobras cutâneas envolvidas dada em milímetros (mm), seja para o protocolo de Pollock de 3, 5 ou 7 dobras;
- c) Gordura(%) equivale ao percentual de gordura corporal.

2.1.1 Protocolos de 3 dobras

O protocolo de Jackson e Pollock de 3 pontos é utilizado com o objetivo de se estimar a gordura corporal, o procedimento utiliza os resultados em milímetros das dobras cutâneas de algumas regiões do corpo, tais como: região do peitoral, do abdômen e da coxa para homens; e região do tríceps, da coxa e região suprailíaca para as mulheres (JACKSON; POLLOCK, 1978).

2.1.2 Protocolos de 7 dobras

O protocolo de 7 dobras é um dos protocolos mais utilizados atualmente. As sete dobras mensuradas no protocolo de Jackson e Pollock para o cálculo de percentual de gordura, primeiramente, de homens em 1978 e posteriormente de mulheres em 1980 são: tríceps, subescapular, peitoral, axilar média, supra-iliaca, abdominal e coxa (JACKSON; POLLOCK, 1978).

2.1.3 Índice de Massa Corporal (IMC)

A sigla IMC significa Índice de Massa Corporal, padrão adotado pela Organização Mundial de Saúde a fim de calcular o peso ideal de cada pessoa.

O IMC possui dados tabelados com e sem distinção de sexo entre outros, porém a fim de complementar o desenvolvimento do trabalho, optou-se por utilizar o IMC para adultos sem distinção de sexo (QUETELET, 1842).

2.1.4 Massa Magra, Massa Gorda, Peso Corporal Ideal e Peso Corporal em Excesso

A massa magra equivale ao peso corporal total livre de gordura e possui como principal componente a massa muscular. A massa magra sofre alterações ao longo dos anos e diversas pesquisas revelam um maior déficit a partir dos 60 anos (BAUMGARTNER, 2000; BAUMGARTNER et al., 1998; DIZ et al., 2017; KIM et al., 2014; NEWMAN et al., 2003).

A massa gorda, corresponde a gordura corporal e tem como função fundamental: proteger os órgãos por meio de uma camada protetora e divide-se em: gordura essencial, encontrada nos órgãos (GUEDES, 1995), e de reserva, acumulada no tecido adiposo (WILLIAMS, 1995).

O peso corporal ideal, desejável ou recomendado é um parâmetro usado para identificar um determinado peso para uma dada estatura, associado a uma maior longevidade ou mortalidade mínima (MARTINS, 2009), todavia, o excesso de peso significa qualquer montante que exceda a faixa específica, de acordo com a altura, compleição física específica e sexo (POLLOCK; WILMORE, 1993).

2.2 PLACA DE DESENVOLVIMENTO - MICROCONTROLADOR ESP32

O ESP32 Wroom32 DevKit é desenvolvido pela empresa chinesa *Espressif Systems* e fabricado pela *Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)*. O ESP32 tem um consumo ultra-baixo de energia e é capaz de operar em temperaturas que variam de -40°C até +125°C (ESPRESSIF, 2023).

O ESP32 possui microcontrolador integrado, conectividade sem fio por meio do *Wi-Fi* e *Bluetooth*, a série ESP32 conta ainda com: antena integrada, amplificadores de potência e de baixa recepção de ruído, filtros, gerenciamento de energia por módulos (ESPRESSIF, 2023).

O ESP32 possui um conversor analógico-digital com 12 bits de resolução, valor esse que equivale a 4096 valores distintos. Isso significa que 0 volts corresponde a um valor digital de 0, em contrapartida, a tensão máxima produz um valor digital de 4095, já as faixas de tensão entre 0 e 4095, possuem um valor digital correspondente em escala (CIRCUITS4YOU, 2018).

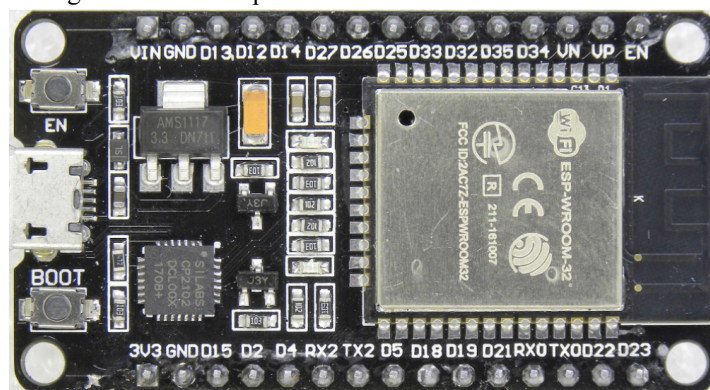
O ESP32 é extremamente versátil em termos de aplicações e opera com diversas linguagens de programação, como C, C++, *Python* e *MicroPython* por exemplo (FERREIRA, 2023).

O ESP32 possui diversas estruturas e ambientes programáveis destacando-se alguns:

- a) IDE Arduino com o Núcleo ESP32 para Arduino (USINAINFO, 2019);
- b) *Espressif IoT Development Framework – Oficial Espressif framework* de desenvolvimento para ESP32, utiliza como linguagem de programação C e C++ (ESPRESSIF, 2023);
- c) *Zerynth – Python* para IoT e microcontroladores, incluindo o ESP32 (EMBARCADOS, 2019).

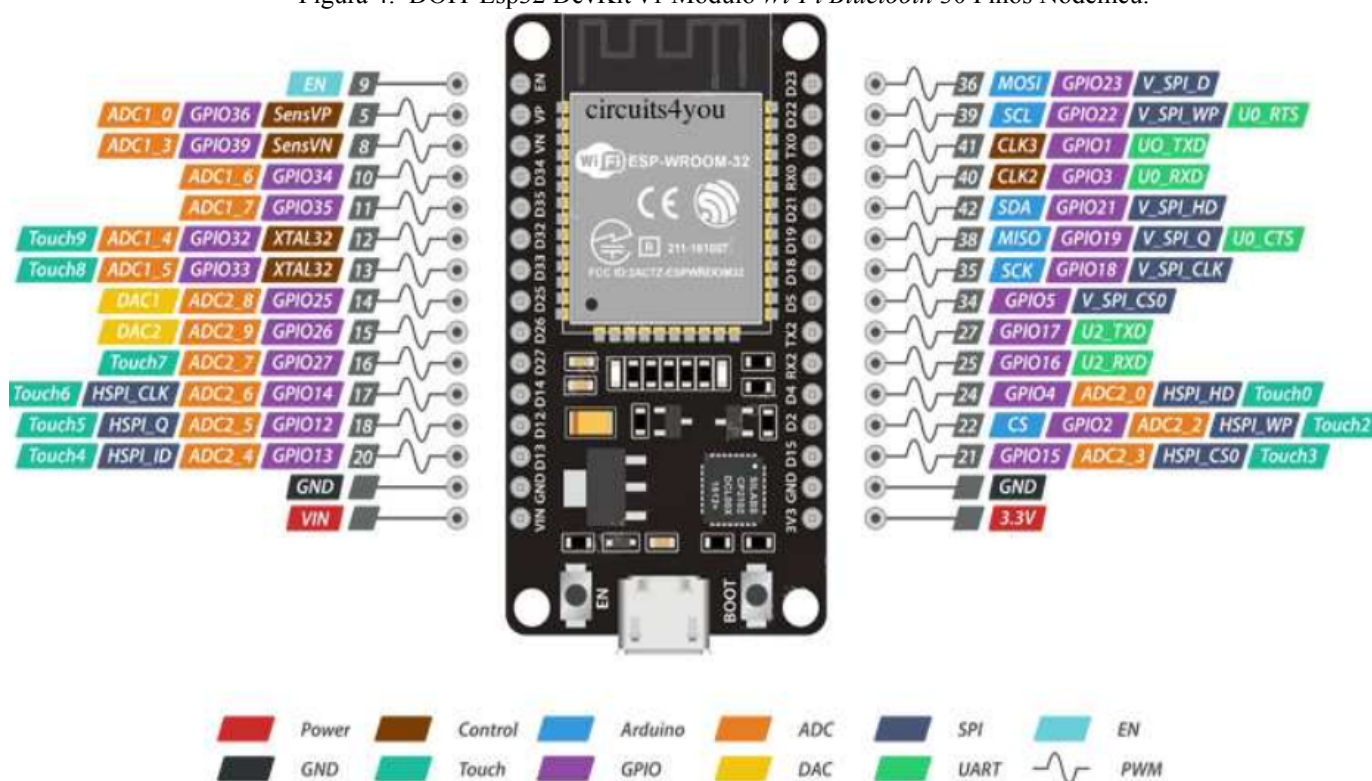
A Figura 3 mostra o DOIT Esp32 DevKit v1 Módulo *Wi-Fi* e *Bluetooth*, já a figura 4 ilustra seus respectivos GPIOs, respectivamente.

Figura 3: DOIT Esp32 DevKit v1 Módulo *Wi-Fi Bluetooth*.



Fonte: Oliveira (2019).

O ESP32 Wroom32 DevKit V1 possui 30 pinos, sendo 25 GPIOs dos quais se dividem em: pinos de entrada, pinos de saída, pinos de entrada analógica, canais com Conversor Analógico-Digital (ADC), Conversores Digital-Analógico (DAC), pinos pwm entre outros. Esses 25 pinos GPIOs operam com níveis de tensão entre 0V e 3.3V, para níveis digitais 0 e 1 respectivamente, com corrente máxima de 12mA por GPIO. Os GPIOs não toleram 5V (CIRCUITS4YOU, 2018).

Figura 4: DOIT Esp32 DevKit v1 Módulo *Wi-Fi Bluetooth* 30 Pinos Nodemcu.

Fonte: Oliveira (2019).

2.3 CARACTERIZAÇÃO METROLÓGICA DE INSTRUMENTOS

Neste capítulo, o foco será a caracterização em estado estacionário do desempenho de instrumentos.

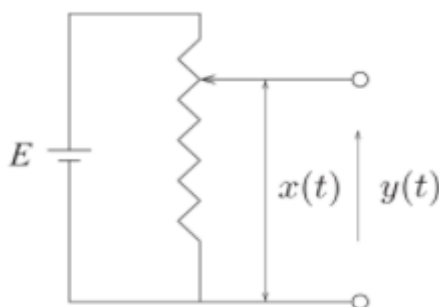
A fim de se utilizar determinado sensor, é primordial que seja estabelecida uma relação entre a grandeza a ser estudada e o sinal de saída do sensor. Logo, é importante detalhar todos os resultados do procedimento de medição, indicando tanto um provável valor para o mensurando quanto a incerteza associada ao resultado.

Tanto no dia a dia quanto no ambiente técnico, exatidão e precisão são, por vezes, confundidos. A exatidão não é grandeza e nem possui valor numérico. Uma medição é mais exata quando fornece um erro de medição menor. No entanto, a precisão possui um valor numérico e pode ser expressa por alguns parâmetros, sob determinadas condições (VIM, 2012).

O ajuste é, segundo Vim (2012), “conjunto de operações efetuadas num sistema de medição, de modo que ele forneça indicações prescritas correspondentes a determinados valores de uma grandeza a ser medida”.

Para Aguirre (2013), dado um sensor ou instrumento, neste caso, um potenciômetro, a saída $y(t)$ é a tensão elétrica baseada na parcela resistiva determinada pela extremidade inferior, cuja posição é $x(t)$, conforme figura 5 abaixo.

Figura 5: Circuito com potenciômetro para medição da posição $x(t)$.



Fonte: Aguirre (2013).

A fim de se obter os dados de ajuste, entrada e saída, baseado no $x(t)$ e $y(t)$ respectivamente, pode-se colocar o eixo do potenciômetro em várias posições (x_1, x_2, \dots, x_N) e registrar a tensão em cada caso (y_1, y_2, \dots, y_N) (AGUIRRE, 2013).

Na medida que se obtém os conjuntos de leituras (x_1, x_2, \dots, x_N e y_1, y_2, \dots, y_N) em estado estacionário, obtém-se como resultado a sensibilidade do instrumento (AGUIRRE, 2013).

Com a finalidade de se obter os dados metrológicos de um instrumento é imprescindível atuar no padrão ou medida de materialidade de forma a posicioná-lo nos diversos valores (x_1, x_2, \dots, x_N). Aqui, esses valores são as diferentes posições do eixo do potenciômetro. Além de posicionar o mensurando, é preciso ser capaz de obter boas estimativas dos valores (AGUIRRE, 2013, p. 45).

Portanto, a fim de se levantar os dados metrológicos é necessário fazer uso de um padrão de medidas.

Os dados de ajuste podem ser tabelados, para um dado valor " Y_i ", tensão de saída (V), é possível consultar a tabela 1 e achar o valor correspondente a " X_i ", graus angulares. O valor " X_i " estima o mensurando. Esse procedimento segue a seguinte premissa: (AGUIRRE, 2013).

1) A saída do sensor " Y_i " pode ser escrita conforme (6):

$$Y_i = Fe * [X_i] + E \quad (6)$$

Y_i : seriam as indicações;

Fe: sensibilidade (Sb);

E: variável aleatória.

A sensibilidade (Sb) é o quociente de variação da resposta de um sistema de medição pela variação do estímulo (VIM, 2012), ou seja, é o limite de detecção do instrumento que por sua vez contém o mínimo sinal de entrada que resulta em um sinal de saída detectável, visível através de (7).

$$Sb = \Delta output / \Delta input \quad (7)$$

Tabela 1: Dados de ajuste de potenciômetro de 22K conectado a uma fonte de tensão.

Graus angulares	Níveis de tensão (V)
115,2	1,000
100,8	0,984
86,4	0,831
72,0	0,664
57,6	0,521
43,2	0,379
28,8	0,231
14,4	0,079
0,0	0,024

Fonte: Aguirre modificado (2013).

Entretanto, para " Y_i e X_i " diferentes dos valores tabelados é necessário obter a Sb para quaisquer " Y_i e X_i " dentro da faixa de operação (AGUIRRE, 2013).

2.3.1 Regressão linear e ajuste de curvas por mínimos quadrados generalizado

A obtenção da sensibilidade ocorre por regressão linear. A regressão linear define a reta que melhor descreve tanto as relações estáticas quanto às dinâmicas entre a entrada e a saída, resultando em uma equação linear ($Y = a * X + b$) (AGUIRRE, 2013).

Em muitas experiências com variáveis bidimensionais, uma das variáveis pode ser controlada pelo investigador, X e Y, por exemplo. Logo, as técnicas de regressão tornam-se adequadas para avaliar a relação entre a variável independente, causa, e a variável dependente, resposta, em um dado experimento (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

Na equação da reta $Y = a * X + b$, o coeficiente “a” é denominado como coeficiente de regressão ou coeficiente angular e indica a inclinação da reta, enquanto “b” indica a interseção com o eixo Y e é conhecido como coeficiente linear (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

A fim de fazer uma regressão linear e encontrar a equação da reta, é realizada uma estimativa dos parâmetros “a” e “b” por meio do ajuste curvas por método de mínimos quadrados, conforme as equações abaixo: (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

- a) O parâmetro “a” pode ser determinado através de (8);
- b) O parâmetro “b” pode ser determinado com o auxílio de (9).

$$a = (N * \Sigma XY - \Sigma X * \Sigma Y) / [N * \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2] \quad (8)$$

$$b = (\Sigma Y - \Sigma X * a) / N \quad (9)$$

A fim de se encontrar os parâmetros “a” e “b” das equações acima, deve-se fazer menção aos seguintes elementos: (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

- a) N é o número de ocorrências em que o elemento X se relaciona ao elemento Y;
- b) ΣXY é o somatório da multiplicação do elemento X com o elemento Y;
- c) ΣX é o somatório do elemento X;
- d) ΣY é o somatório do elemento Y.

Com base nos parâmetros acima, é possível encontrar a reta que melhor se enquadra na equação linear de acordo com (10): (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

$$Y = a * X + b \quad (10)$$

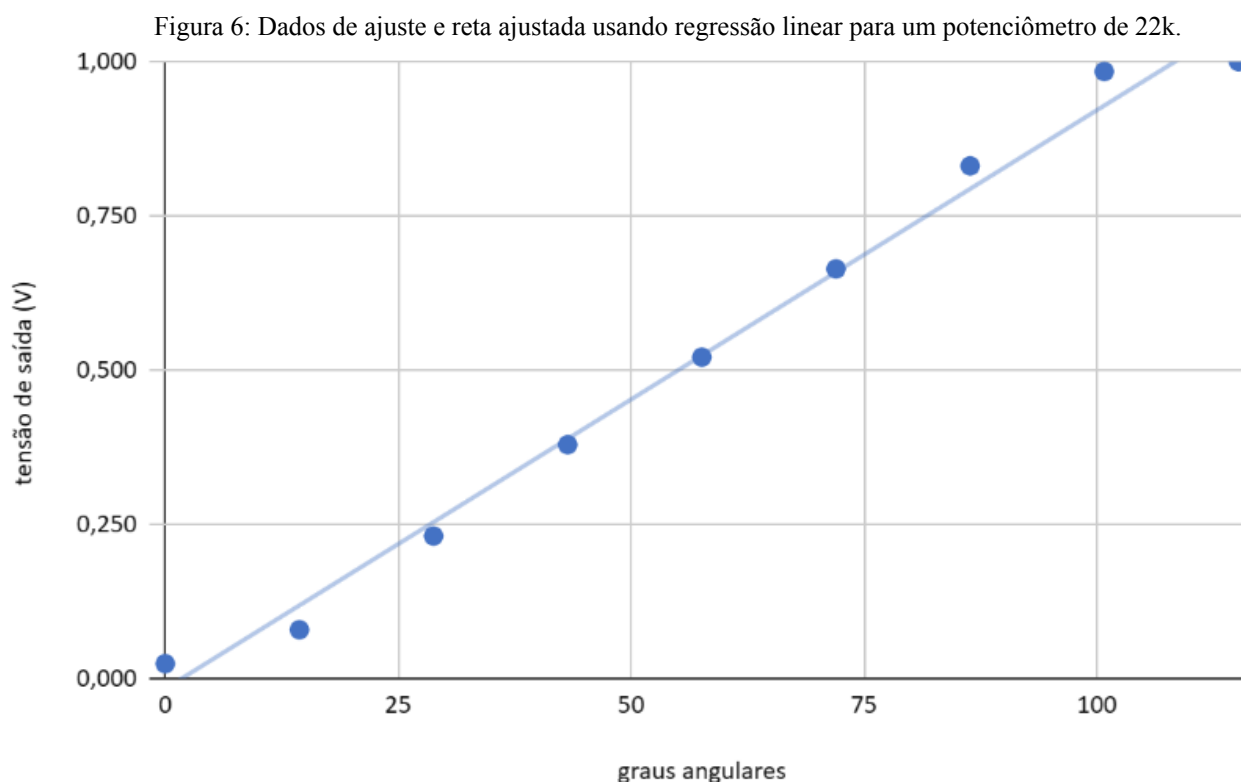
Como exemplo de regressão linear e ajuste de curvas por mínimos quadrados, pode-se citar o ajuste de um potenciômetro de 22k, nesse caso, o potenciômetro de 22k está conectado a uma fonte de tensão, como foi mostrado, anteriormente, na tabela 1.

