

## CALIBRADOR DE APARELHO DE PRESSÃO ARTERIAL

Brenda Letícia Marassatti  
Graduando em Sistemas Biomédicos pela Fatec Bauru  
E-mail: [brenda.marassatti@fatec.sp.gov.br](mailto:brenda.marassatti@fatec.sp.gov.br)

Karen Letícia Teixeira de Oliveira  
Graduando em Sistemas Biomédicos pela Fatec Bauru  
E-mail: [karen.oliveira20@fatec.sp.gov.br](mailto:karen.oliveira20@fatec.sp.gov.br)

Yago Augusto da Silva Rodrigues  
Graduando em Sistemas Biomédicos pela Fatec Bauru  
E-mail: [yago.augusto@fatec.sp.gov.br](mailto:yago.augusto@fatec.sp.gov.br)

Orientador: Haroldo Luiz Moretti do Amaral  
Docente na Fatec Bauru  
E-mail: [haroldo.amaral@fatec.sp.gov.br](mailto:haroldo.amaral@fatec.sp.gov.br)

### RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um aparelho para calibrar esfigmomanômetros, com o objetivo de comparar os resultados obtidos por diferentes equipamentos. O esfigmomanômetro é um dispositivo amplamente utilizado para medir a pressão arterial e, portanto, sua precisão é fundamental para garantir resultados confiáveis. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os princípios de funcionamento dos esfigmomanômetros e a importância da calibração periódica. Foram analisados diferentes métodos de calibração disponíveis na literatura, destacando-se as vantagens e desvantagens de cada abordagem. Com base nessas informações, foi projetado um aparelho de calibração que é constituído por elementos mecânicos e eletrônicos que injetam valores de pressão por meio de uma bomba de ar acionada por controle e monitorada por sensor e válvula de escape. O sistema foi concebido para fornecer diferentes valores de pressão, permitindo calibrar esfigmomanômetros em diversas faixas de medição. Para validar o aparelho desenvolvido, realizou-se um estudo comparativo envolvendo diferentes esfigmomanômetros. Cada equipamento foi submetido a diversas medições de pressão utilizando o aparelho de calibração, e os resultados foram comparados entre si. Os resultados obtidos demonstraram diferenças significativas entre os esfigmomanômetros testados, evidenciando a importância da calibração para garantir resultados confiáveis. Em conclusão, o aparelho desenvolvido neste trabalho mostrou-se eficiente na calibração de esfigmomanômetros, permitindo comparar os resultados obtidos por diferentes equipamentos. A utilização desse dispositivo contribui para o aprimoramento da precisão das medições de pressão arterial, possibilitando um melhor monitoramento da saúde cardiovascular e uma adequada tomada de decisões clínicas. Recomenda-se a adoção periódica de calibração em esfigmomanômetros para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos.

**Palavras-chave:** pressão arterial; esfigmomanômetro; calibração; metrologia.

## **1 INTRODUÇÃO**

Inicialmente deve-se diferenciar os termos calibração e ajuste, o termo calibração se refere a comparação e verificação dos resultados de um instrumento de medição com um padrão de referência conhecido e estabelecido. Durante o processo de calibração, não são feitos ajustes nos instrumentos, mas sim uma análise da precisão e exatidão dos resultados obtidos. O ajuste, por outro lado, refere-se aos procedimentos realizados no instrumento de medição para minimizar erros sistemáticos e desvios em relação ao padrão de referência. Após o ajuste, é necessário realizar a calibração para verificar se os resultados obtidos estão de acordo com o padrão estabelecido.

Portanto, a calibração é uma etapa posterior ao ajuste, em que ocorre a comparação e verificação dos resultados com o padrão de referência, a fim de garantir a precisão e confiabilidade das medições realizadas pelo instrumento. A proposta do desenvolvimento do calibrador foi comparar os dois valores medidos em qualquer valor de pressão, a precisão da unidade em teste pode ser verificada ou ajustada.

Durante o processo de aferição de pressão arterial dos pacientes, os equipamentos esfigmomanômetros podem apresentar desvios dos valores apresentados, seja por manuseio incorreto, número de utilizações ou, quedas, por este motivo os fabricantes recomendam calibração dos aparelhos a cada seis meses para garantir a precisão das medições ainda que Portaria n.º 46, de 22 de janeiro de 2016 do Inmetro (5.13 alternativa e) informação de que o esfigmomanômetro deve ser verificado uma vez por ano por Órgão da Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade – Inmetro (RBMLQ-I).

Esse processo de calibração consiste em aplicar valores de pressão conhecidos por meio de uma bomba de pressão e um manômetro analógico ou digital, então se compara se o valor apresentado no esfigmomanômetro é o mesmo aplicado pelo sistema, o problema encontrado no processo atual é que em grande parte dos casos no lugar do manômetro padrão é utilizado a coluna de mercúrio, que embora tenha alta precisão e baixa variação possui o elemento químico mercúrio (Hg) que em caso de acidente pode causar danos ao operador uma vez que o elemento é tóxico, além do mais esse processo por ser completamente mecânico acaba sendo demorado.