Aplicando nas equações 8 e 9 os dados do potenciômetro de 22k, é possível encontrar os parâmetros “a” e “b”, conforme a seguir.

$$a = 9,38 * 10^{-3} \text{ graus angulares};$$

$$b = - 0,0166 \text{ v.}$$

Os parâmetros, “a” e “b”, definem a reta de ajuste, conforme a figura 6:



Fonte: Aguirre modificado (2013).

A equação da reta de ajuste é definida como:

$$y = 9,38 * 10^{-3}x - 0,0166$$

2.3.2 Medidas de Dispersão

“Em todas as medições ocorrem variações, independentemente do tipo de experimento que esteja sendo avaliado, ou seja, em um processo de medição muitas podem ser as fontes de incerteza que ocasionam a dispersão das correspondentes medidas” (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019, p. 156).

Na maioria dos casos, o valor esperado é a melhor estimativa disponível de uma grandeza e para a qual diversas observações independentes (\bar{x}_n) são obtidas sob as mesmas condições de medição, por meio da média aritmética ou média (\bar{x}) dessas n observações, de acordo com (11): (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n \quad (11)$$

Se for considerado uma população ou até mesmo um conjunto de dados, é possível considerar a variância (σ^2) como a principal medida de dispersão (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

A variância determina o quanto os dados de um conjunto analisado se afastam da média, logo, a variância em função das xn observações é dada por (12):

$$\sigma^2 = \{\Sigma x^2 - [(\Sigma x)^2 / n]\} / (n - 1) \quad (12)$$

O desvio padrão (σ) é a raiz quadrada da variância e denota o quão “confiável” é esse valor, de tal forma que a média aritmética tem seu valor em um intervalo com $\pm \sigma$. O desvio padrão viabiliza a medida de variabilidade de uma medida em relação à média (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

A fórmula do desvio padrão é mostrada conforme (13):

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (13)$$

O coeficiente de variação (CV) serve para analisar a variação dos dados obtidos em relação à média. Quanto menor for o CV , mais homogêneos serão os dados. O CV é considerado baixo quando for menor ou igual a 25%. Por ser em valor relativo, o CV permite comparar valores com unidades de medida diferentes (RIGONATTO, 2023).

O CV é obtido pelo desvio padrão dividido pela média e multiplicado por 100, por isso é dado em %, segundo (14).

$$CV = (\sigma / \bar{x}) 100 \% \quad (14)$$

2.3.3 Estimativa de incerteza da medida

De acordo com as afirmações de Balbinot e Brusamarello (2019), ao realizar um experimento a fim de efetuar a medição de um mensurando, torna-se imprescindível definir um intervalo no qual acontecem as possíveis dispersões em torno da melhor estimativa com suas respectivas probabilidades. Esse preceito depende de alguns fatores tais como:

- a) Das condições ambientais;
- b) Da habilidade do operador;
- c) Do instrumento, entre outros.

Esse preceito denomina-se resultado da medição e pode ser representado através de (15):

$$RM = RB \pm IM \quad (15)$$

RB é o resultado-base e IM é a incerteza de medição. Uma vez que um mensurando possui uma incerteza, um método apropriado deve ser seguido ao associar esse mensurando a outro mensurando ou a outras quantidades.

Os laboratórios de calibração, ou laboratórios de testes, ao realizarem suas próprias calibrações, devem aplicar um procedimento para estimar a incerteza de medida. Nesses casos, deve-se tentar identificar todos os componentes de incerteza e fazer uma estimativa razoável do mensurando. Deve-se ainda ter cuidado para que a forma de publicar os resultados não produza uma impressão errada dessa incerteza. Uma estimativa razoável pode ser baseada no conhecimento do desempenho do método, bem como no escopo de medida, e deve fazer uso de, por exemplo, experiência prévia e validação de dados (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019, p. 204).

Conforme Balbinot e Brusamarello (2019), o resultado de uma medida não se caracteriza por um único valor, e quando aliado aos fenômenos que contribuem para a incerteza recebem o nome de fontes de incertezas.

Ainda segundo Balbinot e Brusamarello (2019), existem diversas fontes de possíveis incertezas em um único mensurando, tais como:

- a) Definição incompleta ou imperfeita do mensurando;
- b) Amostra não representativa – a amostra medida pode não representar o mensurando definido;

- c) Efeitos de condições ambientais conhecidos, mas inadequados ou medidas imperfeitas dos efeitos de condições ambientais conhecidos;
- d) Erro humano na leitura de instrumentos analógicos;
- e) Resolução do instrumento finita;
- f) Valor inexato de padrões de medida e materiais de referência;
- g) Valor inexato de constantes e outros parâmetros obtidos de fontes externas e utilizados em algoritmos de redução de dados;
- h) Aproximações e suposições incorporadas no método de medida e procedimentos;
- i) Variações em observações repetidas do mensurando aparentemente sob as mesmas condições.

Segundo as afirmações de Balbinot e Brusamarello (2019), o resultado de uma medição é considerado completo uma vez que engloba o valor atribuído ao mensurando e a incerteza de medida associada a esse valor.

Ainda de acordo com Balbinot e Brusamarello (2019), os mensurandos são valores sujeitos à medida. Normalmente em um ajuste é utilizado apenas um mensurando ou uma quantidade de saída Y que depende das quantidades de entrada $X_i (i = 1, 2, \dots, N)$ segundo a relação $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$.

A função f representa tanto o procedimento de medida quanto a metodologia de avaliação a ser utilizada, tão logo ainda descreve como os valores de saída são obtidos a partir dos valores de entrada X_i (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

Para Balbinot e Brusamarello (2019), as grandezas de entrada X_i podem ser divididas de acordo com a maneira com que cada um dos valores e suas incertezas associadas foram determinadas, isso de dois modos distintos, conforme citado abaixo:

- 1) Grandezas ou quantidades cuja incerteza associada e estimada é diretamente determinada na medida corrente, podendo ser obtidas até mesmo por observações simples. Podem determinar correções para leituras de instrumentos, assim como correções de outras quantidades ou grandezas;
- 2) Grandezas ou quantidades cuja incerteza associada e estimada é anexada à medida por meio de fontes externas por meio de quantidades associadas a padrões de ajuste, por meio de materiais de referência certificados ou por meio de dados de referência obtidos em manuais.

Estimativas do mensurando Y , podem ser obtidas por estimativas de entrada X_i para os valores da quantidade de entrada $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$. Os valores de entrada são as melhores estimativas, os quais foram corrigidos para os efeitos mais significativos (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

“A incerteza-padrão combinada $u_c(y)$ é um desvio padrão estimado e caracteriza a dispersão dos valores que poderiam, razoavelmente, ser atribuídos ao mensurando Y ” (GUM, 2008).

Através da estimativa das variáveis de entrada x_i e suas incertezas padrão associadas $u(x_i)$, é possível encontrar a incerteza padrão de medida relativa (u_{rx}), a qual é a incerteza padrão de medida associada com uma estimativa dividida pelo módulo dessa estimativa (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019). Como é mostrado em (16).

$$u_{rx} = u(x) / |x| \quad (16)$$

A incerteza padrão de medida (q) é um indicador associado a uma medição, que se caracteriza pela dispersão de valores que podem ser atribuídos ao mensurando. Esse indicador pode ser um desvio-padrão (ou um múltiplo dele), ou a metade de um intervalo correspondente a um nível de confiança estabelecido, expresso segundo (17) (GUM, 2008).

$$q = \bar{x} \pm \sigma \quad (17)$$

2.3.4 Estimativa da Repetibilidade

A repetibilidade (Re) de um dispositivo de medição denota uma zona simétrica de valores, zona onde o erro aleatório é esperado, dentro da qual ocorre um nível de concordância entre os resultados de medições sucessivas realizadas sob as mesmas condições de medição de um mesmo mensurando (VIM, 2012).

Essas condições de medição são denominadas condições de repetibilidade e compreendem:

- a) Mesmo procedimento de medição;
- b) Mesmo observador (avaliador);
- c) Mesmo instrumento de medição, em mesmas condições de uso;
- d) Mesmo local;
- e) Repetição do procedimento em curto período de tempo.

Para estimar a repetibilidade de amostras finitas, usa-se o coeficiente “T” de Student com 95% de probabilidade e $n - 1$ (com enquadramento desejado e o número de dados), multiplicado pela incerteza padrão (desvio padrão), conforme (18):

$$Re = \pm t . \sigma \quad (18)$$

2.3.5 Erro

O Erro nada mais é do que a diferença entre o valor medido (Vm) pelo dispositivo em relação ao valor de referência (VV) (VIM, 2012). O valor de E é chamado de “erro absoluto”, de acordo com (19).

$$E = Vm - VV \quad (19)$$

Se Vm for maior do que VV , significa que o erro foi por excesso, caso contrário, o erro cometido foi por falta.

O Erro Relativo (ER) é a razão entre o erro absoluto e o valor real de um número ou valor de referência (VV) (ABREU; SILVA, 2016), conforme (20).

$$ER = E / VV \quad (20)$$

O Erro Padrão (EP) é uma variação da média da amostra em relação à média populacional. A fim de estimar o erro padrão, deve-se dividir o desvio padrão pela raiz quadrada do tamanho da amostra, mantendo-se a mesma unidade de medida do valor da amostra (STATPLACE, 2019), equação (21).

$$EP = \sigma / \sqrt{n} \quad (21)$$

O Erro Sistemático (ES) é a parte do erro de medição que, em medições repetidas, se mantém constante ou se altera de forma previsível. O erro sistemático é a diferença entre o erro de medição (E) e o erro aleatório (Ea), equação (22) (VIM, 2012).

$$ES = E - Ea \quad (22)$$

O Erro Aleatório (Ea) é uma parcela do erro de medição que, em repetidas medições varia de forma imprevisível, a referência para um erro aleatório é a média de um número infinito de medições repetidas do mesmo mensurando (VIM, 2012).

“O erro aleatório é igual à diferença entre o erro de medição e o erro sistemático” (VIM, 2012), identificado por meio de (23).

$$Ea = E - ES \quad (23)$$

A curva de erros é um gráfico que representa uma faixa de medição na qual é possível encontrar tanto o Erro Aleatório quanto o Erro Sistemático. A curva de erros pode ser expressa através de (24) (SLIDESERVE, 2014).

$$Curva E = Td \pm Re \quad (24)$$

Td : tendência;

Re : repetibilidade.

Erro Máximo é o “valor extremo do erro de medição, com respeito a um valor de referência conhecido, admitido por especificações ou regulamentos para uma dada medição, instrumento de medição ou sistema de medição” (VIM, 2012). Em outras, é o erro máximo de saída entre o valor medido pela curva de ajuste média e a reta de referência (PIB, 2015).

2.3.6 Precisão e Exatidão

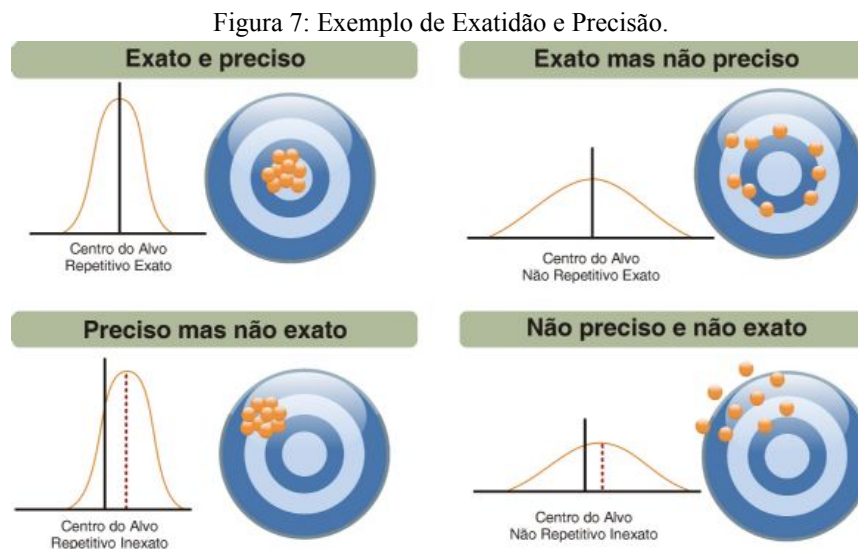
Para Vim (2012), a precisão apresenta o grau de concordância entre valores medidos (indicações), obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em similares, sob condições específicas. A precisão verifica se o dispositivo apresenta boa repetibilidade.

De acordo com Vim (2012), “a precisão de medição é geralmente expressa numericamente por características como o desvio-padrão, a variância ou o coeficiente de variação, sob condições especificadas de medição”, conforme (14).

Já a exatidão, se refere à proximidade de um valor medido em relação ao valor de referência ou valor verdadeiro de um mensurando (VIM, 2012).

“Exatidão é um conceito qualitativo (GUM, 2008).” “Uma medição é dita mais exata quando fornece um erro de medição menor”, equações (19) e (20) (VIM, 2012).

A figura 7 exemplifica exatidão e precisão.



Fonte: Novus (2012).

2.3.7 Linearidade (L)

A linearidade de um sensor denota o quanto a sua curva característica se desvia da curva de ajuste, sendo uma característica típica de equipamentos ou sensores cuja relação entre entrada e saída pode ser considerada linear (PIB, 2015).

A linearidade, geralmente, é detalhada em termos percentuais de não linearidade (NL), sendo relativa à medida atual, ou ao fundo de escala ou faixa dinâmica (PIB, 2015). A não linearidade pode ser expressa por meio de (25).

$$NL = (\text{Erro máximo} / \text{Norm}) \times 100\% \quad (25)$$

A não linearidade é adimensional, pois é uma razão entre valores de mesma unidade (PIB, 2015).

Norm pode ser a saída atual, o fundo de escala ou a faixa dinâmica de saída (PIB, 2015).

2.3.8 Tendência (Td)

A tendência nada mais é do que uma estimativa do erro sistemático (VIM, 2012), podendo ser calculada através de (26).

$$Td = ES = \bar{x} - VV \quad (26)$$

2.3.9 Correção (C)

Segundo Gum (2008), “Valor adicionado algebricamente ao resultado não corrigido de uma medição para compensar um erro sistemático”.

Ainda segundo Gum (2008), “a correção é igual ao erro sistemático estimado com sinal trocado”, sendo representada por (27).

$$C = - ES \quad (27)$$

2.3.10 Intervalo de Confiança (IC)

Intervalo de confiança é um conjunto de valores calculados com base na amostra, combinados a uma probabilidade, o qual representa a confiança de que o intervalo contém o parâmetro de interesse, com certo nível de confiança (SOUZA; BERGAMASCHI, 2017).

Quanto menor o intervalo de confiança, maior é a probabilidade da população estudada (amostra) representar o número real da população original, proporcionando maior certeza quanto ao resultado do objeto de estudo.

2.3.11 Faixa de Indicação

Se caracteriza pela amplitude da faixa nominal, é o valor absoluto, em módulo, entre o limite superior e inferior de um intervalo nominal de indicações (VIM, 2012).

2.3.12 Faixa de Medição

Para Vim (2012), a faixa de medição é um conjunto de valores compreendidos entre duas indicações extremas, obtido através de um posicionamento particular dos comandos de um instrumento de medição ou sistema de medição.

2.3.13 Resolução

“Menor variação da grandeza medida que causa uma variação perceptível na indicação correspondente” (VIM, 2012, p. 41). A resolução é dada pelo número de dígitos observáveis que variam de uma unidade.

2.3.14 Teste de F

A estatística do teste F nada mais é do que um teste de comparação de variâncias entre duas populações. As variâncias são medidas de dispersão e analisam o quanto os dados estão dispersos em relação à média, o teste F analisa duas diferenças em busca de homogeneidade e variabilidade (MAIDA, 2020).

O teste F utiliza como recurso: a hipótese nula (H_0) e a hipótese alternativa (H_a), respectivamente, considerando a H_0 como sendo a igualdade entre as variâncias e a H_a à variância de x ser maior do que a variância de y (MAIDA, 2020).

É possível usar os testes F de maneira simples em várias situações, por exemplo, é possível usar estatísticas F e testes F para comparar os ajustes de diferentes modelos, testar as igualdades entre médias, entre outros (MAIDA, 2020).

A realização do teste de hipóteses segue as seguintes etapas: (MAIDA, 2020).

- a) Anunciar as H_0 e H_a , $H_0: \sigma^2x = \sigma^2y$ e $H_a: \sigma^2x > \sigma^2y$;
- b) Fixar o nível de significância ($\alpha = 0,01 = 1\%$ ou $\alpha = 0,05 = 5\%$) e identificar a estatística do teste;
- c) Determinar a região crítica e a região de não rejeição;
- d) Calcular a estatística do teste;
- e) Rejeitar ou não a H_0 .

2.3.15 Teste “T” Pareado

O teste “T” pareado nada mais é do que um teste que usa a diferença entre duas amostras com o objetivo de comparar uma média amostral com um valor de acordo com a hipótese nula ($H_0: \mu d = 0$), a fim de dizer se existe ou não diferença entre observações emparelhadas ($H_a: \mu d \neq 0$) (MADUREIRA, 2016).

No teste “T” pareado ocorre a seguinte situação: (MADUREIRA, 2016).

- a) Na posse de duas amostras sendo que cada observação da primeira amostra está pareada com uma observação da segunda amostra. Exemplo: pesquisas realizadas do antes e depois no mesmo indivíduo;
- b) Não se consideram estatisticamente independentes, isso porque as duas observações são provavelmente similares;
- c) Adota-se uma distribuição normal ou aproximadamente normal das diferenças;
- d) Com dados pareados pode-se usar (28), (29) e (30):

$$x_{1i} = \text{medida 1 do par } i; \quad (28)$$

$$x_{2i} = \text{medida 2 do par } i; \quad (29)$$

$$d_i = x_{2i} - x_{1i}. \quad (30)$$

- e) Um conjunto de “ d_i ” equivale a uma amostra de diferenças, a fim de ser usado no teste “T” para uma amostra pareada.

O teste “T” Pareado deve seguir os seguintes passos: (MADUREIRA, 2016).