Visando melhorar este processo de calibração, este trabalho propõe o desenvolvimento e a construção de um equipamento semiautomático para as calibrações, com objetivo de melhorar a segurança do operador e eficiência do procedimento aplicando os conhecimentos adquiridos nas diversas disciplinas durante a formação profissional.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Circulação sanguínea**

Circulação sanguínea é o processo pelo qual o sangue é transportado pelo corpo, fornecendo oxigênio e nutrientes aos tecidos e removendo resíduos metabólicos. Ela é essencial para o funcionamento adequado dos órgãos e sistemas do corpo. O coração atua como a bomba central, impulsionando o sangue para os tecidos através das artérias e recebendo o sangue de retorno pelas veias. A circulação sanguínea desempenha papéis vitais na nutrição celular, na regulação da temperatura e na defesa contra infecções. (SANTOS,

2021).

## **2.2 Pressão arterial**

A pressão arterial é a força exercida pelo sangue nas paredes dos vasos sanguíneos. Ela é medida em duas fases principais: sistólica (durante a contração do coração) e diastólica (durante o relaxamento). Conforme Santos (2021), a pressão arterial é um indicador importante da saúde cardiovascular e requer monitoramento regular. As artérias são os vasos que transportam o sangue do coração para o resto do corpo. O controle adequado da pressão arterial é fundamental para a saúde.

Desde sua invenção em 1846 por Poiseuille, a lei que leva seu nome define que a pressão sanguínea é medida em mmHg (milímetro de mercúrio), já que ele tem sido usado como referência padrão para medir a pressão. As artérias tratam-se de uma série de vasos transportadores do sangue que parte do coração ao restante do organismo. O diâmetro das artérias parte de maior a menor até atingir a formação dos capilares, os quais suprem todas as regiões do corpo. (OLIVEIRA, 2017).

## **2.3 Aferição de pressão arterial**

A aferição da pressão arterial pode ser feita de duas maneiras: invasiva e não invasiva. A medição invasiva é realizada com um cateter inserido diretamente na artéria ou no coração para monitoramento contínuo. A medição não invasiva utiliza uma braçadeira inflável no braço ou pulso, e os valores da pressão são obtidos por meio de um esfigmomanômetro aneróide, digital ou de coluna de mercúrio. (TEIXEIRA, D. A. 2022).

Segundo o regulamento técnico metrológico a que se refere à Portaria Inmetro nº 46 (2016), estabelece as condições mínimas a que devem satisfazer os esfigmomanômetros de medição não invasiva, que se destinam a medir a pressão arterial humana no braço, antebraço, punho ou coxa.

## **2.4 Calibração do aparelho de pressão**

No mercado, é possível encontrar diversos modelos de esfigmomanômetros analógicos ou digitais que fazem a medição da pressão. Por meio da Portaria n.º 46, de 22 de janeiro de 2016, o Inmetro estabelece os requisitos aplicáveis aos esfigmomanômetros de medição não invasiva, destinados a medir a pressão arterial humana. De acordo com a Portaria, o reparo ou manutenção de esfigmomanômetros somente devem ser realizados pelas empresas devidamente autorizadas pelo Órgão da Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade – Inmetro de sua jurisdição, conforme legislação metrológica em vigor.

Os esfigmomanômetros aneróides e digitais devem ser calibrados periodicamente. Para avaliar a calibração, o manômetro aneróide é testado contra um equipamento de pressão padrão, podendo ser este um de coluna de mercúrio, utilizando conector em forma de Y, de acordo com o seguinte procedimento: conectar o tubo de borracha do manômetro aneróide a ser testado em uma extremidade do “Y”, o tubo de borracha do manômetro de coluna de mercúrio na outra extremidade e a pera de borracha para inflar o sistema na porção inferior do “Y”; inflar o sistema até ultrapassar 250 mmHg; (PIERIN, 2000).

É importante ressaltar que embora a RESOLUÇÃO - RDC Nº 145, de 21

de março de 2017 que proíbe em todo o território nacional a fabricação, importação e comercialização, assim como o uso em serviços de saúde, dos termômetros e esfigmomanômetros com coluna de mercúrio. A proibição não se aplica na função de padrão de calibração conforme parágrafo segundo: “§ 2º A proibição estabelecida no caput deste artigo não se aplica aos produtos para pesquisa, para calibração de instrumentos ou para uso como padrão de referência”.

Para entender sobre as tolerâncias citadas na portaria é necessário definir os conceitos de desvio padrão e erro. O desvio padrão é uma das medidas estatísticas mais comumente usadas para demonstrar a variabilidade dos dados. É uma medida que estima o grau em que o valor de determinada variável se desvia da média. (RODRIGUES *et al.*, 2017).

Para Rodrigues *et al* (2017), o erro, por sua vez, é a diferença entre o valor medido e o valor verdadeiro de uma grandeza. O erro refere-se a um resultado falso positivo, ou seja, rejeitar a hipótese nula quando na verdade essa é verdadeira. O erro é uma medida de exatidão e indica o quão próximo ou distante o valor medido está do valor verdadeiro. O erro pode ser positivo (quando o valor medido é maior que o valor verdadeiro) ou negativo (quando o valor medido é menor que o valor verdadeiro). O objetivo é reduzir o erro e obter medições mais próximas do valor verdadeiro, buscando uma maior exatidão.