- a) Especificar $H_0: \mu d = 0$ e $H_a: \mu d \neq 0$, hipótese nula e hipótese alternativa respectivamente;
- b) Escolher nível de significância ($\alpha = 0,01 = 1\%$ ou $\alpha = 0,05 = 5\%$);
- c) Calcular a estatística e a estatística teste média das duas amostras conforme (31):
$$t = (\bar{d} - \mu d) / EP\bar{d}; \quad (31)$$
- d) Comparar o valor de “T” encontrado com uma distribuição de “T” com $(n - 1)$ graus de liberdade;
- e) Descrever resultados e conclusões estatísticas.

As variáveis da estatística tem os seguintes significados:

- 1) \bar{d} = *média das diferenças d_i* ;
- 2) μd = *valores de H_0 e H_a* ;
- 3) $EP\bar{d}$ = *equivale ao erro padrão das diferenças*.

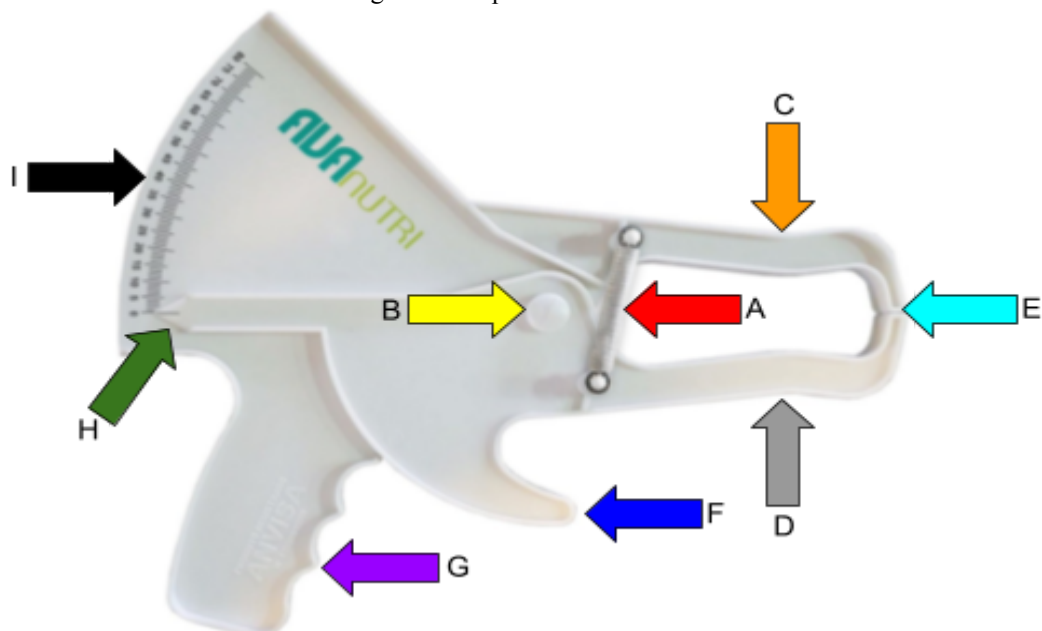
3 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

3.1 ESTRUTURA BASE PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Em via de regra, o adipômetro é um mensurador de dobras cutâneas, que funciona através da tensão de molas ao passo que fundamenta o cálculo da distância angular entre os pontos aferidos, dessa forma, possui o objetivo de captar dados e por meio desses, contribuir com a avaliação física.

A seguir seguem três figuras de dois adipômetros clínicos. A figura 8, apresenta um adipômetro da marca AVANutri com suas partes principais, já as figuras 9 e 10, contém um adipômetro similar, porém com a substituição do pino de acoplamento do eixo de rotação do adipômetro por um potenciômetro linear de 10k.

Figura 8: Adipômetro AVANutri.



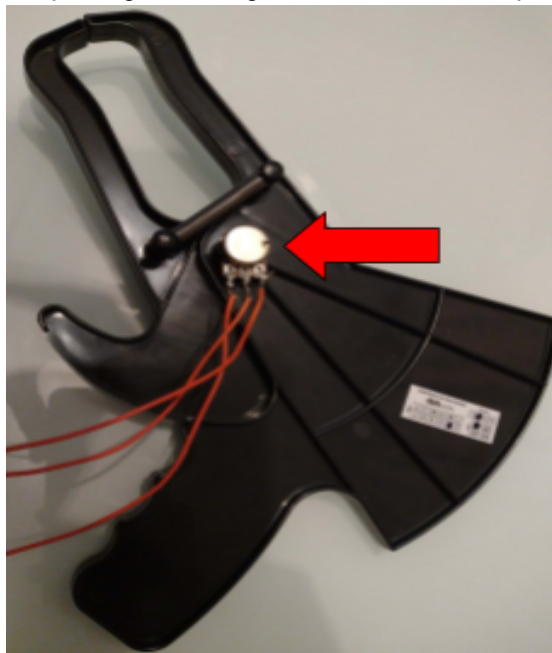
Fonte: Discente.

Na figura 8, foram destacadas as seguintes partes do adipômetro AVANutri:

- a) Molas destacadas pela letra A com pressão constante de $9,8\text{g/mm}^2$ e ângulo de 12° , simétricas entre si, porém em lados opostos do adipômetro;
- b) Pino de acoplamento do eixo de rotação destacado pela letra B;
- c) Pinça superior marcada pela letra C;
- d) Pinça inferior marcada pela letra D;
- e) Ponteiras de pinçamento das dobras cutâneas destacadas pela letra E, com ângulo de abertura de 11° ;
- f) Gatilho listado pela letra F para realizar a abertura das ponteiras;
- g) Punho destacado pela letra G;
- h) Ponteira de leitura analógica das dobras cutâneas, letra H;
- i) Escala assinalada pela letra I com sensibilidade de 1mm e amplitude de 80mm.

As duas figuras a seguir, ratificam a substituição do pino de acoplamento do eixo de rotação do adipômetro por um potenciômetro de 10k linear, conforme a indicação da seta vermelha.

Figura 9: Substituição do pino de acoplamento do eixo de rotação do adipômetro.



Fonte: Discente.

Figura 10: Substituição do pino de acoplamento do eixo de rotação do adipômetro, visão posterior.



Fonte: Discente.

O potenciômetro foi fixado ao adipômetro clínico por meio de duas partes:

- a) Parte fixa do potenciômetro: a base da parte fixa do potenciômetro foi fixada por meio de super cola, essa parte fixa do adipômetro pode ser considerada como a parte posterior ao eixo de rotação do adipômetro, conforme a figura 9;
- b) Parte móvel do potenciômetro: o eixo de rotação do potenciômetro foi fixado à uma haste metálica (parte de um prendedor de roupa) e esta haste metálica foi fixada no outro lado do eixo de rotação do adipômetro a um *knob*, maçaneta para potenciômetro, como é possível conferir na figuras 10, 11 e 12.

Figura 11: *Knob* para fixação do potenciômetro.



Fonte: Discente.

Figura 12: *Knob* fixado à haste metálica e ambos fixados no eixo de rotação do adipômetro.



Fonte: Discente.

O ângulo resultante do afastamento entre as ponteiros superior e inferior do adipômetro ocasiona a rotação do seu próprio eixo e como consequência o excursionamento do eixo de rotação do potenciômetro, logo, é possível converter o afastamento das ponteiros em variação de resistência ou variação de tensão, por parte do potenciômetro, sendo possível efetuar essa leitura pelo ESP32 e como consequência transformar esses valores em milímetros através de métodos matemáticos.

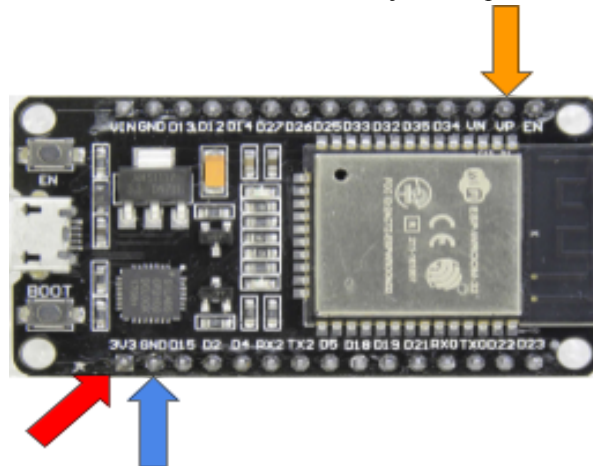
3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO *HARDWARE* DO PROTÓTIPO

3.2.1 Interação Potenciômetro / ESP32

O potenciômetro de 10k interage e tem seus dados lidos pelo o ESP32 por meio da entrada conversora analógica/digital VP (ADC_0), representada pela seta laranja, entrada também conhecida como GPIO36. O potenciômetro tem sua alimentação estabelecida junto

ao ESP32 pelo 3,3V (representada pela seta vermelha), assim como seu terra analógico (GND) tem sua conexão estabelecida com o GND do ESP32, representada pela seta azul. Conforme a figura 13.

Figura 13: Local de conexão do ESP32 junto ao potenciômetro.



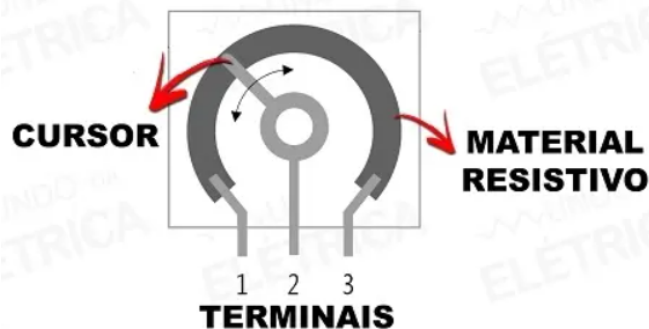
Fonte: Discente.

Esse potenciômetro é um tipo de resistor que possui três terminais cuja resistência pode ser ajustada por meio de eixo móvel, formando assim um divisor de tensão ajustável (MATTEDE, 2014).

Esses terminais são:

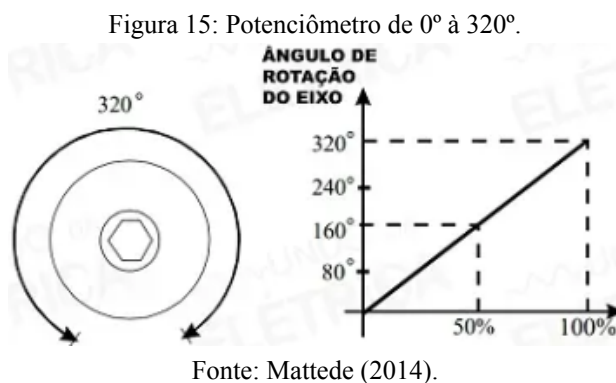
- a) Par externo (terminais “início” e “fim“, terminais 1 e 3 respectivamente), se conecta aos lados opostos de um elemento resistivo interno, identificado como trilha, figura 14;
- b) Terminal central, se conecta internamente com um contato chamado de cursor, que pode ser movido de um extremo ao outro da trilha, por meio da rotação de um eixo, também figura 14.

Figura 14: Terminais do potenciômetro.



Fonte: Mattede (2014).

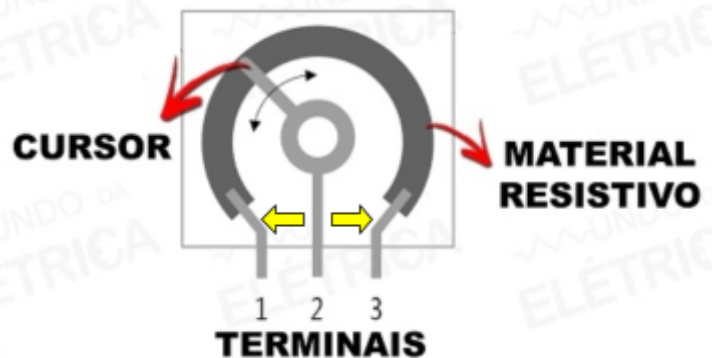
O potenciômetro possui um ângulo de rotação que varia de 0° à 320° , como visto na figura 15 (MATTEDE, 2014).



Fonte: Mattede (2014).

O potenciômetro possui uma zona morta, zona que não possui cobertura do material resistivo, sendo os 20° iniciais de angulação pertencentes ao terminal 1 e os 20° finais de angulação pertencentes ao terminal 3, de acordo com a figura 16 (MATTEDE, 2014).

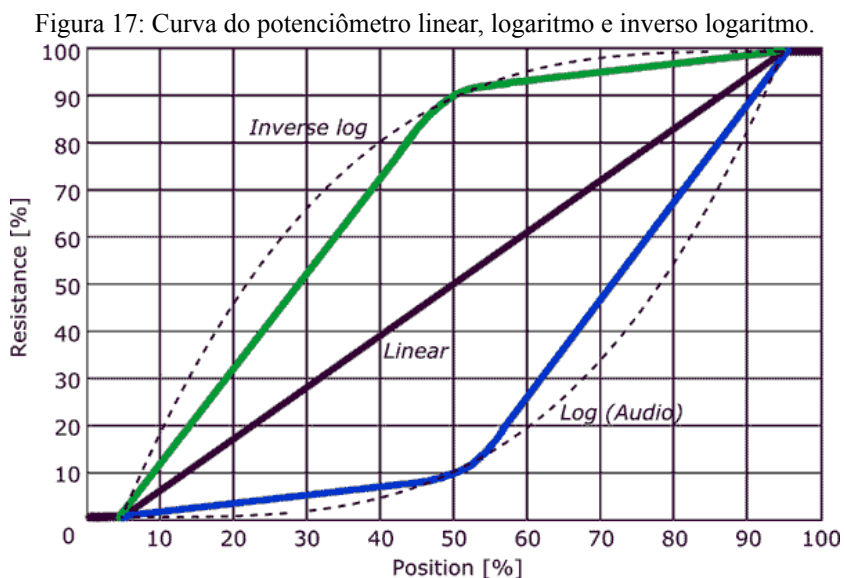
Figura 16: Zona morta do potenciômetro destacada pelas setas amarelas nos terminais 1 e 3.



Fonte: Mattede (2014).

A utilização ou não dessa faixa de 40° por vezes pode se tornar uma limitação dependendo do projeto (MATTEDE, 2014).

Os potenciômetros lineares têm relação linear entre a posição angular e a resistência, figura 17; ao mover o cursor em 10% o elemento resistivo altera a resistência em 10% (SCHERZ; MONK, 2013).



Fonte: Reis (2018).

A curva de resistência do potenciômetro utilizado no protótipo funciona de maneira linear, logo, a resistência varia de maneira proporcional ao ângulo de giro.

Levando em consideração o ângulo de rotação do potenciômetro (0° à 320° graus), os 40° de variação de zona morta e a linearidade do potenciômetro, a faixa desejada de medição no protótipo ocorre entre os 20° e os 300° de angulação do potenciômetro e aproximadamente de 5% à 95% de posição para a linearidade, conforme a curva do potenciômetro linear, figura 17.

No caso do protótipo, a faixa de operação de tensão é de 0,16V a 0,61V, faixa correspondente ao intervalo de $34,54^\circ$ à $75,45^\circ$ graus de rotação do potenciômetro respectivamente, respeitando tanto a zona morta quanto a linearidade da curva de resistência do potenciômetro. A utilização dessa faixa angular tem como objetivo garantir variações de tensão (resistência) fugindo da zona morta do próprio potenciômetro e por consequência assegurar a leitura dos dados por parte do microcontrolador, uma vez que o protótipo utiliza uma pequena faixa angular do potenciômetro.

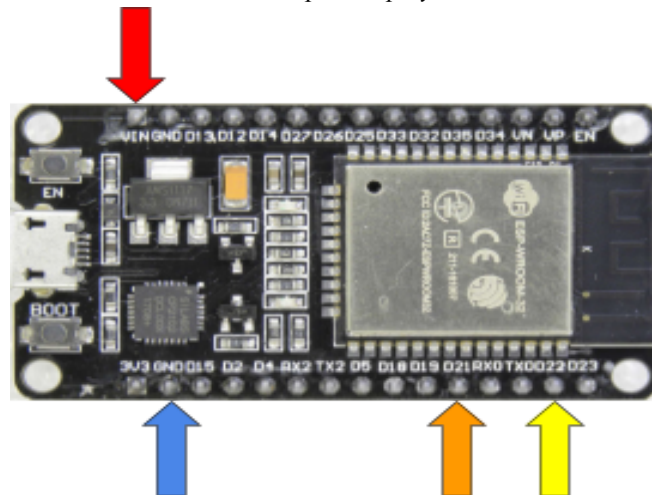
3.2.2 Demais partes do protótipo

3.2.2.1 *Display* LCD 16x2 com módulo I2C

O *display* LCD 16x2 (figura 19) com módulo I2C (figura 20), possui 16 colunas por 2 linhas, é composto por algumas partes que serão explicadas e mostradas a seguir:

- a) Um SDA (*Serial Data*), mecanismo responsável tanto por receber quanto por enviar dados, o SDA é conectado à porta digital D21 (GPIO21) do ESP32, representado pela seta laranja, figura 18;
- b) Um SCL (*Serial Clock*), mecanismo responsável por fazer a sincronização entre todos os sistemas, conectado à porta digital D22 (GPIO22) do ESP32, representado pela seta amarela também na figura 18;
- c) Porta de alimentação, conectada à porta Vin do ESP32, representada pela seta vermelha também na figura 18;
- d) Porta GND, local de referência no circuito eletrônico à 0 volts, conectada ao GND do ESP32, representado pela seta azul, figura 18.

Figura 18: Portas do ESP32 usadas pelo *display* LCD 16x2 com módulo I2C.



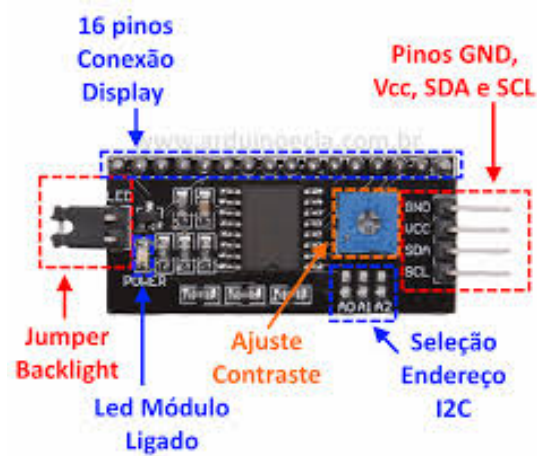
Fonte: Discente.

Figura 19: *Display* LCD 16x2.



Fonte: Discente.

Figura 20: Módulo I2C.



Fonte: Arduino e Cia (2014).

Figura 21: *Display LCD 16x2* com módulo I2C acoplado, visão inferior.