A Portaria n.º 46 (2016) do Inmetro estabelece critérios para os esfigmomanômetros eletrônicos digitais. De acordo com a portaria, é estabelecido que a variação da grandeza medida que causa uma variação perceptível na indicação correspondente não deve ser maior que 1 mmHg. Além disso, o documento admite um erro médio máximo de  $\pm 5$  mmHg e um desvio padrão experimental máximo de 8 mmHg para a determinação da pressão arterial sistólica, diastólica e média.

### **3 APARELHO DE CALIBRAÇÃO**

A bomba de pressão elétrica é usada para geração simples de pressão para comparar instrumentos mecânicos e eletrônicos de leitura de pressão. (SALCAS, 2023).

O sistema desenvolvido é controlador por um microcontrolador ATmega328P (Arduino UNO R1), o sistema produz uma pressão pré-estabelecida no programa do equipamento, então os valores conhecidos e aplicados pelo sistema são lidos no aparelho a ser calibrado e seu valor deve ser digitado no equipamento para que o dado seja salvo, possibilitando a comparação, este ciclo inicia em 40 mmHg e a cada ponto são adicionados mais 20 mmHg até alcançar 300 mmHg, verificando desta forma 14 pontos do esfigmomanômetro.

#### **3.1 Procedimentos metodológicos**

Nesta seção do trabalho, são apresentados os seguintes procedimentos metodológicos para desenvolvimento de um equipamento:

- a) Análise de produtos similares;
- b) Elaboração da lista de requisitos para o desenvolvimento do projeto;
- c) Revisão das normas vigentes de calibração.

### 3.2 Análise de similares

Foram analisados dois produtos que após análise foram considerados similares em relação à função da calibração para os aparelhos de pressão e esfigmomanômetros. O produto um (na figura 1) é a bomba de calibração/vácuo utilizada na área industrial para manômetros com escalas mais precisas e medidas de pressão elevada, este equipamento atende a expectativa, porém pelo seu fim destinado, área industrial, acaba se tornando inviável financeiramente para calibração de esfigmomanômetros.

Para a instrumentação industrial (SALCAS, 2023), a bomba de pressão de teste de calibração elétrica LR-Cal LAP-P é utilizada para geração simples de pressão (sem esforço manual) para verificação, ajuste e calibração de instrumentos mecânicos e eletrônicos de leitura de pressão por meio de medições de comparação. Quando o instrumento de medição a ser verificado e um instrumento de referência suficientemente preciso estão conectados à bomba de teste de pressão de calibração elétrica LR-Cal LAP-P, a mesma pressão atua em ambos os instrumentos de medição quando a bomba é acionada. Ao comparar os dois valores medidos em quaisquer valores de pressão, a precisão da unidade em teste pode ser verificada ou ajustada.

Figura 1 - Bomba de calibração elétrica com capacidade de gerar vácuo/pressão



Fonte: Salcas (2023) SALCAS. **Salcas indústria e comércio**. 2023. Disponível em: <https://www.salcas.com.br/bomba-de-calibracao-eletrica-com-capacidade-de-gerar-vacuopressao-0-90-a-25-bar-lr-cal-lap-p>. Acesso em: 19 set 2022.

O produto dois (figura 2) é o manômetro padrão de alta precisão, calibrado e aprovado pelo INMETRO, este manômetro é acoplado a uma derivação que vai para o manômetro a ser comparado e um ponto de injeção de ar para comparar as medidas.

Figura 2 - Manômetros / Digitais / Manômetro Digital – ABSI-DIG100Z



Fonte: ABSI Soluções em metrologia ABSI. **Equipamentos e instrumentos industriais**. Disponível em: <https://www.absi.com.br/produto/manometro-digital-absi-dig100z/20>. Acesso em: 19 set 2022.

Os atributos analisados nos dois similares foram:

- a) Operação: fácil manuseio, sem necessidade de um treinamento complexo;
- b) Custos: valor de compra do equipamento acessível;
- c) Funcionalidade: calibração automatizada e geração de dados;
- d) Precisão: valores de calibração e escalas de precisão.

Ao analisar os similares, foi realizado um checklist entre os similares analisando os seguintes requisitos: Operação, custos, funcionalidade, precisão, para isso foi utilizada a nomenclatura: insatisfatório; parcialmente satisfatório ou totalmente satisfatório. Conforme pode ser verificado no quadro a seguir.

Quadro 1- Análise de atributos nos produtos similares.

<b>ATRIBUTOS</b>	1 (Bomba de calibração elétrica LAP-P)	2 (Manômetro Digital – ABSI-DIG100Z)
Operação	Satisfatório	Totalmente satisfatório
Custos	Insatisfatório	Satisfatório
Funcionalidade	Satisfatório	Satisfatório
Precisão dos valores de calibração	Totalmente satisfatório	Totalmente satisfatório

Fontes: os autores (2023)

### 3.3 Revisões das normas

#### 3.3.1 ISO 81060-2 (2018)

A Norma Técnica ISO (2018) aborda os requisitos e procedimentos de calibração para esfigmomanômetros não invasivos utilizados. A norma tem como principais pontos relacionados à calibração o objetivo de garantir a precisão das medições de pressão arterial realizadas por esfigmomanômetros não invasivo, define faixas de pressão, como pressão sistólica, diastólica e média, estabelecendo requisitos específicos de exatidão para cada faixa, e descrição dos procedimentos de calibração para verificar se um esfigmomanômetro atende aos requisitos de exatidão. Isso envolve a aplicação de diferentes pressões conhecidas no aparelho e a comparação dos resultados com valores de referência.

A norma estabelece critérios para avaliar a precisão das medições realizadas pelo esfigmomanômetro, levando em consideração a diferença entre os valores medidos e os valores de referências. Critérios são estabelecidos para avaliar os resultados da calibração. Caso os resultados estejam dentro dos limites de tolerância especificados, o esfigmomanômetro é considerado calibrado.

Caso contrário, ajustes ou reparos podem ser necessários. A norma não estipula uma frequência específica de calibração, deixando essa decisão para o fabricante e as recomendações específicas do esfigmomanômetro em questão. No entanto, em seus manuais, os fabricantes recomendam realizar a calibração regularmente, geralmente a cada seis meses ou anualmente.

### 3.3.2 Portaria DIMEL/INMETRO nº 46, (2016).

A Portaria do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) DIMEL/INMETRO nº 46 (2016), estabelece os requisitos e procedimentos de avaliação da conformidade para esfigmomanômetros não invasivos. Essa portaria tem como objetivo garantir que os esfigmomanômetros atendam aos requisitos técnicos estabelecidos, visando assegurar a qualidade e a precisão das medições de pressão arterial realizadas por esses dispositivos.

Os requisitos técnicos definidos na portaria abrangem diferentes aspectos dos esfigmomanômetros, como características construtivas, faixas de medição, exatidão, indicações e calibração. Esses requisitos são estabelecidos para assegurar a confiabilidade e a precisão das medições realizadas por esses dispositivos médicos essenciais. A portaria também descreve os procedimentos que devem ser seguidos para avaliar a conformidade dos esfigmomanômetros não invasivos. Esses procedimentos envolvem ensaios laboratoriais realizados para verificar se os aparelhos atendem aos requisitos técnicos estabelecidos, garantindo assim sua conformidade.

Após a conclusão bem-sucedida da avaliação da conformidade, é emitido um certificado que atesta que o esfigmomanômetro está em conformidade com os requisitos estabelecidos na portaria. A portaria também estabelece requisitos de rotulagem para os esfigmomanômetros. Os requisitos incluem informações obrigatórias que devem ser incluídas nas embalagens e nos próprios aparelhos, proporcionando aos usuários informações claras e precisas sobre o dispositivo.

## 4 REQUISITOS DO PROJETO

Para o desenvolvimento inicial deste projeto, foram definidos alguns requisitos relacionados com os atributos do produto, conforme apresentação no quadro dois.

Quadro 2 – requisitos definidos para atributos do produto

REQUISITOS	DISCRIMINAÇÃO
Processo	Desenvolver um procedimento automatizado da calibração com armazenamento de dados para relatórios e certificados.
Estrutura	Um gabinete portátil com dimensões próximas de 260x350x130mm (LxPxA), com uma conexão para alimentar o esfigmomanômetro a ser calibrado, um painel com display de interface e botões para seleção dos programas e comparação, uma fonte de alimentação ligada a rede de energia para alimentar o equipamento, um gravador de cartão de memória micro SD para salvar os dados de leitura.
Uso comum	O equipamento deve ser compatível com a calibração de esfigmomanômetros aneroides e digitais.

Material	Plástico ou acrílico que torne o equipamento leve, porém resistente.
Operação	Fácil instalação e operação intuitiva
Redução de custo	Redução de custo se comparado a um calibrador de aparelho de pressão

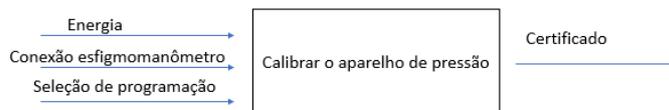
Fontes: os autores (2023)

#### 4.1 Análise funcional

Com base em pesquisas e conteúdo, todo produto consiste em funções e princípios de solução. Nesse caso, deve-se determinar as funções global e funções parciais. A função global (figura 3) do objeto segue alguns requisitos específicos como a razão pela qual ele foi criado, sendo que o calibrador tem como objetivo executar o processo de forma semiautomática para posteriormente serem utilizados na emissão de um certificado de calibração. A funções parciais (figura 4) mostra o esquema da funcionalidade do processo do uso do equipamento.