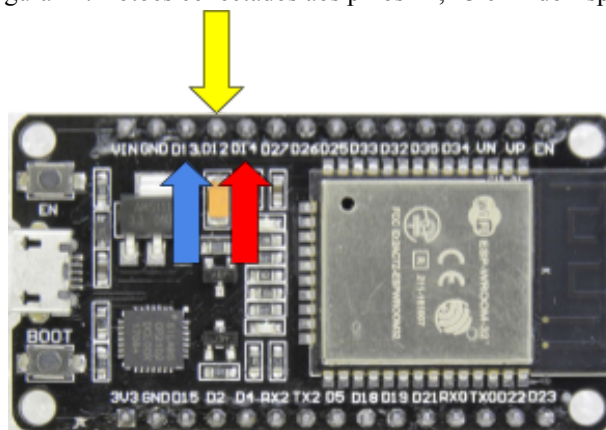


Fonte: Discente.

3.2.2.2 Botões de interação

A interação do usuário com o protótipo ocorre também através de *Push Buttons* (botões de pressão), os quais são responsáveis pela seleção de todos os procedimentos do protótipo, neste caso, GPIO 12, 13 e 14 do Esp32, figura 22. Esses botões de interação operam em modo “*INPUT_PULLUP*”, ou seja, o microcontrolador usa um resistor interno para ligar as portas responsáveis pelos botões ao 3.3V.

Figura 22: Botões conectados aos pinos 12, 13 e 14 do Esp32.



Fonte: Discente.

3.2.2.3 Alimentação do protótipo (módulo bateria 18650 e bateria de lithium 18650)

O protótipo é alimentado com uma *Shield*, figura 23, com capacidade de fornecer entre 3,3V e 5V ao microcontrolador. Essa *Shield* possui:

- a) Porta USB;
- b) Corrente de carga 0,5A;
- c) Tensão de entrada de 5V a 8V aproximadamente;
- d) Tensão de saída entre 3,3V (até 1A) e 5V (até 2A);
- e) LED que indica o status da bateria;
- f) Três portas de saída 3,3V e três portas de saída 5V.

Figura 23: Módulo bateria 18650.



Fonte: Discente.

As células de lithium, figura 24, fornecem tensões que variam de 3,6V a 3,7V e possuem um tempo de carregamento total que varia de 6 a 8 horas, sendo realizada em 2 ou 3 estágios, sendo os dois primeiros estágios de corrente constante e o último um estágio de tensão constante.

Figura 24: Bateria de Lithium Recarregável 18650.



Fonte: Discente.

3.2.2.4 *Hardware* implementado

A figura 25 mostra o *hardware* implementado.

Figura 25: *Hardware* implementado.



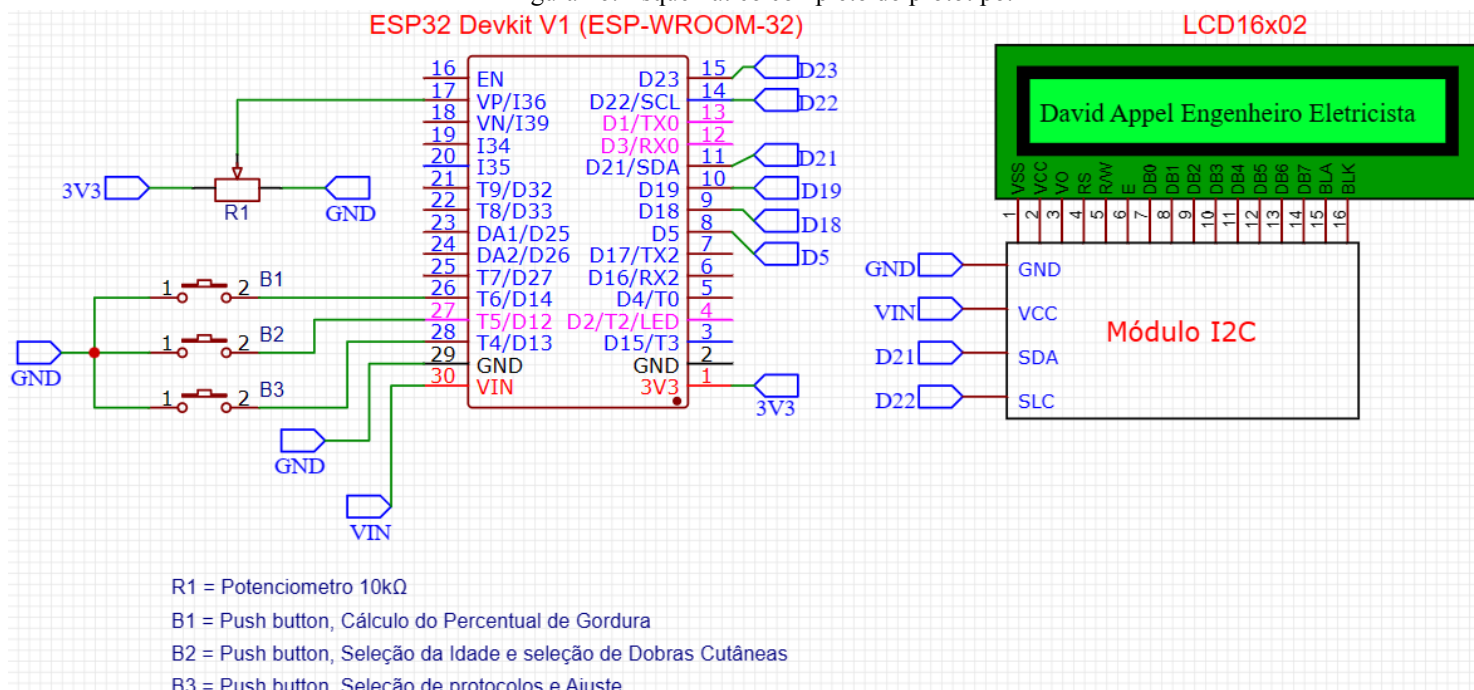
Fonte: Discente.

3.3 ESQUEMÁTICO ELETROELETRÔNICO

O *hardware* foi implementado de acordo com os esquemas eletroeletrônicos desenvolvidos no *software* simulador de circuitos *EasyEDA*. O *EasyEDA* é um simulador *Web* que permite projetar, simular e compartilhar tanto de maneira pública quanto de maneira privada os esquemas eletroeletrônicos desenvolvidos em sua plataforma.

Na figura 26, pode-se conferir os esquemas eletroeletrônicos aplicados no protótipo.

Figura 26: Esquemático completo do protótipo.



Fonte: Discente.

3.4 IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE DO PROTÓTIPO

O ambiente de desenvolvimento usado na placa ESP32, para *upload* de códigos, se chama Arduino IDE. É um *software* gratuito de código aberto (*open code*) e de fácil instalação que facilita não só o desenvolvimento mas também a gravação de códigos diretamente no microcontrolador.

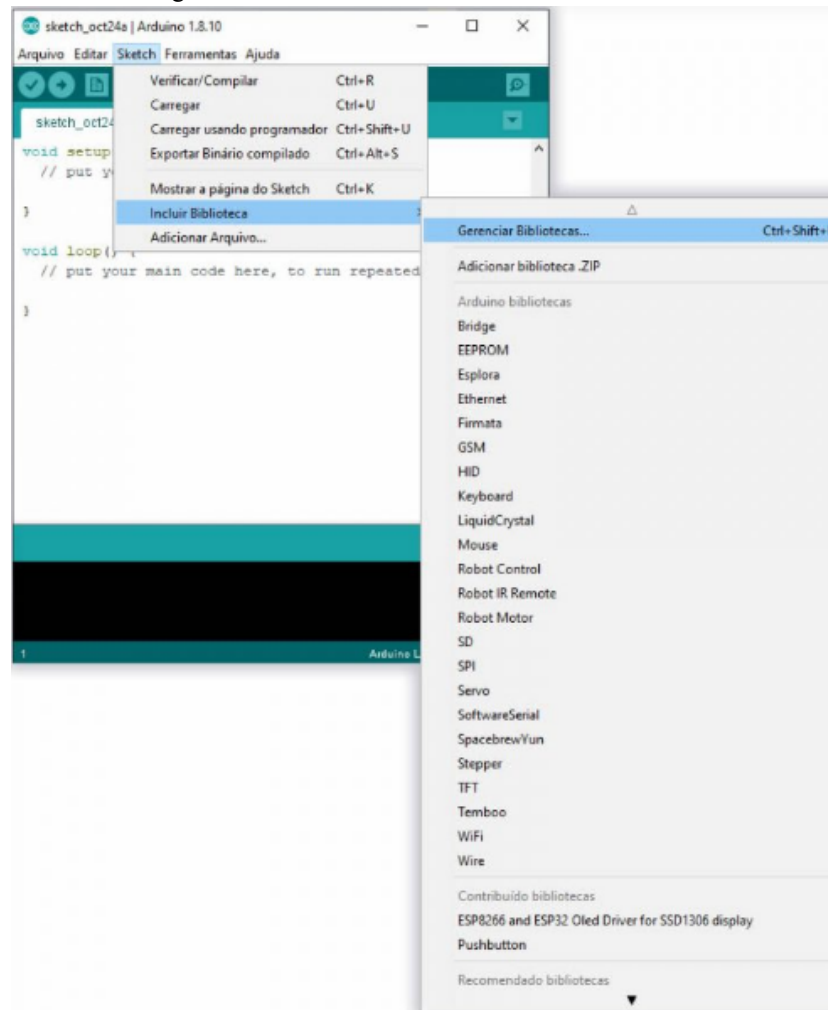
O Arduino IDE tem como vantagens:

- a) A possibilidade de compilação de diversos códigos para a placa em si;
- b) A compatibilidade com a maioria dos sistemas operacionais, tais como: *Windows* e *Linux* por exemplo;
- c) A versatilidade, pois possibilita a codificação de todos os modelos de placas tanto de série ESP quanto da série Arduino, sem distinção.

Existem dois modos distintos para realizar *Upload* de códigos ESP/Arduino, uma das maneiras é através do *software* instalado junto ao computador, a outra via se dá através de navegador por meio de uma plataforma *online* produzida pela Empresa detentora dos direitos do Arduino.

É possível trabalhar com inúmeros projetos dentro do Arduino IDE, é possível ainda incluir bibliotecas, figura 27, (disponíveis via internet por meio de um sistema *online* de bibliotecas), no entanto, existem bibliotecas que não são cadastradas ou são incompatíveis com determinados tipos de projetos.

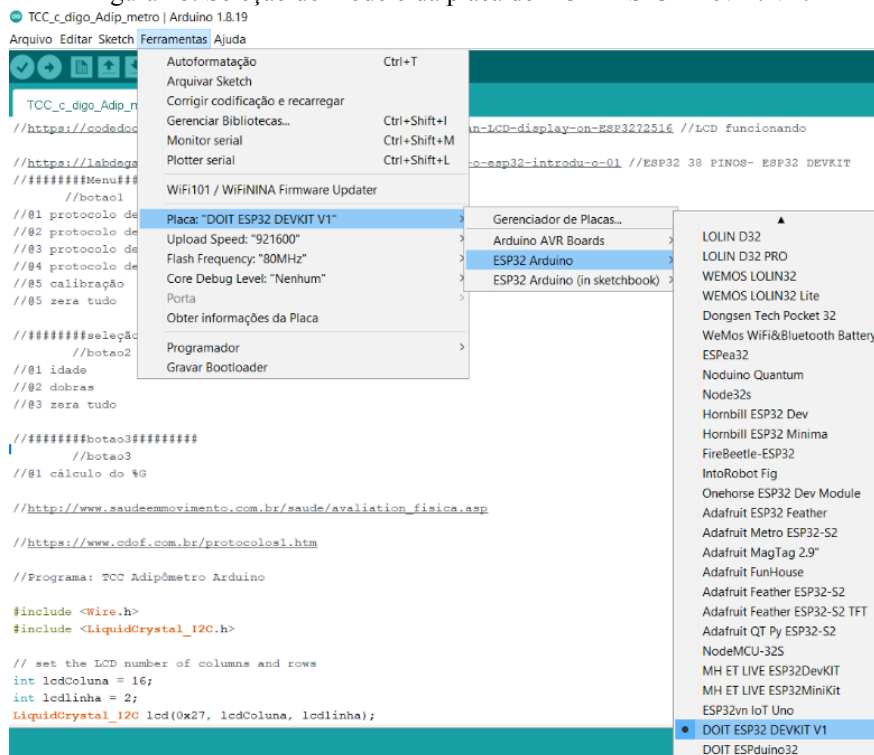
Figura 27: Inclusão de bibliotecas via Arduino IDE.



Fonte: Usinainfo (2019).

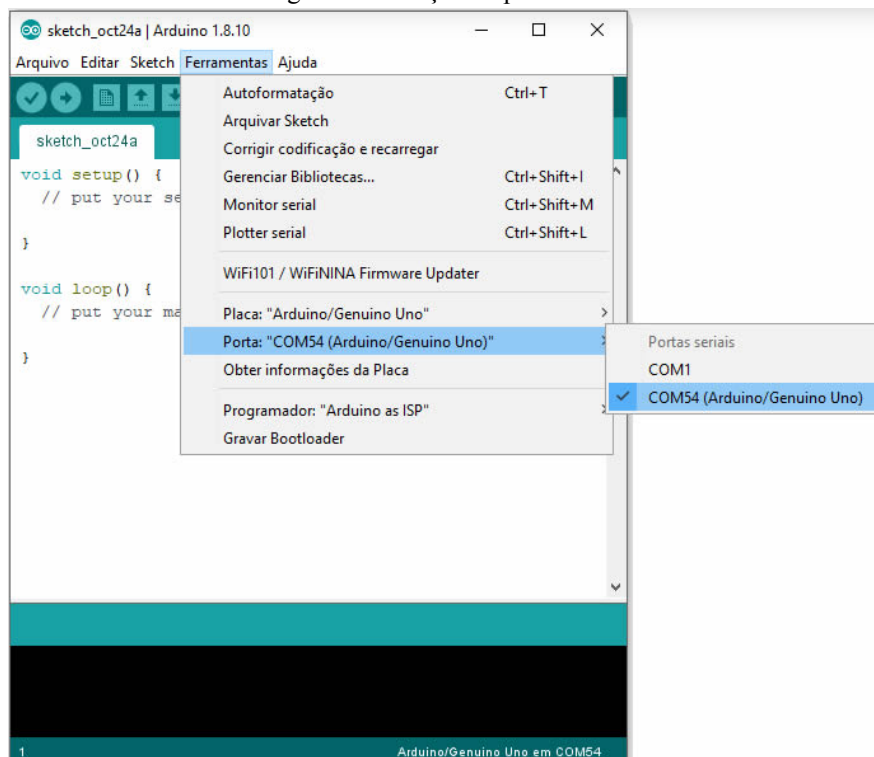
Dois detalhes são importantes para a utilização correta do *software* Arduino (IDE): o primeiro é a seleção da placa correta (no caso do protótipo, ESP32 Wroom32 Devkit) e o segundo detalhe se refere à seleção correta da porta serial, também conhecida como porta COM, como mostrado nas imagens 28 e 29 respectivamente.

Figura 28: Seleção do modelo da placa de DOIT ESP32 Devkit V1.



Fonte: Usinainfo (2019).

Figura 29: Seleção da porta COM.



Fonte: Usinainfo (2019).

Como mencionado anteriormente, o Arduino IDE é de simples instalação e manuseio e se os procedimentos forem seguidos de maneira correta, a sua utilização ocorrerá sem problemas.

A estrutura de implementação do *software* do protótipo foi dividida em 3 partes: interface de usuário, avaliação física e ajuste.

3.4.1 Interface de usuário

A interação interface usuário protótipo, acontece por meio do manuseio tanto do adipômetro em si quanto dos botões de seleção.

Inicialmente, o protótipo foi elaborado para operar com 7 botões para a lógica de interação interface/usuário, mas por meio de diversos ajustes, esse número foi reduzido para 3 botões de interação interface/usuário.

Os pinos digitais do ESP32 D14, D12, D13, correspondem ao uso dos 3 botões de interação entre a interface do protótipo e o usuário e são responsáveis pelo acionamento do protótipo de acordo com a descrição de funcionamento abaixo:

1) O primeiro botão, pino digital D14, é responsável pelos 6 modos de operação do dispositivo, sendo 4 protocolos de avaliação física, 1 protocolo responsável pelo ajuste do aparelho e mais 1 opção de “retornar ao menu inicial”, conforme descrição abaixo:

- a) Protocolo de 7 dobras para homens;
- b) Protocolo de 7 dobras para mulheres;
- c) Protocolo de 3 dobras para homens;
- d) Protocolo de 3 dobras para mulheres;
- e) Protocolo de ajuste;
- f) Voltar ao menu inicial, ou seja, um *Reset*.

2) O segundo botão, pino digital D12, é responsável pela definição das iniciais do nome do indivíduo, pela data, pela idade (a idade mínima é de 18 anos), pela altura e pelo peso, conforme descrição a seguir:

- a) Nome do indivíduo, letras iniciais;
- b) Data;
- c) Idade;
- d) Peso;
- e) Altura;
- f) IMC;
- g) Percentual de gordura.

3) O terceiro botão, pino digital D13, é responsável tanto pela captura de diversas variáveis quanto por anunciar o restante dos resultados, conforme abaixo:

- a) Dobra do peitoral;
- b) Dobra da coxa;
- c) Dobra do abdômen (ABD);
- d) Dobra tricipital;
- e) Dobra subescapular;
- f) Dobra suprailíaca;
- g) Dobra axilar;
- h) Somatório das dobras cutâneas;
- i) Percentual de massa magra (PM);
- j) Densidade corporal;
- k) Massa magra em kg;
- l) Massa gorda também em kg;
- m) Peso corporal ideal (PCI);
- n) Peso corporal em excesso (PCE).

Observação importante: os protocolos de avaliação física, por meio do adipômetro, não permitem a auto-avaliação.

3.4.2 Avaliação física

O método de avaliação física proporciona uma estimativa da composição corporal a partir da análise da espessura das dobras cutâneas, e para tal método de avaliação física, utiliza-se o adipômetro.

O protótipo adaptou um adipômetro clínico transformando-o em adipômetro digital e dessa forma segue a mesma metodologia de avaliação física de um adipômetro convencional.