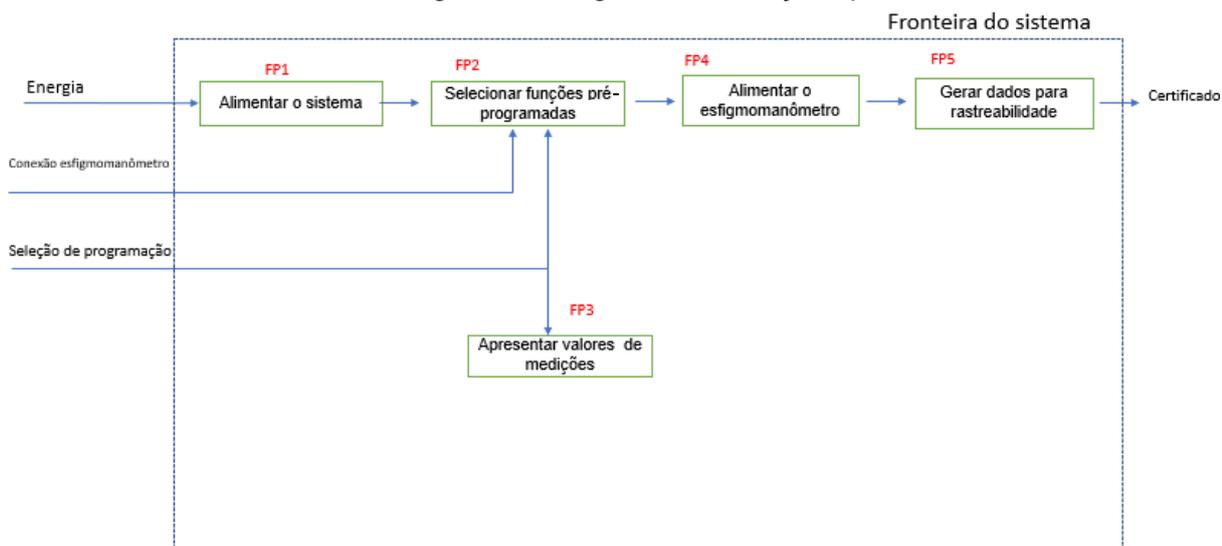
Figura 3 – Função global da proposta

Diagrama da função global



Fonte: Os autores (2023)

Figura 4 – Diagrama das funções parciais



Fonte: os autores (2023)

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, serão apresentados os materiais utilizados e o método empregado no desenvolvimento do equipamento para calibração semiautomática de esfigmomanômetros. Serão descritos os componentes eletrônicos, as ferramentas e o processo de montagem e integração dos elementos do sistema.

### 5.1 Materiais Utilizados

Consideram-se os objetos utilizados com os requisitos específicos como a razão pela qual ele foi utilizado na construção calibrador de aparelho de pressão.

A placa Arduino UNO R3 Atmega328 (Figura 5) foi utilizada como a base do sistema de controle do equipamento. Essa placa oferece capacidade de programação e interação com os outros componentes.

Figura 5 - Placa Arduino UNO R3 Atmega328



Fonte: [https://curtocircuito.com.br/placa-uno-r3-com-cabo-usb.html?utm\\_term=&utm\\_campaign=&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=7016354091&hsa\\_cam=20014904839&hsa\\_grp=149095084020&hsa\\_ad=655754934429&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=pla-876914456540&hsa\\_kw=&hsa\\_mt=&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gclid=Cj0KCQjw7PCjBhDwARIsANo7CgmjZfNSGvICSfyAJUu5EzpARl0giPwclQFf7NdkaFXKTKixNshOAt8aAvQBELw\\_wcB](https://curtocircuito.com.br/placa-uno-r3-com-cabo-usb.html?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=7016354091&hsa_cam=20014904839&hsa_grp=149095084020&hsa_ad=655754934429&hsa_src=g&hsa_tgt=pla-876914456540&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=Cj0KCQjw7PCjBhDwARIsANo7CgmjZfNSGvICSfyAJUu5EzpARl0giPwclQFf7NdkaFXKTKixNshOAt8aAvQBELw_wcB)

O sensor de pressão diferencial MPX2200GP (Figura 6) foi escolhido para medir a pressão gerada durante a calibração. Esse sensor fornece leituras precisas e confiáveis da pressão aplicada.

Figura 6 - Sensor de Pressão Diferencial MPX2200GP



Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2115120094-sensor-de-presso-diferencial-mpx2200gp-\\_JM#is\\_advertising=true&position=1&search\\_layout=stack&type=pad&tracking\\_id=ca881d19-d9d0-4893-8526-73416adb4419&is\\_advertising=true&ad\\_domain=VQCATCORE\\_LST&ad\\_position=1&ad\\_click\\_id=NjdmMTk1NzMtOTUzNy00YTlzLTIiNjEtMjM5MjJkOGRmZWJj](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2115120094-sensor-de-presso-diferencial-mpx2200gp-_JM#is_advertising=true&position=1&search_layout=stack&type=pad&tracking_id=ca881d19-d9d0-4893-8526-73416adb4419&is_advertising=true&ad_domain=VQCATCORE_LST&ad_position=1&ad_click_id=NjdmMTk1NzMtOTUzNy00YTlzLTIiNjEtMjM5MjJkOGRmZWJj)

Uma minibomba geradora de ar KPM27C-12A 6V (Figura 7) foi utilizada para criar uma pressão controlada no sistema. Essa bomba foi integrada ao equipamento para simular a pressão arterial durante o processo de calibração.

Figura 7 - Minibomba Geradora de Ar KPM27C-12A 6V



Fonte: <https://pt.aliexpress.com/item/1005003872118430.html>

A mini eletroválvula solenoide KSV05A 5V (Figura 8) foi empregada para controlar o fluxo de ar e a liberação da pressão gerada pela bomba. Essa válvula foi acionada pelo Arduino, permitindo o controle preciso da pressão aplicada.