Para realizar a avaliação física utilizando o protótipo, são utilizados os procedimentos avaliativos listados abaixo:

- 1) Primeiramente, deve-se ajustar o protótipo;
- 2) Todas as medições devem ser realizadas no lado direito do corpo do indivíduo a ser avaliado, estando o indivíduo com a pele anatomicamente seca, sem ferimentos e sem edemas;
- 3) Através da interface de usuário deve-se selecionar um dos 4 protocolos de avaliação física disponíveis no protótipo;
- 4) Ainda através da interface de usuário deve-se selecionar a idade, de 18 à 65 anos, do indivíduo a ser avaliado;
- 5) O avaliador físico deve identificar os locais a serem medidos e marcá-los utilizando uma caneta ou até mesmo um lápis apropriado;
- 6) O pinçamento das pregas cutâneas deve ser realizado com a mão esquerda, mais precisamente, utilizando os dedos polegar e indicador, a aproximadamente, 1 cm acima dos locais onde ocorreram as marcações;
- 7) Posicionar as pinças superior e inferior do adipômetro perpendiculares à dobra, ± 1 cm abaixo do local pinçado com o polegar e indicador, e soltar lentamente o gatilho e o punho do compasso, ao passo que é mantida a dobra pressionada enquanto a medida é realizada (a leitura no protótipo acontece em ± 3 segundos após a pressão ter sido aplicada na dobra cutânea);
- 8) Afastar as pinças superior e inferior do compasso, pressionando o punho e o gatilho, para removê-las e fechá-las de maneira cuidadosa;
- 9) O *display* do protótipo mostra em milímetros cada local aferido;

- 10) O *display* do protótipo mostra a avaliação física completa do indivíduo, com foco maior no percentual de gordura corporal já calculado, além de classificar o indivíduo quanto ao nível referencial de gordura corporal.

As figuras 30, 31 e 32 mostram alguns dos passos da avaliação física realizada com o protótipo.

Figura 30: Seleção do protocolo de avaliação física de 3 dobras para mulheres.



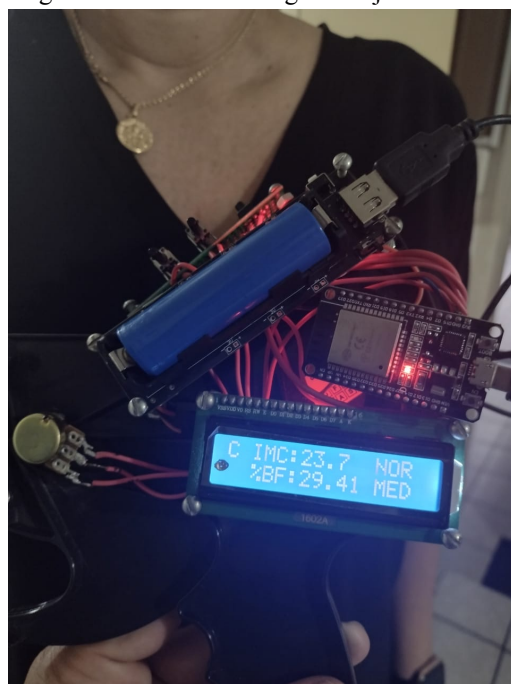
Fonte: Discente.

Figura 31: Pinçamento da dobra cutânea suprailíaca.



Fonte: Discente.

Figura 32: Percentual de gordura já calculado.



Fonte: Discente.

3.4.3 Ajuste

O Método dos Mínimos Quadrados é uma opção extremamente viável a fim de se analisar as tendências de um conjunto de dados os quais necessitam de um maior grau de rigor na aquisição das informações.

Para tanto, com o objetivo de se ajustar o protótipo de adipômetro digital, optou-se por utilizar o Método dos Mínimos Quadrados, e através desse método, encontrar os valores de “a” e “b” presentes na equação da reta, $y = ax + b$.

O trabalho introduziu o Método dos Mínimos Quadrados por meio de um código de programação, código de ajuste, junto ao *software* com o objetivo de ajustar os valores lidos pelo microcontrolador do protótipo, fornecendo assim os requisitos necessários para encontrar o diâmetro das dobras cutâneas em milímetros.

O protocolo de ajuste foi dividido em 4 etapas, sendo elas:

Etapa 1 - Capturar os valores do potenciômetro por meio do Esp32:

Primeiramente, deve-se ler os valores do pino analógico, o qual o potenciômetro foi acoplado. O Esp32 possui um ADC (conversor analógico digital) de 12 bits, isso significa que as tensões de entrada entre 0 e 3,3V aplicadas ao pino do potenciômetro serão mapeadas dentro da faixa de operação que varia de 0 a 4095. A figura 33 exemplifica esse mapeamento de um dos valores entre 0 a 4095.

Figura 33: valor mapeado de 770.



Fonte: Discente.

Etapa 2 - Utilizar os valores mapeados do potenciômetro, simbolizados por “x”, relacionados aos valores de “y” fixados no código em milímetros que equivalem aos milímetros lidos no adipômetro:

- 1) As variações do “X” são todos os valores lidos pelo potenciômetro tais como: x, x1, x2, x3 e x4;
- 2) Os valores fixados para o “Y” no código são: y = 0mm, y1 = 10mm, y2 = 20mm, y3 = 30mm e y4 = 40mm;
- 3) Os diâmetros pré definidos no adipômetro são: 0mm, 10mm, 20mm, 30mm, 40mm e correspondem respectivamente aos valores de fixados em “Y”;
- 4) Para cada valor do “X” (valor lido pelo potenciômetro x, x1, x2, x3 e x4), delimita-se um valor no código para “Y” (y = 0mm, y1 = 10mm, y2 = 20mm, y3 = 30mm e y4 = 40mm) e verifica-se uma medida em milímetros do adipômetro (0mm, 10mm, 20mm, 30mm e 40mm) respectivamente, conforme (32) e as figuras 34 e 35.

Y fixado em zero no código de programação, segundo (32):

$$y = 0 \quad (32)$$

Figura 34: Adipômetro fixado em zero.



Fonte: Discente.

Figura 35: Protótipo lendo um valor mapeado de 770 a partir da leitura do nível de tensão equivalente ao zero do adipômetro.



Fonte: Discente.

Etapa 3 - Encontrando os valores de “A” e “B”:

- 1) O Esp32 irá elevar ao quadrado cada valor “X” (x, x1, x2, x3, x4). Por exemplo: $x * x$ e salvando o resultado dentro da variável XQ, $x1 * x1$ e salvando o resultado dentro da variável XQ1 e assim sucessivamente até que todos os “X” obtenham seu próprio quadrado;
- 2) O Esp32 irá multiplicar cada “X” por seu respectivo “Y”. Exemplo: $x * y$ e salvando o resultado dentro da variável XY, $x1 * y1$ e salvando o resultado dentro da variável XY1 e assim por diante até todos os “X” e “Y” tenham sua multiplicação efetuada;
- 3) O Esp32 irá somar todos os valores de “X” (*SomaX*), de “Y” (*SomaY*), da multiplicação de “X” por “Y” (*SomaXY*) e de “X” elevado ao quadrado (*SomaXQ*);
- 4) O Esp32 irá contar o número de vezes que as operações aconteceram, “N” representa essa contagem;
- 5) Por fim distribuir essas somas dentro das equações de linearização de curvas por Mínimos Quadrados a fim de se encontrar os valores de “A” e “B”, conforme (33) e (34):

$$A = (N * SomaXY - SomaX * SomaY) / N * SomaXQ - (pow(SomaX, 2)) \quad (33)$$

$$B = (SomaY - (SomaX) * A) / N \quad (34)$$

Após encontrar os valores de “A” e “B” (coeficientes da equação da reta) com auxílio das equações (33) e (34), o Esp32 irá adaptar a variável “garra_mili” e as variáveis referentes às dobras cutâneas (peitoral, abdominal, tricipital, suprailíaca, subescapular, coxa e axilar) à equação da reta ($y = ax + b$).

Etapa 4 - Adaptação das variáveis à equação da reta, $y = ax + b$:

Após a realização das etapas anteriores, aqui ocorre a realimentação da equação da reta por meio da utilização tanto da variável “garra_mili” quanto das variáveis que recebem os valores das dobras cutâneas.

Aqui a variável "garra_mili" recebe os valores lidos no ADC através da transdução realizada no potenciômetro se adaptando aos valores do “X” da reta no código. Já as variáveis que nomeiam as dobras cutâneas receberam os valores do “Y” da reta. Em resumo

“garra_mili” equivale à “X”, já o “Y” recebe todas as variáveis que representam as dobras cutâneas formando a nova equação da reta, de acordo com (35):

$$\text{dobras cutâneas} = A * \text{garra_mili} + B \quad (35)$$

Agora, após a substituição dos valores encontrados na nova equação da reta, o protótipo do adipômetro digital já está ajustado e pronto para realizar avaliações físicas, como é demonstrado nas figuras 36 e 37:

Figura 36: Leitura da dobra suprailíaca.



Fonte: Discente.

Figura 37: IMC e Percentual de gordura.



Fonte: Discente.

3.5 LISTA DE MATERIAIS

As tabelas 2 e 3, introduzem o custo de desenvolvimento do protótipo a partir da lista de materiais utilizados. A tabela 2 inclui os gastos com a compra da protoboard e frete do ESP32, já a tabela 3, destaca apenas o valor do protótipo finalizado. Considerando uma produção em massa, alguns componentes poderiam ser substituídos ou até mesmo excluídos da versão final, com o objetivo de redução de custos.

Tabela 2: Custo estimado para o desenvolvimento do protótipo.

Qtd	Componente	Unid (R\$)	Total (R\$)	Total (%)
1	ESP32 Wroom32 DevKit 30 pinos	R\$ 50,00	R\$ 50,00	26,77%
1	Frete ESP32 Wroom32 DevKit 30 pinos	R\$ 12,00	R\$ 12,00	6,43%
1	Adipômetro AVANutri	R\$ 71,25	R\$ 71,25	38,15%
1	Potenciômetro 10k	R\$ 1,44	R\$ 1,44	0,77%
1	Jumpers e cabos kit (10 unidades)	R\$ 5,61	R\$ 5,61	3,00%
3	Push buttons	R\$ 0,19	R\$ 0,57	0,31%
1	Display LCD 16x2 com I2C Backlight Azul	R\$ 25,00	R\$ 25,00	13,39%
2	Protoboard 830 pontos MB 102	R\$ 10,45	R\$ 20,90	11,19%
Custo estimado de desenvolvimento do Protótipo			R\$ 186,77	100,00%

Fonte: Discente.

Tabela 3: Custo do protótipo concluído.

Qtd	Componente	Unid (R\$)	Total (R\$)	Total (%)
1	ESP32 Wroom32 DevKit 30 pinos	R\$ 50,00	R\$ 50,00	23,73%
1	Adipômetro AVANutri	R\$ 71,25	R\$ 71,25	33,82%
1	Potenciômetro 10k	R\$ 1,44	R\$ 1,44	0,68%
1	Jumpers e cabos kit (10 unidades)	R\$ 5,61	R\$ 5,61	2,66%
3	Push buttons	R\$ 0,19	R\$ 0,57	0,27%
1	Display LCD 16x2 com I2C Backlight Azul	R\$ 25,00	R\$ 25,00	11,87%
1	módulo bateria 18650	R\$ 43,90	R\$ 43,90	20,84%
1	bateria de lithium 18650	R\$ 12,90	R\$ 12,90	6,12%
Custo total do protótipo			R\$ 210,67	100,00%

Fonte: Discente.

4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 PRECISÃO E EXATIDÃO FINAL DO DISPOSITIVO

Com o objetivo de avaliar tanto a precisão quanto a exatidão do protótipo de adipômetro digital em relação ao adipômetro clínico, foram feitos cálculos levando em consideração apenas os 25 milímetros de diâmetro dos blocos padrão, isso porque as medições de 10 e 20 milímetros tiveram um menor número de intercorrências durante as medições.

As avaliações de precisão e exatidão foram desenvolvidas a partir de 20 amostras, tabela 8, tanto por parte do adipômetro clínico quanto por parte do protótipo de adipômetro digital.

A precisão é encontrada por meio do cálculo do *CV* e a exatidão é encontrada por meio do cálculo do *ER*.

Como o Erro absoluto (referência para *ER*) tem como base o valor medido em relação ao valor de referência, optou-se por usar o valor medido da amostra N° 5 por parte do adipômetro clínico e o valor medido da amostra N° 20 por parte do protótipo, valores esses que correspondem ao pior cenário medido em ambos os dispositivos para o valor de referência de 25mm, tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Precisão e Exatidão do adipômetro para 25 milímetros.

Parâmetros	Adipômetro Clínico	
Nº de amostras	20	
Amostra (mm)	25	
Média	25,0100	
Desvio P	0,0308	
CV = $(\sigma / \bar{x}) \cdot 100\%$	0,12%	
Incert (q) = $\bar{x} \pm \sigma$	24,9792	25,0408
Repet (Re) = $\pm t \cdot \sigma$	-0,0643	0,0643
Td = $\bar{x} - VV$	0,0100	
E5 = $Vm - VV$	0,1000	
ER = $(E / VV) \cdot 100\%$	0,40%	
EP = σ / \sqrt{n}	0,0069	
ES = $\bar{x}_\infty - VV$	0,0100	
C = - Td	-0,0100	
Curva E = $Td \pm Re$	-0,0543	0,0743
IC = $\bar{x} \pm z \cdot (\sigma / \sqrt{n})$	24,9922	25,0278

Fonte: Discente.

Tabela 5: Precisão e Exatidão do protótipo adipômetro digital para 25 milímetros.

Parâmetros	Protótipo Adipômetro Digital	
Nº de amostras	20	
Amostra (mm)	25	
Média	25,0125	
Desvio P	0,0861	
CV = $(\sigma / \bar{x}) \cdot 100\%$	0,34%	
Incert (q) = $\bar{x} \pm \sigma$	24,9264	25,0986
Repet (Re) = $\pm t \cdot \sigma$	-0,1799	0,1799
Td = $\bar{x} - VV$	0,0125	
E20 = $Vm - VV$	0,2400	
ER = $(E / VV) \cdot 100\%$	0,96%	
EP = σ / \sqrt{n}	0,0192	
ES = $\bar{x}_\infty - VV$	0,0125	
C = - Td	-0,0125	
Curva E = $Td \pm Re$	-0,1674	0,1924
IC = $\bar{x} \pm z \cdot (\sigma / \sqrt{n})$	24,9628	25,0622

Fonte: Discente.

Segundo o CV, o adipômetro clínico possui uma precisão de 0,12%, isso significa que as repetidas medições estão muito mais próximas umas das outras (os dados obtidos são mais homogêneos) se comparadas às repetidas medições do protótipo, uma vez que o protótipo possui uma precisão de 0,34%, conforme as tabelas 4 e 5.

De acordo com ER, o adipômetro clínico possui uma exatidão de 0,40%, isso significa que os valores medidos estão muito mais próximos dos valores reais se comparados aos valores obtidos pelo protótipo que possui uma exatidão de 0,96%, segundo as tabelas 4 e 5.

O protótipo é menos preciso e menos exato do que o adipômetro clínico.

Como é possível conferir tanto na tabela 12 quanto na figura 45, o protótipo possui um erro máximo de 25,4324 que nada mais é do que o maior valor agregado de tendência e repetibilidade.

A não linearidade do protótipo tem o valor de 31,7905%, fato esse que significa que a reta de linearidade se afasta em relação a curva de ajuste em 31,7905%. A não linearidade foi calculada seguindo a equação 27, equação essa que leva em consideração o erro máximo e a faixa de indicação no valor de 80 milímetros, tabela 6.

Ainda referente à tabela 4, é possível notar que o adipômetro clínico possui uma incerteza que varia de 24,9922 até 25,0278 e uma *Re* com variação de -0,0643 até 0,0643. Em contrapartida, na tabela 5, é possível notar que o protótipo possui uma incerteza que varia de 24,9628 até 25,0622 e uma *Re* com variação de -0,1799 até 0,1799.

Vale lembrar que a incerteza é calculada em função da média mais ou menos o desvio padrão, enquanto que a repetibilidade depende do coeficiente “T” student multiplicado pelo desvio padrão.

Na tabela 6, é possível notar que o protótipo possui também uma faixa de medição que vai de 0 até 80 milímetros; uma sensibilidade de 6,875mV / mm; entre outros parâmetros.

Tabela 6: Parâmetros de funcionamento do protótipo.

Parâmetros	Protótipo Adipômetro Digital
Faixa de Indicação	80 mm
Faixa de Medição	0 mm à 80 mm
Sensibilidade	6,875 mV / mm
Dobras Cutâneas	0,5 mm
Resolução IMC	0,1 kg / m ²
Resolução %PG	0,01 %
Resolução ST	0,01 mm
Resolução MM	0,01 kg
Resolução MG	0,01 kg
Resolução Idade	1 ano
Resolução Peso	1 kg
Resolução Altura	0,01 m

Fonte: Discente.

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE O PROTÓTIPO E UM ADIPÔMETRO CLÍNICO

Com a finalidade de comparar estatisticamente o protótipo e o dispositivo convencional, foram desenvolvidos dois testes, o Teste “F” que levou em consideração 25 milímetros de abertura das ponteiros (protótipo e adipômetro clínico) e o Teste “T” Pareado que levou em consideração as avaliações físicas. Em ambos os testes, foram utilizados $n - 1$ graus de liberdade para a análise estatística.

De maneira geral, o teste “F” trabalha com amostras de duas populações diferentes, por esse motivo, o teste “F” foi desenvolvido a partir de 20 amostras por parte do protótipo e 10 amostras por parte do mecanismo convencional. Para embasar o teste “F”, foram utilizado os blocos padrão de 25 milímetros, e os resultados foram os seguintes de acordo com as figuras (38, 39, 40, 41, 42, 43 e 44) e tabela 7:

Figura 38: Blocos padrão.



Fonte: Discente.

Figura 39: Blocos padrão de 10, 20 e 25 milímetros.



Fonte: Discente.

Figura 40: Suporte para fixação dos blocos padrão.



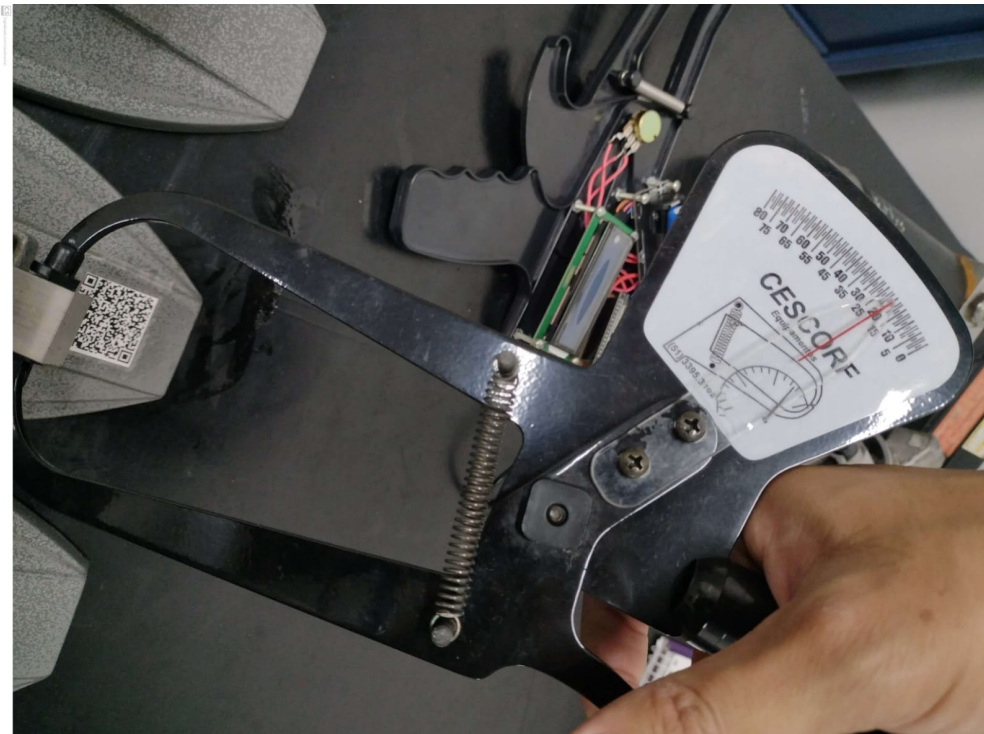
Fonte: Discente.