Figura 8 - Mini Eletroválvula Solenoide KSV05A 5V



Fonte:

<https://pt.aliexpress.com/item/1005004276634316.html>

Um display LCD 16x2 (Figura 9) de fundo azul foi utilizado para exibir informações e resultados do processo de calibração. Esse display oferece uma interface visual clara e legível para o usuário.

Figura 9 - Display LCD 16x2 1602 Fundo Azul



Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2864210040-display-lcd-16x2-1602-fundo-azul-arduino-\\_JM#position=4&search\\_layout=grid&type=item&tracking\\_id=244580eb-a363-4197-a948-20ee8a7baa91](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2864210040-display-lcd-16x2-1602-fundo-azul-arduino-_JM#position=4&search_layout=grid&type=item&tracking_id=244580eb-a363-4197-a948-20ee8a7baa91)

O módulo *Shield Micro SD* (Figura 10) foi utilizado para a gravação e leitura de dados durante o processo de calibração. Esse módulo permite o armazenamento de informações relevantes para análise posterior.

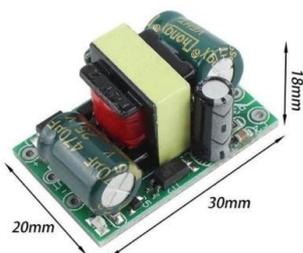
Figura 10 - Módulo Shield Micro SD, Leitor e Gravador



Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1604803444-modulo-shield-micro-sd-leitor-e-gravador-para-arduino-\\_JM?quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1604803444-modulo-shield-micro-sd-leitor-e-gravador-para-arduino-_JM?quantity=1)

Uma mini fonte chaveada conversora de tensão de 12V 5W 450mA (Figura 11) foi utilizada para alimentar o sistema de forma adequada. Essa fonte fornece a energia necessária para o funcionamento dos componentes eletrônicos.

Figura 11 - Mini Fonte Chaveada Conversor Tensão 12V 5W 450mA Arduino



Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1897542568-mini-fonte-chaveada-conversor-tensao-12v-5w-450ma-arduino-\\_JM?quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1897542568-mini-fonte-chaveada-conversor-tensao-12v-5w-450ma-arduino-_JM?quantity=1)

Foram empregados botões *push button* 4 pinos de 6x6x6mm (Figura 12) para permitir a interação do usuário com o equipamento. Esses botões foram programados para executar funções específicas durante o processo de calibração.

Figura 12 - Botões *Push Button* 4 Pinos 6x6x6mm



Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902170416-10-boto-microchave-push-button-4-pinos-6x6x6-mm-arduino-esp-\\_JM?quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902170416-10-boto-microchave-push-button-4-pinos-6x6x6-mm-arduino-esp-_JM?quantity=1)

### 5.1.2. Outros componentes e ferramentas

Além dos componentes eletrônicos mencionados, também foram utilizados outros materiais e ferramentas, como a case de plástico injetado, a *protoboard* 400 pontos, conexões retas e cotovelos, tubos de silicone e poliuretano, espigões, cruzeta de espigão de mangueira, cabos de força, LEDs difusos, *buzzer* ativo e chaves de gangorra. Esses elementos auxiliaram na montagem e integração dos componentes do sistema.

## 5.2 Métodos

O desenvolvimento do equipamento de calibração de esfigmomanômetros foi realizado seguindo as etapas descritas abaixo:

### 5.2.1 Projeto

Inicialmente, foi realizado um estudo prévio com análise de similares

para definir os requisitos, especificações e funcionalidades do equipamento. Foram identificadas as necessidades de ajustes e as interações entre os componentes. Após essas definições foi realizado o projeto 3D do equipamento, conforme as figuras ( figura 13a, figura 13b e figura 13c).

Figura 13 – a) Vista frontal; – b) Vista lateral; c) Vista traseira

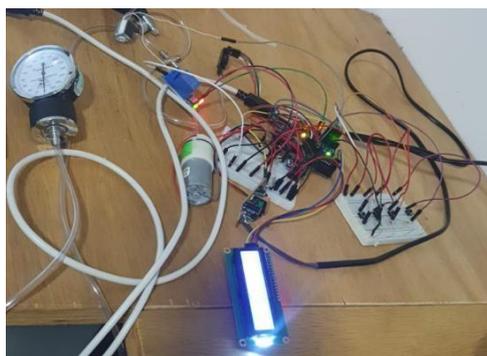


Fonte: os autores (2023 )

### 5.2.2 Montagem e Integração dos Componentes

Os componentes eletrônicos foram montados e interligados na protoboard de acordo com o projeto desenvolvido. Os cabos, fios e conexões foram devidamente conectados conforme a figura 14 para garantir a estabilidade e a segurança do sistema.

Figura 14 – Protótipo durante o desenvolvimento



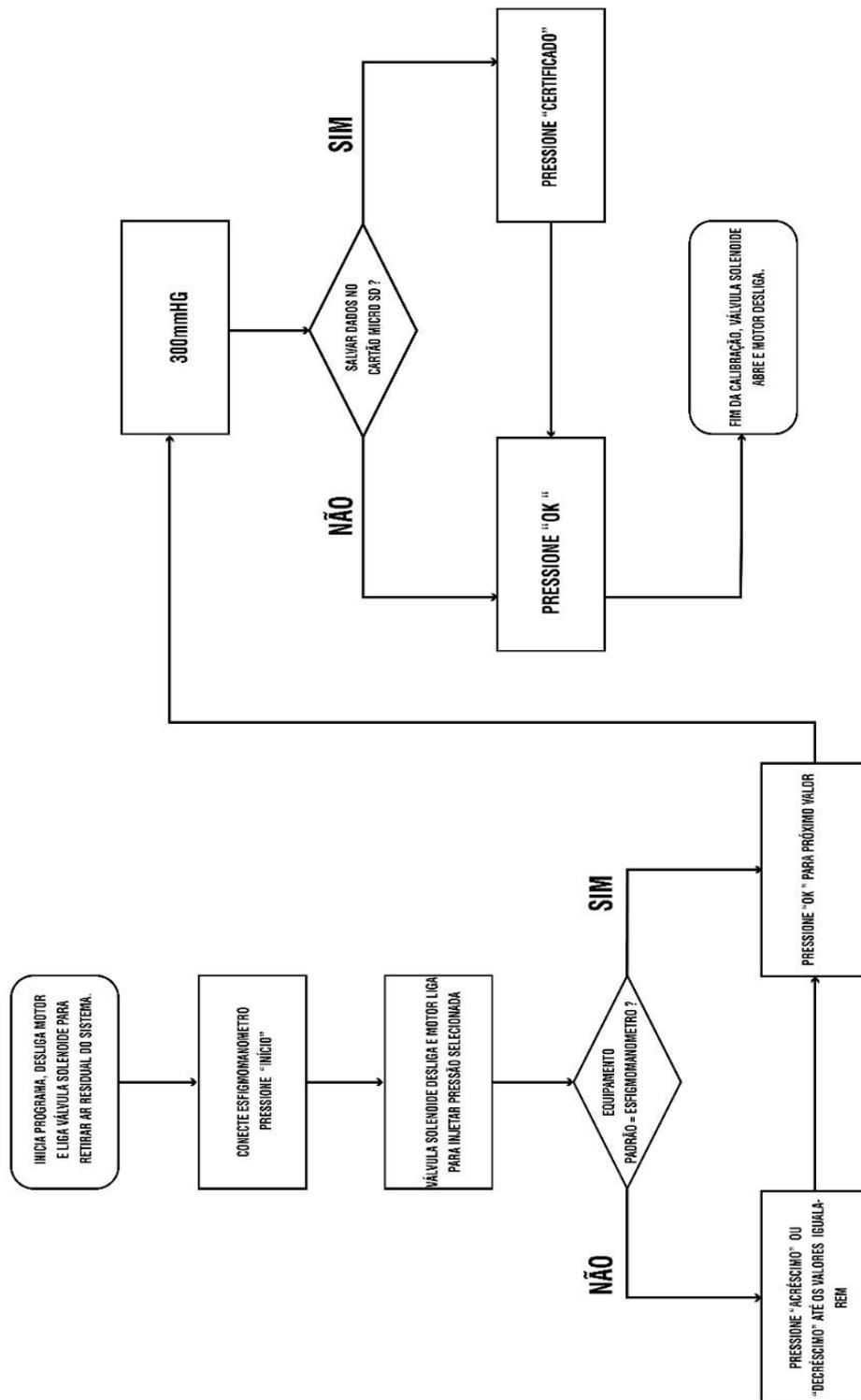
Fontes: os autores (2023)

### 5.2.3 Programação do Arduino

O microcontrolador foi programado baseado na estrutura do fluxograma (figura 15) para controlar o funcionamento do equipamento. Algumas bibliotecas prontas foram utilizadas para a programação do código, sendo elas *Wire.h* que fornece funções que permitem a comunicação entre dispositivos eletrônicos utilizando o protocolo I2C, permitindo a troca de informações e

controle entre eles, *LiquidCrystal\_I2C.h* que facilitam a configuração e o controle de displays LCD, *HX711.h* essa biblioteca fornece funções que permitem a leitura de dados provenientes de sensores de pressão, *SdFat.h* é utilizada para a leitura e escrita de arquivos em cartões de memória SD (*Secure Digital*). Vale ressaltar que as bibliotecas foram utilizadas de forma auxiliar e todo o algoritmo para acionar os componentes, receber as leituras do sensor de pressão e exibir informações no display LCD foi desenvolvido no decorrer deste trabalho.

Figura 15 – Fluxograma da programação



#### 5.2.4 Testes e Validação

Após a montagem e programação do equipamento de calibração, foram conduzidos testes para verificar o seu funcionamento correto. Esses testes consistiram em comparar os valores exibidos no display do equipamento com os valores de um equipamento de coluna de mercúrio. Após a verificação do equipamento, foram realizadas a calibração de um esfigmomanômetro aneróide (Esfigmo 1), um esfigmomanômetro digital (Esfigmo 2) e um manômetro digital (Manômetro) usando o equipamento desenvolvido e os resultados foram comparados com valores de referência, a fim de confirmar a sua precisão e confiabilidade. A tabela 1 abaixo apresenta os valores padrão gerados pelo calibrador e os valores exibidos pelos esfigmomanômetros e o manômetro.