Figura 41: Adipômetro Cescorf.



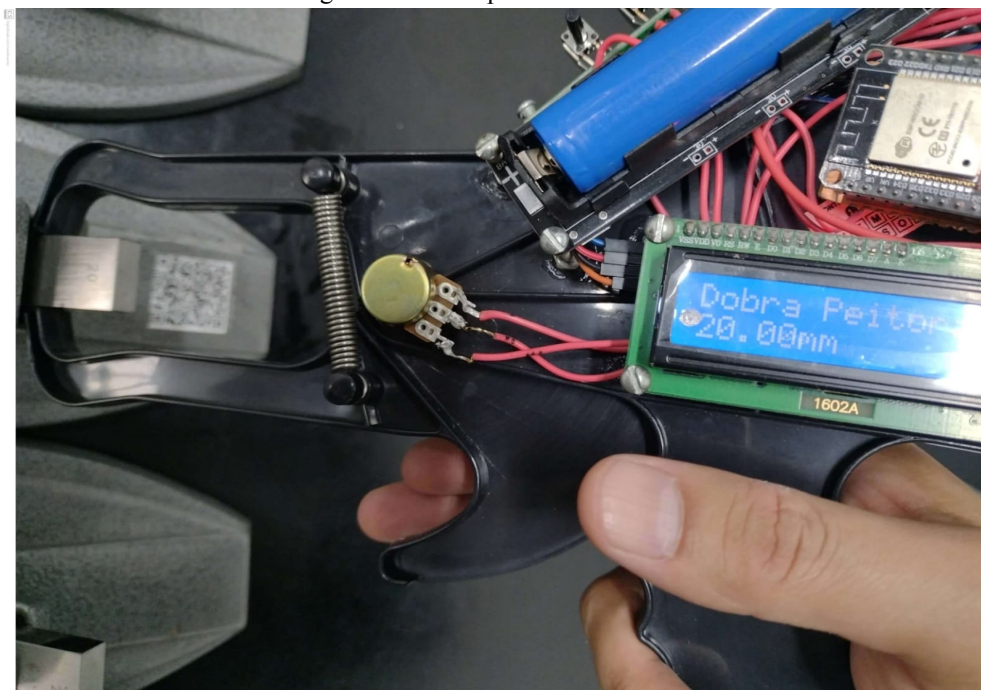
Fonte: Discente.

Figura 42: Adipômetro Cescorf - 20 milímetros.



Fonte: Discente.

Figura 43: Protótipo - 20 milímetros.



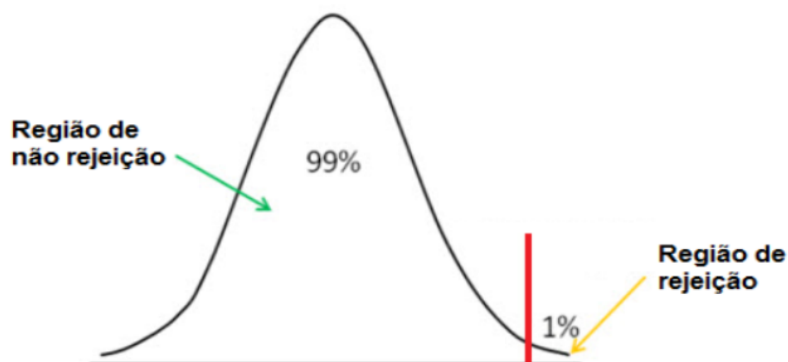
Fonte: Discente.

Tabela 7: Teste "F".	
Teste "F" 25mm	
σ^2x	0,0074
σ^2y	0,0018
1º	H0: $\sigma^2x = \sigma^2y$ H1: $\sigma^2x > \sigma^2y$
2º	$\alpha = 1\%$ e 5%
Gráfico da região crítica	
3º	Ftab => F1%(20;10) = 4,83 Ftab => F5%(20;10) = 2,95
4º	Fc = σ^2x/σ^2y 4,17
5º	Ftab(5%) < Fc < Ftab(1%)

Fonte: Discente.

Para o teste "F", foram utilizados dois níveis de significância em conjunto com a tabela F e constatou-se que o teste é significativo para um $\alpha = 5\%$, mas não para um $\alpha = 1\%$, logo, rejeita-se a H_0 com grau de confiança de 95%, pois os dados diferem entre si. No entanto, com um grau de confiança de 99%, não rejeita-se H_0 a 1%, pois os dados não possuem diferença significativa, situação ilustrada pelo gráfico de rejeição de hipóteses, figura 44.

Figura 44: Gráfico de não rejeição da H_0 com 99%.



Fonte: Discente.

Vale ressaltar que o $F_{\text{calculado}}$ do teste “F” possui um valor de 4,17 que fica localizado entre o $F_{5\%} = 2,95$ e o $F_{1\%} = 4,83$.

Portanto, é possível ratificar que o $F_{\text{calculado}}$ encontra-se dentro da região de não rejeição da H_0 a 1% e que as amostras submetidas estão dentro do intervalo de confiança em 99 de 100 amostras, logo, como os dados não diferem entre si, as variâncias são consideradas semelhantes e por consequência os dispositivos também.

Como a H_0 não foi rejeitada assume-se que pode ocorrer o erro tipo II, sendo menor que 1%, ou seja, o erro tipo II é não rejeitar a H_0 quando ela é falsa.

A tabela 8, ilustra a comparação entre amostras colhidas para 10, 20 e 25 milímetros, contudo, o teste “F” utilizou apenas os valores de 25 milímetros tanto do adipômetro clínico quanto do protótipo.

Tabela 8: Teste “F” com auxílio de blocos padrão.

N°	Teste “F” (Blocos Padrão)					
	Adipômetro Clínico			Protótipo de Adipômetro Digital		
	10 mm	20 mm	25 mm	10 mm	20 mm	25 mm
1	10,1	20	25	10,04	20	25
2	10,1	20	25	10,15	20,02	25
3	10	20,1	25	9,85	20	25
4	10	20	25	10	20	25
5	10	20	25,1	10	20	25
6	10	20	25	10	20	25
7	10	20	25	10	20	25
8	10	20	25	10	20	25
9	10	20	25	10	20	25
10	10	20	25,1	10	20	25
11	10	20	25	10	20	25,13
12	10	20	25	10	20	25,02
13	10	20	25	10	20	24,9
14	10	20	25	10	20	25,02
15	10	20	25	10	20	25,16
16	10	20	25	10	20,14	24,91
17	10	20	25	10	20,25	24,9
18	10	20	25	10	20,02	25,07
19	10	20	25	10	19,91	24,9
20	10	20	25	10	20,25	25,24
média \bar{x}	10,0200	20,0100	25,0200	10,0020	20,0295	25,0125
desv p σ	0,0422	0,0316	0,0422	0,0495	0,0846	0,0861
var σ^2	0,0018	0,0010	0,0018	0,0024	0,0072	0,0074
CV	0,42%	0,16%	0,17%	0,49%	0,42%	0,34%
ER	0,20%	0,05%	0,08%	0,02%	0,15%	0,05%

Fonte: Discente.

O teste “T” Pareado também foi desenvolvido a partir de 20 amostras pareadas, sendo 2 amostras pareadas do primeiro indivíduo, 8 amostras pareadas de indivíduos diferentes e 10 amostras pareadas de outro indivíduo.

O “T” calculado, do teste “T” Pareado, possui um valor de 2,235 (tabela 9) sendo menor do que o “T” tabelado a 1% (2,539) para 20 – 1 graus de liberdade.

O valor do “T” calculado está dentro da região de não rejeição da H_0 , logo, aceita-se a hipótese nula H_0 o que significa que em 99% dos casos os resultados do percentual de gordura estarão dentro da região esperada, portanto, o protótipo não possui diferença significativa em relação ao adipômetro clínico.

Tabela 9: Teste “T” Pareado.	
Teste “T” Pareado	
Média	0,18
Erro Padrão	0,081
1°	H0: $\mu d = 0$ H1: $\mu d \neq 0$
2°	$\alpha = 1\%$
3°	Gráfico da região crítica Ttab \Rightarrow t1%(20) = 2,539
4°	$t = (\bar{d} - \mu d) / \sqrt{(\sigma^2/n)}$ 2,235
5°	$t < Ttab(1\%)$

Fonte: Discente.

O gráfico para o teste “T” Pareado é análogo ao gráfico do teste “F”, figura 44, logo, também possui uma região de não rejeição da H_0 que equivale a 99%.

Para este teste “T” Pareado é admissível o erro tipo II (neste caso, este erro tipo II é menor que 1%), logo, não rejeitar a H_0 quando ela é falsa, pode tratar-se de um caso de falso negativo.

A tabela 10, compara os resultados do percentual de gordura segundo o teste “T” Pareado.

Tabela 10: Teste “T” Pareado do percentual de gordura.

Nº	Teste “T” Pareado Pollock (3 dobras)				Nº	≠	ER (%)
	Adipômetro Clínico		Protótipo de Adipômetro Digital				
	Indivíduo	Gordura (%)	Indivíduo	Gordura (%)			
1	Indivíduo 1	30,83	Indivíduo 1	29,89	1	0,94	-3,05%
2	Indivíduo 1	30,6	Indivíduo 1	29,72	2	0,88	-2,88%
3	Indivíduo 2	23,75	Indivíduo 2	22,8	3	0,95	-4,00%
4	Indivíduo 3	24,96	Indivíduo 3	24,73	4	0,23	-0,92%
5	Indivíduo 4	9,06	Indivíduo 4	9,23	5	-0,17	1,88%
6	Indivíduo 5	10,94	Indivíduo 5	10,71	6	0,23	-2,10%
7	Indivíduo 6	41,49	Indivíduo 6	41,17	7	0,32	-0,77%
8	Indivíduo 7	30,39	Indivíduo 7	30,56	8	-0,17	0,56%
9	Indivíduo 8	15,51	Indivíduo 8	15,31	9	0,2	-1,29%
10	Indivíduo 9	15,87	Indivíduo 9	15,44	10	0,43	-2,71%
11	Indivíduo 10	29,51	Indivíduo 10	29,52	11	-0,01	0,03%
12	Indivíduo 10	29,36	Indivíduo 10	29,41	12	-0,05	0,17%
13	Indivíduo 10	29,85	Indivíduo 10	29,99	13	-0,14	0,47%
14	Indivíduo 10	29,77	Indivíduo 10	29,6	14	0,17	-0,57%
15	Indivíduo 10	29,97	Indivíduo 10	29,98	15	-0,01	0,03%
16	Indivíduo 10	29,16	Indivíduo 10	29,21	16	-0,05	0,17%
17	Indivíduo 10	29,18	Indivíduo 10	29,23	17	-0,05	0,17%
18	Indivíduo 10	28,75	Indivíduo 10	28,75	18	0	0,00%
19	Indivíduo 10	28,85	Indivíduo 10	28,92	19	-0,07	0,24%
20	Indivíduo 10	28,94	Indivíduo 10	28,97	20	-0,03	0,10%
	média \bar{x}	26,34	média \bar{x}	26,16	média	0,18	
	desv p σ	7,77	desv p σ	7,77	desv p σ	0,36	
	var σ^2	60,36	var σ^2	60,34	var σ^2	0,13	
	EP	1,74	EP	1,74	EP	0,081	

Fonte: Discente.

Segundo as tabelas 8 e 10, a diferença entre os valores capturados tanto pelo protótipo quanto pelo adipômetro clínico é extremamente pequena, logo, para ambos os testes (teste “F” e teste “T” Pareado) a diferença entre os resultados obtidos pelo protótipo e pelo adipômetro clínico é insignificante.

Ainda é interessante destacar a tabela 11, tabela essa que se refere à tendência e correção dos valores capturados pelo protótipo, para um valor de referência de 25 milímetros.

Tabela 11: Média, tendência e correção para 25 milímetros.

Nº	25 (mm)	C (mm)	Corrigido (mm)
1	25,0000	-0,0125	24,9875
2	25,0000	-0,0125	24,9875
3	25,0000	-0,0125	24,9875
4	25,0000	-0,0125	24,9875
5	25,0000	-0,0125	24,9875
6	25,0000	-0,0125	24,9875
7	25,0000	-0,0125	24,9875
8	25,0000	-0,0125	24,9875
9	25,0000	-0,0125	24,9875
10	25,0000	-0,0125	24,9875
11	25,1300	-0,0125	25,1175
12	25,0200	-0,0125	25,0075
13	24,9000	-0,0125	24,8875
14	25,0200	-0,0125	25,0075
15	25,1600	-0,0125	25,1475
16	24,9100	-0,0125	24,8975
17	24,9000	-0,0125	24,8875
18	25,0700	-0,0125	25,0575
19	24,9000	-0,0125	24,8875
20	25,2400	-0,0125	25,2275
Média	25,0125	-0,0125	25,0000
Td mm	0,0125		

Fonte: Discente.

Após a coleta dos dados, percebeu-se que os valores do protótipo tinham a tendência de se desviar em 0,0125 milímetros em relação aos 25 milímetros de referência.

Para corrigir essa tendência, foi utilizado como cálculo a média dos valores menos o valor de 25 milímetros, ou seja, $C = 25,0125 - 25,0000$. O valor corrigido é a soma de cada leitura mais o valor da correção, logo, é possível achar a média de todos os valores corrigidos e encontrar como resultado final o valor 25 milímetros.

A tabela 12 foi formada pelas 20 amostras da tabela 10 referentes aos valores medidos para a referência de 25 milímetros. Ainda na tabela 12, é possível verificar os valores de tendência (0,0125) e repetibilidade (-0,1799 e +0,1799) e a interação entre ambas.

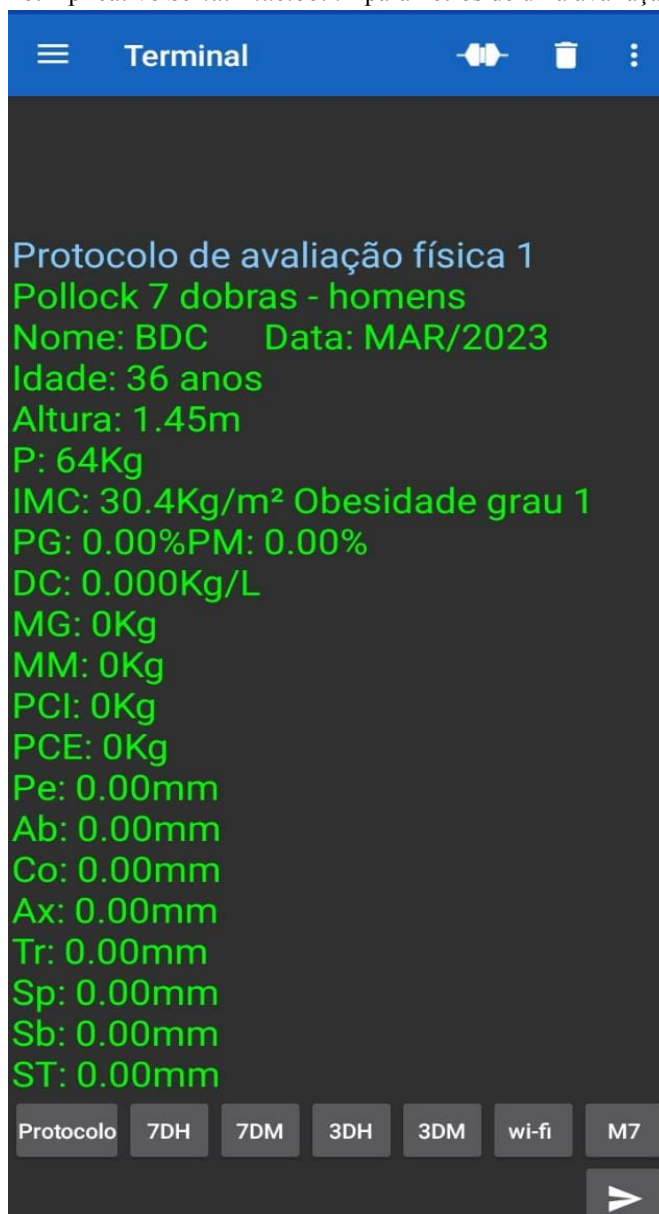
Tabela 12: Curva de erros, tendência e Re+- para 25 milímetros.

CURVA DE ERROS				
Re+-	0,1799	Td (mm)		0,0125
Nº	25 mm	Td	Td + Re	Td - Re
1	25,0000	25,0125	25,1924	24,8326
2	25,0000	25,0125	25,1924	24,8326
3	25,0000	25,0125	25,1924	24,8326
4	25,0000	25,0125	25,1924	24,8326
5	25,0000	25,0125	25,1924	24,8326
6	25,0000	25,0125	25,1924	24,8326
7	25,0000	25,0125	25,1924	24,8326
8	25,0000	25,0125	25,1924	24,8326
9	25,0000	25,0125	25,1924	24,8326
10	25,0000	25,0125	25,1924	24,8326
11	25,1300	25,1425	25,3224	24,9626
12	25,0200	25,0325	25,2124	24,8526
13	24,9000	24,9125	25,0924	24,7326
14	25,0200	25,0325	25,2124	24,8526
15	25,1600	25,1725	25,3524	24,9926
16	24,9100	24,9225	25,1024	24,7426
17	24,9000	24,9125	25,0924	24,7326
18	25,0700	25,0825	25,2624	24,9026
19	24,9000	24,9125	25,0924	24,7326
20	25,2400	25,2525	25,4324	25,0726

Fonte: Discente.

A partir do aplicativo *Serial Bluetooth* é possível fazer a conexão entre o Esp32 e o *smartphone*, logo, as informações podem ser compartilhadas entre os dispositivos, neste caso, as informações obtidas por meio do protótipo podem ser enviadas ao *smartphone*, tais como: o percentual de gordura, o imc, o somatório das dobras cutâneas entre dos outros parâmetros que compõem a avaliação física, conforme a figura 46.

Figura 46: Aplicativo *Serial Bluetooth* - parâmetros de uma avaliação física.



Fonte: Discente.

4.4 GENERALIDADES

O protótipo em si, possui alguns diferenciais:

- 1) Na obtenção dos resultados, não é necessário digitar os valores obtidos num *software*, uma vez que o protótipo tem a capacidade de capturar os parâmetros e realizar os cálculos necessários a fim de calcular o percentual de gordura;
- 2) Mostra como resultado uma avaliação física parcial no seu próprio *display* e uma avaliação física completa no tela do *smartphone* de acordo com a faixa etária do indivíduo analisado;
- 3) É portátil;
- 4) Não utiliza fios para alimentação (não conecta-se na tomada);
- 5) A bateria possui longa duração, entre 1 ou 2 horas, e é recarregável;
- 6) Segundo o fabricante, as baterias de lithium podem ser recarregadas até 1000 vezes, sendo que os primeiros 500 ciclos de carregamento possuem uma pequena queda de capacidade máxima, quando respeitadas a temperatura, o tempo de carga e descarga. Logo, o protótipo terá sua vida útil vinculada à vida útil das células de lithium.

5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O trabalho cumpriu com todos os objetivos propostos, uma vez que atendeu às expectativas em obter o percentual de gordura por meio do desenvolvimento de um protótipo de adipômetro digital capaz de ler e traduzir de maneira automática tanto os resultados como a classificação dos indivíduos analisados junto aos parâmetros de classificação no que se refere à avaliação física em si.

O protótipo possui um diferencial ao dispensar a digitação dos parâmetros num *software*, além de ser capaz apresentar uma avaliação física completa (algo que os adipômetros não fazem atualmente) e tudo isso com um menor custo de fabricação se comparado com outros dispositivos encontrados no mercado.

Para projetos futuros, poderia ser produzido, através de impressora 3D, um suporte em acrílico, “carcaça de adipômetro”, para que os dispositivos eletrônicos fiquem todos guardados em seu interior, ficando de maneira visível apenas o *display* LCD e os *push buttons*.

Ainda futuramente, poderia ser implementado um sistema de coleta de dados por meio de áudio a fim de substituir a utilização de *push buttons* no manuseio de todos os parâmetros.

A construção do protótipo de adipômetro digital foi de extrema importância para o encerramento do curso de Engenharia Elétrica do IFSC Campus Itajaí, uma vez que teve como base diversas competências teóricas e metodológicas que foram desenvolvidas ao longo do curso e estimuladas pelos mais diversos professores.

6 REFERÊNCIAS

AGUIRRE, L. A. **Fundamentos de instrumentação/Luis Antonio Aguirre.** – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013

ARDUINO E CIA. **Como usar o módulo I2C com Arduino e *display* LCD 16×2.** 2014. Disponível em: [Como usar o módulo I2C com Arduino e display LCD 16x2 - Arduino e Cia.](#) Acesso em: 03 Fev 2023.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e fundamentos de medidas.** 3. ed. Rio de Janeiro : LTC, 2019.

BAUMGARTNER, R. N. **Body composition in healthy aging.** Ann N Y Acad Sci, v. 904, p. 437–448, 2000.

BAUMGARTNER, R. N. et al. **Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico.** American Journal of Epidemiology, v. 147, n. 8, p. 755–763, 1998.

BBC NEWS BRASIL. **É possível ter um peso saudável, mas excesso de gordura no corpo?** 2018. Disponível em: [É possível ter um peso saudável, mas excesso de gordura no corpo? - BBC News Brasil.](#) Acesso em: 16 Mar 2023.

CAMPOS, M. **Desenvolvimento de uma balança de bioimpedância.** Disponível em: http://professor.ufabc.edu.br/~erick.leon/trabalhos/2017-3Q-TGIIIFINAL-Mariana_de_Camp os.pdf. Acesso em: 15 Mar 2023.

CIRCUITS4YOU. **ESP32 DevKit ESP32-WROOM GPIO Pinout.** 2018. Disponível em: [ESP32 DevKit ESP32-WROOM GPIO Pinagem | Circuits4you.com \(circuits4you-com.translate.goog\)](#). Acesso em: 16 Mar 2022.

CORTÊS, V. **Como diminuir o percentual de gordura.** 2020. Disponível em: [Como diminuir o percentual de gordura: saiba os cuidados necessários! \(treinus.com.br\)](#). Acesso em: 16 Mar 2023.

DIZ, J. B. M. et al. **Prevalence of sarcopenia in older Brazilians: A systematic review and meta-analysis.** Geriatrics and Gerontology International, v. 17, n. 1, p. 5–16, 2017.

DE ABREU, D. G; DA SILVA, G. M. **Erros e tratamento de dados experimentais.** 2016. Disponível em: [Slide 1 \(usp.br\)](#). Acesso em: 31 Jan 2023.

DOCS.ESPRESSIF.COM. **Analog to Digital Converter.** 2016 - 2022. Disponível em: [Analoga ao Conversor Digital \(ADC\) - ESP32 - — Guia de Programação ESP-IDF v4.4.2 documentação \(espressif.com\)](#). Acesso em: 30 Set 2022.

DOCS.ESPRESSIF.COM. **Analog to Digital Converter.** 2016 - 2022. Disponível em: [Analoga ao Conversor Digital - ESP32 - - Guia de Programação ESP-IDF v4.2 documentação \(espressif.com\)](#). Acesso em: 04 Out 2022.

DORAZIO, B. **Gordura subcutânea e gordura visceral**. 2016. Disponível em: [Gordura subcutânea e gordura visceral | Blog Nutrição Prática da Rede Globo](#). Acesso em: 09 Fev 2023.

EDUCAÇÃO.UOL.COM.BR. **Erro sistemático, aleatório e incerteza total**. 2022. Disponível em: [Metrologia -b: Erro sistemático, aleatório e incerteza total - UOL Educação](#). Acesso em: 31 Jan 2023.

EMBARCADOS. **Zerynth Studio - Programe microcontroladores em Python**. 2019. Disponível em: [Zerynth Studio - Programe microcontroladores em Python - Embarcados](#). Acesso em: 17 Mar 2023.

ESPRESSIF. **Esp32**. 2023. Disponível em: [ESP32 Sistemas Wi-Fi e Bluetooth MCU I Espressif](#). Acesso em: 15 Mar 2023.

ESPRESSIF. **Official Iot Development Framework**. 2023. Disponível em: [IoT Development Framework I Espressif Systems](#). Acesso em: 17 Mar 2023.

FERREIRA, T. G. **Usando ChatGPT para programar uma ESP32**. 2023. Disponível em: [Usando ChatGPT para programar uma ESP32 \(crescerengenharia.com\)](#). Acesso em: 17 Mar 2023.

FREITAS JÚNIOR, I. F. **Padronização de medidas antropométricas e avaliação da composição corporal**. São Paulo. 2018. Disponível em: [6d9646b6a173fba528f5c4edcf9b1d8d.pdf \(crefsp.gov.br\)](#). Acesso em: 24 Jan 2023.

GALLAS, M. R. **Incerteza de Medição**. 1994. Disponível em: [medidas.pdf \(ufrgs.br\)](#). Acesso em: 11 Set 2022.

GEONAUTE. **O que é massa gorda**. 2016. Disponível em: [O que é a massa gorda? – Geonaute](#). Acesso em: 16 Mar 2023.

GUEDES, D. P. Atividade física, aptidão física e saúde. In: Brasil, Ministério da Saúde-Coordenação de Doenças Crônico-degenerativas. **Orientações básicas sobre atividade física e saúde para os profissionais das áreas de educação e saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 1995, p.51-62.

GUIA PARA A EXPRESSÃO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO - GUM **Avaliação de dados de medição**. 2008. Disponível em: [Guia para a Expressão de Incerteza de Medição - GUM - Avaliação de Dados de Medição — INMETRO \(www.gov.br\)](#). Acesso em: 18 Mar 2023.

ÍNDICE DE MASSA CORPORAL. **Tabela IMC**. Disponível em: [Tabela IMC - Índice de Massa Corporal \(indexdemassacorporal.com\)](#). Acesso em: 29 Set 2022.

INFOPÉDIA DICIONÁRIOS PORTO EDITORA. **Exatidão**. 2023. Disponível em: [exatidão \(química\) - Infopédia \(infopedia.pt\)](#). Acesso em: 01 Fev 2023.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. **Generalized equations for predicting body density of men.** Br J Nutr. Vol. 40. Num. 3. 1978. p. 497-504.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. **Practical assessment of body composition.** Physician and Sports medicine. Minneapolis. Vol. 13. p.76-90. 1985.

KIM, S. et al. **The association between the low muscle mass and osteoporosis in elderly Korean people.** Journal of Korean Medical Science, v. 29, n. 7, p. 995–1000, 2014.

KOPELMAN, P. **Health risks associated with overweight and obesity.** Obesity Reviews, Blackwell Publishing Ltd, v. 8, p. 13–17, 2007. ISSN 1467-789X. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-789X.2007.00311.x>. Citado na página 21.

MADUREIRA, I. **Testes T para dados pareados**, 2016. 1 vídeo (9 min). Disponível em: [\(949\) Aula 5/5 - Teste t para dados pareados - YouTube](#). Acesso em: 20 Out 2022.

MAIDA, C. **Testes de Hipóteses - Teste F**, 2020. 1 vídeo (6 min). Disponível em: [\(949\) Testes de Hipóteses - Teste F \(Exemplo\) Profª Camila Maida - YouTube](#). Acesso em: 20 Out 2022.

MARTINS, C. **Antropometria.** Instituto Cristina Martins. 2009. Disponível em: [Antropometria.indd \(usp.br\)](#). Acesso em: 25 Jan 2023.

MATTEDE, H. **Potenciômetro – O que é e como funciona! Mundo da elétrica**, 2014. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/potenciometro-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em: 14 Fev 2022.

MORETTI, I. **Como formatar o TCC no Google Docs? Tire suas dúvidas.** 2020. Disponível em: [Como formatar TCC no Google Docs? Tire suas dúvidas \(regrasparatcc.com.br\)](#). Acesso em: 22 Nov 2022.

MYERS, A.; ROSEN, J. C. **Obesity stigmatization and coping: relation to mental health symptoms, body image, and self-esteem.** International journal of obesity, v. 23, n. 3, p. 221–230, 1999. Citado na página 21.

NEWMAN, A. B. et al. **Sarcopenia: Alternative Definitions and Associations with Lower Extremity Function.** Journal of the American Geriatrics Society, v. 51, p. 1602–1609, 2003.

NOVUS. **Conceitos Básicos de Metrologia - Parte 1. Diferença entre Precisão e Exatidão.** 2012. Disponível em: [Conceitos básicos de metrologia - Parte 1 - Notas Técnicas - Notícias - NOVUS Produtos Eletrônicos](#). Acesso em: 08 Nov 2022.

OLIVEIRA, J. **Esp32 e suas versões.** 2019. Disponível em: [ESP32 e suas versões – XProjetos](#). Acesso em: 16 Mar 2022.

PIB. **Princípio de instrumentação biomédica.** 2015. Disponível em: [Conceitos de Instrumentação \(ufrj.br\)](#). Acesso em: 23 Mar 2023.

POLLOCK, M. L.; WILMORE J. H. **Exercício na saúde e na doença: Avaliação e prescrição para prevenção e reabilitação.** Rio de Janeiro: Medsi, p 328-37, 1993.

PROEDU. **Intervalo de confiança - Distribuição t de student.** 2022. Disponível em: [Intervalo de Confiança - Distribuição t de Student - Pro Educacional](#). Acesso em: 13 Nov 2022.

PROFESSOR ELISSON DE ANDRADE. **Distribuição t student.** 2023. Disponível em: [Tabela Distribuição t de Student - Prof. Elisson de Andrade \(profelisson.com.br\)](#). Acesso em: 14 Mar 2023.

PROJETO ACADÊMICO. **Como colocar anexos no TCC: veja as normas ABNT, sugestões e nossas dicas.** 2019. Disponível em: [Como Colocar Anexos no TCC: veja as normas ABNT, sugestões e nossas dicas \(projetoacademico.com.br\)](#). Acesso em: 22 Nov 2022.

QUETELET, A. **A Treatise on Man and the Development of his Faculties.** Originally published in 1842. Reprinted in 1968 by Burt Franklin, New York.

RIGONATTO, M. **Coeficiente de variação.** 2023. Disponível em: [Coeficiente de variação - Brasil Escola \(uol.com.br\)](#). Acesso em 30 Jan 2023.

REIS, F. **Como funciona um potenciômetro.** 2018. Disponível em: [Como funciona um Potenciômetro - Bóson Treinamentos em Ciência e Tecnologia \(bosontreinamentos.com.br\)](#). Acesso em: 22 Mar 2023.

SCHERZ, P.; MONK, S. **Practical Electronics for Inventors.** 3. Ed, 2013.

SILVA, J. C. J. **Análise química instrumental - aula 1 - Estatística.** 2020. Disponível em: [Slide 1 \(ufff.br\)](#). Acesso em: 08 Fev 2023.

SIRI, W. E. **Body composition from fluid spaces and obesity: analysis of methods.** IN Brozek, J.; Henschel, A. **Techniques for measuring body composition.** National Academy of Sciences. 1961.

SIRTOLI, V. G. **Desenvolvimento de um protótipo de bioimpedância elétrica para aplicações em grupos musculares.** Disponível em: <http://sistemabu.udesc.br/pergamumweb/vinculos/00000e/00000e53.pdf>. Acesso em: 15 Mar 2023.

SLIDESERVE. **Erro de Medição.** 2014. Disponível em: [PPT - Erro de Medição PowerPoint Presentation, free download - ID:7060349 \(slideserve.com\)](#). Acesso em: 02 Nov 2022.

SLIDESHARE. **Tabelas do teste f, 10, 5, 1%.** 2014. Disponível em: [Tabelas do teste f, 10, 5, 1% \(slideshare.net\)](#). Acesso em: 12 Nov 2022.

SOUZA, J. M. P; BERGAMASCHI, D. P. **Aula 11 - Estimação de parâmetros populacionais por ponto e intervalo - Intervalo de confiança.** 2017. Disponível em: [INTERVALO DE CONFIANÇA \(usp.br\)](#). Acesso em: 02 Fev 2023.

STATPLACE. **O que é Desvio Padrão e Erro Padrão?**. 2019. Disponível em: [O que é Desvio Padrão e Erro Padrão? - Blog da Oper \(statplace.com.br\)](https://statplace.com.br). Acesso em: 20 Out 2022.

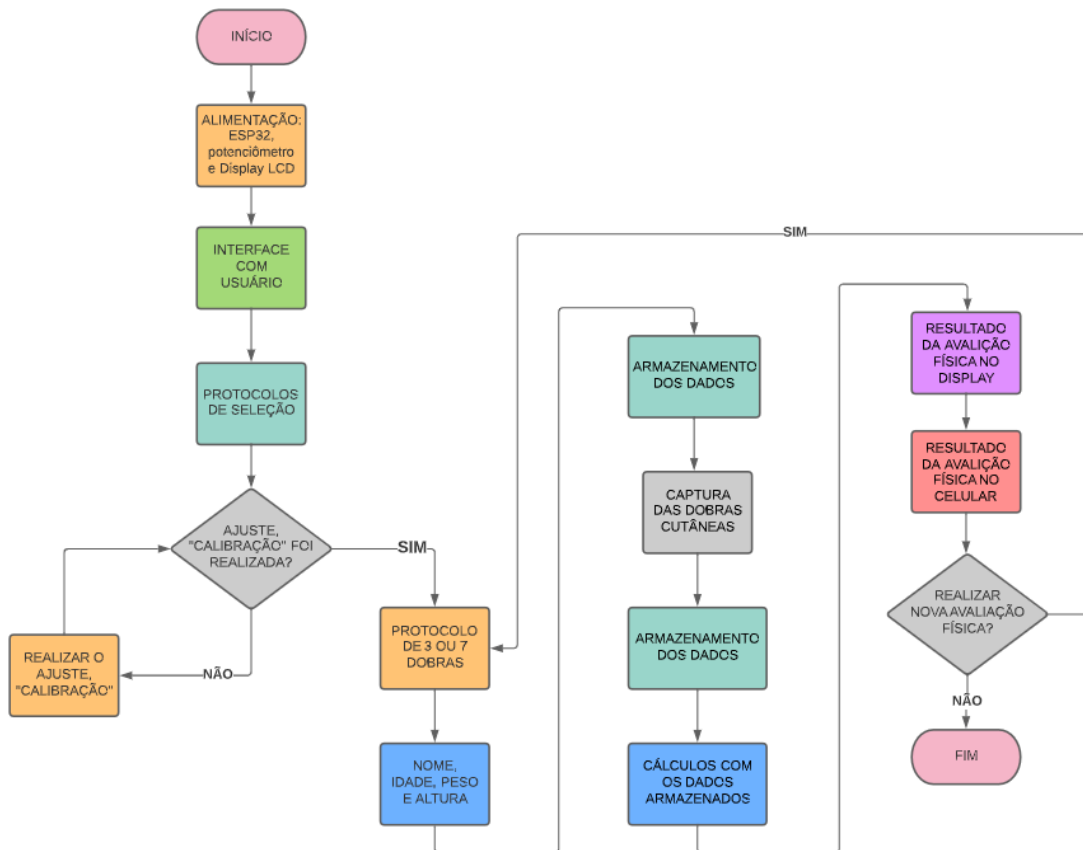
USINAINFO ELETRÔNICA E ROBÓTICA. **Arduino IDE - O software para gravação de códigos no ARDUINO.** 2019. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/arduino-ide-o-software-para-gravacao-de-codigos-no-arduino/>. Acesso em: 19 Fev 2022.

VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA - **VIM Conceitos fundamentais e gerais e termos associados.** 2012. Disponível em: [atual_VIM_2012 \(inmetro.gov.br\)](http://inmetro.gov.br). Acesso em: 30 Jan 2023.

WILLIAMS, M. H. **Nutrition for fitness & sport.** Ghicago : Brown & Benchmark, 1995.