Tabela 1 – Valores obtidos durante testes de calibração

Valor padrão (mmHg)	Valor do esfigmomanômetro (mmHg)		
	Esfigmo 1	Esfigmo 2	Manômetro
Calibrador			
40	40	40	41
60	61	60	61
80	80	80	82
100	100	100	101
120	119	120	122
140	141	141	142
160	160	160	162
180	180	182	180
200	201	202	201
220	221	220	222
240	240	241	243
260	259	260	264
280	279	284	283
300	298	304	301

Fonte: os autores (2023)

## 6 RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos com o equipamento desenvolvido para calibrar esfigmomanômetros de forma semiautomática. O objetivo deste capítulo é discutir os resultados alcançados e avaliar se as expectativas iniciais foram atendidas.

### 6.1 Avaliações dos Resultados

Durante o processo de checagem, foram realizados testes utilizando diferentes esfigmomanômetros e pressões de referência. Os resultados obtidos

demonstraram que o equipamento foi capaz de realizar a calibração de forma confiável com variações dentro dos limites aceitáveis determinados pelas normas. Em relação à faixa de medição, os componentes utilizados no equipamento se mostraram adequados e possibilitaram uma faixa de medição satisfatória. Os esfigmomanômetros foram calibrados com sucesso dentro dos limites estabelecidos pelas características dos componentes.

Os resultados obtidos foram consistentes e apresentaram uma boa concordância com os valores esperados. Isso indica que o equipamento foi capaz de fornecer resultados precisos, garantindo a confiabilidade das medições de pressão arterial.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos atenderam às expectativas iniciais. O equipamento desenvolvido mostrou-se eficiente na calibração de esfigmomanômetros, proporcionando resultados precisos e confiáveis. O processo de calibração ocorreu de maneira satisfatória, garantindo a acurácia das medições de pressão arterial realizadas pelos esfigmomanômetros. No entanto, deve ser considerada a importância do desenvolvimento de melhorias do equipamento, uma possibilidade é aprimorar a interface de usuário para simplificar o registro e armazenamento dos resultados de calibração. Isso pode ser feito por meio de uma conexão sem fio, que permite que os dados sejam salvos diretamente em um computador sem a necessidade de um cartão micro SD.

## 8 REFERÊNCIAS

ISO 81060-2. **Non-invasive sphygmomanometers — Part 2: Clinical investigation of intermittent automated measurement type**. 2018;

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Portaria Inmetro/Dimel nº 046**. 16 de fevereiro de 2016. Disponível em: <http://sistema-sil.inmetro.gov.br/pam/PAM006270.pdf> . Acesso em: 04 maio 2024.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria n.º 46, de 22 de janeiro de 2016**. Disponível em: <http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002373.pdf> Acesso em: 18 mar 2023;

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Portaria Inmetro nº 096**. 2008. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001287.pdf>. Acesso em: 05 mar 2023;

OLIVEIRA, L. **Sistema Circulatório**. 2017. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/historep/files/2017/07/Sistema->

Circulat%C3%B3rio\_OFICIAL.pdf. Acesso em: 12 maio 2023;

PIERIN, A. **Como avaliar a calibração dos aparelhos de medida da pressão arterial.** Ver Bras Hipertens vol 7(4), Dez 2000. Disponível em: <http://departamentos.cardiol.br/dha/revista/7-4/017.pdf>. Acesso em: 17 ago 2022;

RESOLUÇÃO - RDC Nº 145, DE 21 DE MARÇO DE 2017. Disponível em: <https://cvs.saude.sp.gov.br/zip/res%20rdc%20145.17.pdf>. Acesso em: 13 maio 2023;

RODRIGUES, C. *et al.* **Importância do uso adequado da estatística básica nas pesquisas clínicas.** Rev Bras Anestesiol. 2017; 76 (6): 619-625. Maceió/AL, 10 abr 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rba/a/N5PgBCrzhDkfRbX8QXsctHx/?lang=pt>. Acesso em: 05 mar 2023;

SALCAS. **Bomba de calibração elétrica com capacidade de gerar vacuo/pressão (-0,90 A +25 BAR).** Disponível em: <https://www.salcas.com.br/bomba-de-calibracao-eletrica-com-capacidade-de-gerar-vacuo-pressao-0-90-a-25-bar-lr-cal-lap-p>. Acesso em: 14 maio 2023;

SANTOS, M. 2021. **Fisiologia do sistema cardiovascular.** Disponível em: [https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15183016022012Fisiologia\\_Basica\\_aula\\_9.pdf](https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15183016022012Fisiologia_Basica_aula_9.pdf). Acesso em: 20 abr 2023;

TEIXEIRA, D. A. **Fisiologia Humana.** Teófilo Otoni/MG 2021. Disponível em: <https://unipacto.com.br/storage/gallery/files/nice/livros/FISIOLOGIA%20HUMANA%20EBOOK%20-%20978-65-992205-4-8.pdf>. Acesso em: 16 abr 2023.