7 APÊNDICES

APÊNDICE A - Fluxograma do protótipo



APÊNDICE B - Parte do algoritmo implementado no protótipo

```
//#####Menu#####  
    //botao1  
// 1 protocolo de 7 H  
// 2 protocolo de 7 M  
// 3 protocolo de 3 H  
// 4 protocolo de 3 M  
// 5 ajuste  
// 6 zera tudo  
//#####seleção#####  
    //botao2  
// 1 data  
// 2 nome  
// 3 idade  
// 4 peso  
// 5 altura  
// 6 cálculo do IMC e cálculo do %G  
  
//#####botao3#####  
    //botao3  
// 1 dobras  
// 2 somatório das dobras  
// 3 massa magra (MM em Kg)  
// 4 massa gorda (MG em Kg)  
// 5 PCI em Kg  
// 6 PCE em Kg  
  
#include <Math.h>  
#include <Wire.h>  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```

#include "BluetoothSerial.h"
#if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) ||
!defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
#error Bluetooth is not enabled! Please run `make menuconfig` to and enable it
#endif
BluetoothSerial SerialBT;
char valorRecebido;
//Defini o número de colunas e linhas do LCD
int lcdColuna = 16;
int lcdlinha = 2;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, lcdColuna, lcdlinha);

#define pinBotaoStart 12 //Define a idade, o peso, a altura e calcula o IMC e o %G
#define pinBotaoStart1 13 //Define os protocolos de avaliação, protocolo de ajuste e
reset
#define pinBotaoStart2 14 //Seleciona e salva as dobras cutâneas; seleciona a idade, o
peso e a altura. Mostra a média das dobras cutâneas ao final
#define tempoReset 300 //define o tempo em que o botao Start deve ficar apertado
para efetuar o reset (em milisegundos)
#define tempoReset1 500 //define o tempo em que o botao Start deve ficar apertado
para efetuar o reset (em milisegundos)
#define tempoReset2 200 //define o tempo em que o botao Start deve ficar apertado
para efetuar o reset (em milisegundos)
#define pot 36
#define n 100
#define distMin 0 //em milímetros
#define distMax 80 //em milímetros
#define distMin1 0
#define distMax1 100

//FUNÇÃO
byte pinBotaoStartApertado();

```

```
byte pinBotaoStartApertado1();
byte pinBotaoStartApertado2();

//Variáveis de protocolo
int estado = 0; //variável para leitura do pushbutton
int protocolo = 0;
int sexo = 0;
int idade = 15;
int dobras = 0;
int peso = 30;
int nome1 = 0;
int nome2 = 0;
int nome3 = 0;
float altura = 1.40;
int mes1 = 0;
int ano = 2021;

//Variáveis de ajuste
int cont = 0;
int N = 0;
float aa = 0;
float bb = 0;
float cc = 0;
float dd = 0;
float A = 0;
float B = 0;
float BB = 0;
float X = 0;
float X1 = 0;
float X2 = 0;
float X3 = 0;
float X4 = 0;
```

```
float Y = 0;
float Y1 = 0;
float Y2 = 0;
float Y3 = 0;
float Y4 = 0;
float XY = 0;
float XY1 = 0;
float XY2 = 0;
float XY3 = 0;
float XY4 = 0;
float XQ = 0;
float XQ1 = 0;
float XQ2 = 0;
float XQ3 = 0;
float XQ4 = 0;
float SomaXY = 0;
float SomaXQ = 0;
float SomaX = 0;
float SomaY = 0;
float YY = 0;
float XX = 0;
```

```
//Variáveis de avaliação física
```

```
float imc = 0;
int MG = 0;
int MM = 0;
int PCI = 0;
int PCE = 0;
int garra_mili;
float R;
float ST = 0;
float a = 0;
```

```
float b = 0;
float DC = 0;
float PG = 0;
float PM = 0;
float Peitoral = 0; //Peitoral
float P1 = 0;
float P2 = 0;
float P3 = 0;
float P1d = 0;
float P2d = 0;
float P3d = 0;
float Triceps = 0; //Triceps
float t1 = 0;
float t2 = 0;
float t3 = 0;
float t1d = 0;
float t2d = 0;
float t3d = 0;
float Supra = 0; //Suprailiaca
float Supra1 = 0;
float Supra2 = 0;
float Supra3 = 0;
float Supra1d = 0;
float Supra2d = 0;
float Supra3d = 0;
float Sub = 0; //Subescapular
float Sub1 = 0;
float Sub2 = 0;
float Sub3 = 0;
float Sub1d = 0;
float Sub2d = 0;
float Sub3d = 0;
```

```
float Ax = 0; //Axilar média
float Ax1 = 0;
float Ax2 = 0;
float Ax3 = 0;
float Ax1d = 0;
float Ax2d = 0;
float Ax3d = 0;
float Coxa = 0; //Coxa
float Cox1 = 0;
float Cox2 = 0;
float Cox3 = 0;
float Cox1d = 0;
float Cox2d = 0;
float Cox3d = 0;
float ABD = 0; //ABD
float ABD1 = 0;
float ABD2 = 0;
float ABD3 = 0;
float ABD1d = 0;
float ABD2d = 0;
float ABD3d = 0;

void setup()
{
  lcd.init(); // inicializa LCD com os pinos SDA e SCL
  lcd.backlight(); // liga o LCD backlight
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Dobras Cutaneas");
  pinMode(pinBotaoStart, INPUT_PULLUP); // define o pino 12 do botao como entrada
  pinMode(pinBotaoStart1, INPUT_PULLUP); // define o pino 13 do botao como
  entrada
```

```

pinMode(pinBotaoStart2, INPUT_PULLUP);// define o pino 14 do botao como
entrada
pinMode(pot, INPUT);
//Serial.begin(9600);
Serial.begin(115200);
SerialBT.begin("TCC David Appel");
//Serial.println("O dispositivo já pode ser pareado!");
}
void loop()
{
  int valor = 0;
  for (int i = 0; i <= n; i++) {
    valor+= analogRead(pot);
  }
  valor = valor / n;
  garra_mili = valor;
  delay(50);

  // float leitura; //ler os valores do range do potenciômetro
  // leitura = (analogRead(pot)*3.3/4096.0); //ler os valores do range do potenciômetro
  // Serial.println(leitura); // printar o range do potenciômetro

  byte estadoBotaoStart1 = pinBotaoStartApertado1();
  if ( estadoBotaoStart1 == 1 )
  {
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    protocolo++; // protocolo = protocolo + 1
    delay(400);
    if (protocolo == 1)//Pollock 7 dobras para homens
    {
      lcd.clear(); //limpa o display do LCD.

```

```
lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
lcd.print("Pollock 7 dobras ");
lcd.setCursor(0,1); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 1 do LCD.
lcd.print("para homens ");
delay(500);
}
if (protocolo == 2)//Pollock 7 dobras para mulheres
{
  lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
  lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
  lcd.print("Pollock 7 dobras ");
  lcd.setCursor(0,1); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 1 do LCD.
  lcd.print("para mulheres ");
  delay(500);
}
if (protocolo == 3)//Pollock 3 dobras para homens
{
  lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
  lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
  lcd.print("Pollock 3 dobras ");
  lcd.setCursor(0,1); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 1 do LCD.
  lcd.print("para homens ");
  delay(500);
}
if (protocolo == 4)//Pollock 3 dobras para mulheres
{
  lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
  lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
  lcd.print("Pollock 3 dobras ");
  lcd.setCursor(0,1); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 1 do LCD.
  lcd.print("para mulheres ");
  delay(500);
}
```

```
}  
if (protocolo == 5)//Ajuste  
{  
  lcd.clear(); //limpa o display do LCD.  
  lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.  
  lcd.print("Regular o ");  
  lcd.setCursor(0,1); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 1 do LCD.  
  lcd.print("dispositivo ");  
  delay(500);  
}  
  if (protocolo > 5)//Retorna ao menu  
  {  
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.  
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.  
    lcd.print("Retorne ao");  
    lcd.setCursor(0,1); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 1 do LCD.  
    lcd.print("menu principal");  
    delay(500);  
  }  
}  
if ( estadoBotaoStart1 == 2 )//Zerando os protocolos  
{  
  peso = 30;  
  altura = 1.40;  
  cont = 0;  
  protocolo = 0;  
  dobras = 0;  
  idade = 15;  
  nome1 = 0;  
  nome2 = 0;  
  nome3 = 0;  
  mes1 = 0;
```

```
ano = 2021;
lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
lcd.print("Dobras Cutaneas");
delay(400);
}

byte estadoBotaoStart = pinBotaoStartApertado();
if ( estadoBotaoStart == 1 )
{
if(cont == 1)
{
lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
lcd.print("Mes:");
mes1++;
MES1();
delay(400);
}
if(cont == 2)
{
lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
lcd.print("Ano:");
ano++;
lcd.print(ano);
delay(400);
}
if(cont == 3)
{
lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
```

```
    lcd.print("1Nome:");
    nome1++;
    NOME1();
    delay(400);
}
if(cont == 4)
{
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    lcd.print("2Nome:");
    nome2++;
    NOME2();
    NOME1();
    delay(400);
}
if(cont == 5)
{
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    lcd.print("3Nome:");
    nome3++;
    NOME3();
    NOME2();
    NOME1();
    delay(400);
}
if(cont == 6)
{
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    lcd.print("Idade:");
    idade++;
```

```
    lcd.print(idade);
    delay(400);
}
if(cont == 7)
{
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    lcd.print("Peso:");
    peso++;
    lcd.print(peso);
    delay(400);
}
if(cont == 8)
{
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    lcd.print("Altura:");
    altura = altura + 0.01;
    lcd.print(altura);
    delay(400);
}
}
if ( estadoBotaoStart == 2 )
{
    if(cont == 1)
    {
        lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
        lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
        lcd.print("Mes:");
        mes1--;
        MES1();
        delay(400);
```

```
}  
if(cont == 2)  
{  
  lcd.clear(); //limpa o display do LCD.  
  lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.  
  lcd.print("Ano:");  
  ano--;  
  lcd.print(ano);  
  delay(400);  
}  
if(cont == 3)  
{  
  lcd.clear(); //limpa o display do LCD.  
  lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.  
  lcd.print("1Nome:");  
  nome1--;  
  NOME1();  
  delay(400);  
}  
if(cont == 4)  
{  
  lcd.clear(); //limpa o display do LCD.  
  lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.  
  lcd.print("2Nome:");  
  nome2--;  
  NOME2();  
  NOME1();  
  delay(400);  
}  
if(cont == 5)  
{  
  lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
```

```
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    lcd.print("3Nome:");
    nome3--;
    NOME3();
    NOME2();
    NOME1();
    delay(400);
}
if(cont == 6)
{
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    lcd.print("Idade:");
    idade = idade + 10;
    lcd.print(idade);
    delay(400);
}
if(cont == 7)
{
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    lcd.print("Peso:");
    peso = peso + 10;
    lcd.print(peso);
    delay(400);
}
if(cont == 8)
{
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    lcd.print("Altura:");
    altura = altura + 0.1;
```

```

        lcd.print(altura);
        delay(400);
    }
}
byte estadoBotaoStart2 = pinBotaoStartApertado2();
if ( estadoBotaoStart2 == 1 )
{
    lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
    lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
    lcd.print("Parametro ");
    cont++;
    lcd.setCursor(0,1);
    if(cont == 1){lcd.print("Mes");}
    if(cont == 2){lcd.print("Ano");}
    if(cont == 3){lcd.print("Nome");}
    if(cont == 4){lcd.print("Nome");}
    if(cont == 5){lcd.print("Nome");}
    if(cont == 6){lcd.print("Idade");}
    if(cont == 7){lcd.print("Peso");}
    if(cont == 8){lcd.print("Altura");}
    if(cont > 8)
    {
        lcd.clear(); //limpa o display do LCD.
        lcd.setCursor(0,0); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
        lcd.print("Colete as dobras ");
        lcd.setCursor(0,1); //posiciona o cursor na coluna 0 linha 0 do LCD.
        lcd.print("cutaneas ");
        imc = peso / (pow(altura, 2));
        idade = idade; //VER SE DA CERTO
        delay(400);
    }
}
}

```

```
if ( estadoBotaoStart2 == 2 )  
{  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0,0);  
  dobras++;  
  delay(400); }  
}
```

8 ANEXOS

ANEXO A - TABELAS TESTE “F” – 1% E 5% RESPECTIVAMENTE.

Tabela 13: Tabela teste “F” - 1%.

GL	n1										
	1	2	3	4	5	16	17	18	19	20	
n2	1	4052	5000	5403	5625	5764	6170	6181	6192	6201	6209
	2	98,50	99,00	99,17	99,25	99,3	99,44	99,44	99,44	99,45	99,45
	3	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	26,83	26,79	26,75	2672	2669
	4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	14,15	14,11	14,08	14,05	14,02
	5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	9,68	9,64	9,61	958	955
	6	13,75	10,92	9,78	9,15	8,75	7,52	7,48	7,45	7,42	7,4
	7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	6,28	6,24	6,21	6,8	6,16
	8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	5,48	5,44	5,41	5,38	5,36
	9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	4,92	4,89	4,86	4,83	4,81
	IO	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	4,52	4,49	4,46	4,83	4,41

Fonte: Slideshare modificado (2014).

Tabela 14: Tabela teste “F” - 5%.

GL	n1										
	1	2	3	4	5	16	17	18	19	20	
n2	1	161,64	199,5	215,7	224,6	230,2	246,5	246,9	247,3	247,7	248
	2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,3	19,43	19,44	19,44	19,44	19,45
	3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,69	8,68	8,67	8,67	8,66
	4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	5,84	5,83	5,82	5,81	5,8
	5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,6	4,59	4,58	4,57	4,56
	6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	3,92	3,91	3,9	3,88	3,87
	7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,49	3,48	3,47	3,46	3,44
	8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,2	3,19	3,17	3,16	3,15
	9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	2,99	2,97	2,96	2,95	2,94
	IO	4,96	4,1	3,71	3,48	3,33	2,83	2,81	2,8	2,79	2,77

Fonte: Slideshare modificado (2014).

ANEXO B - TABELAS TESTE “T” *STUDENT* – TABELA COM 1% DE SIGNIFICÂNCIA E TABELA COM 95% DE PROBABILIDADE, RESPECTIVAMENTE.

Tabela 15: Tabela teste “T” *Student* - 1% de significância.

GL	Nível de significância para o teste bilateral (α)%				
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
16	1,337	1,796	2,120	2,583	2,921
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845

Fonte: Professor Elisson de Andrade modificado (2023).

Tabela 16: Tabela teste “T” *Student* - 95% probabilidade.

GL	Bicaudal					
	50%	60%	70%	80%	90%	95%
1	1	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71
2	816,000	1,061	1,386	1,886	2,92	4,303
3	0,765	0,978	1,25	1,638	2,353	3,182
4	0,741	0,941	1,19	1,533	2,132	2,776
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,105	2,571
16	0,69	0,865	1,071	1,337	1,746	2,12
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,74	2,11
18	0,688	0,862	1,067	1,33	1,734	2,101
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093
20	0,687	0,86	1,064	1,325	1,725	2,086

Fonte: Proedu modificado (2022).

ANEXO C - Níveis de confiança em 99%.



Tabela 17: Níveis de confiança.


Níveis de confiança para vários valores de z	
Níveis de confiança (%)	Z
50	0,67
68	1,000
80	1,28
90	1,640
95	1,96
95,4	2,000
99	2,58
99,7	3,000
99,9	3,29

Fonte: Silva modificado (2020).

ANEXO D - Folha de certificação dos blocos padrão.

Figura 47: Certificado de inspeção do tamanho dos blocos padrão.



CERTIFICATE OF INSPECTION


CODE: 4100-112
GRADE: 0

GAUGE BLOCKS

Nominal Size (mm)	Identification No.	Deviation (µm)	Nominal Size (mm)	Identification No.	Deviation (µm)	Nominal Size (mm)	Identification No.	Deviation (µm)
1.0005	095917	0.00	1.29	094620	+0.06	9	117065	0.00
1.001	102417	+0.07	1.30	095917	0.00	9.5	100239	+0.07
1.002	112223	+0.07	1.31	096999	-0.03	10	112504	+0.06
1.003	102114	0.00	1.32	092243	+0.03	10.5	100430	0.00
1.004	116401	+0.04	1.33	104476	+0.05	11	091684	+0.04
1.005	115231	+0.02	1.34	095893	+0.01	11.5	104983	+0.06
1.006	104646	+0.04	1.35	097062	+0.05	12	095003	+0.03
1.007	090896	0.00	1.36	096497	-0.01	12.5	091382	+0.04
1.008	112604	+0.06	1.37	095450	+0.03	13	106490	-0.05
1.009	111064	+0.08	1.38	101705	+0.04	13.5	097398	+0.07
1.01	118734	+0.02	1.39	101505	0.00	14	105047	0.00
1.02	117156	+0.03	1.40	111970	+0.05	14.5	093799	0.00
1.03	108375	-0.01	1.41	092975	0.00	15	110778	+0.04
1.04	116282	0.00	1.42	090531	+0.05	15.5	101430	0.00
1.05	115844	-0.02	1.43	093363	+0.05	16	098595	0.00
1.06	101565	0.00	1.44	098902	+0.02	16.5	090091	+0.05
1.07	103296	0.00	1.45	096997	+0.04	17	094247	+0.03
1.08	111979	0.00	1.46	100286	+0.06	17.5	100419	0.00
1.09	104509	0.00	1.47	106781	+0.07	18	113071	0.00
1.10	114245	+0.05	1.48	104828	+0.02	18.5	101068	-0.03
1.11	114173	+0.07	1.49	104623	+0.05	19	095596	+0.05
1.12	116440	+0.07	0.5	107042	0.00	19.5	103836	+0.03
1.13	114208	0.00	1	113024	+0.07	20	118508	0.00
1.14	114977	+0.05	1.5	115355	+0.04	20.5	095483	+0.02
1.15	103268	0.00	2	110493	+0.08	21	092892	0.00
1.16	113653	-0.02	2.5	109156	+0.04	21.5	092726	+0.07
1.17	110677	+0.05	3	116373	+0.02	22	110843	+0.05
1.18	111040	+0.05	3.5	105713	0.00	22.5	111266	+0.02
1.19	102436	0.00	4	115882	+0.07	23	111930	+0.03
1.20	112387	+0.08	4.5	108821	+0.02	23.5	090496	-0.04
1.21	090273	0.00	5	113189	+0.08	24	100086	-0.04
1.22	092087	-0.03	5.5	102197	+0.06	24.5	101414	+0.05
1.23	094434	+0.03	6	111483	+0.01	25	116333	+0.04
1.24	102293	+0.06	6.5	092085	0.00	50	112264	-0.03
1.25	111110	0.00	7	113285	0.00	75	112953	0.00
1.26	098999	+0.04	7.5	111112	0.00	100	111993	+0.10
1.27	096946	+0.06	8	119636	0.00			
1.28	095655	+0.04	8.5	098308	+0.05			

Set Serial No.: 110025
Standard: ISO3650

Material: Steel
Standard reference temperature: 20°C

Date: Jul.4th.2011
Inspector: 

Fonte: Instituto Federal de Ciências e Tecnologia - Campus Itajaí.