

# PROTÓTIPO DE UM DINAMÔMETRO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIÇÃO DE FORÇA MUSCULAR UTILIZANDO ARDUINO

**Marciel Bezerra de Moura<sup>1</sup>, Idalmir de Souza Queiroz Junior<sup>1</sup>, Mateus Ânderson Barreto Duarte<sup>1</sup>, Theo Martins de A. Paiva<sup>1</sup>, Maycon Jean de Moura<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Engenharias – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)  
Mossoró – RN – Brasil

gmarcielllbezerra@gmail.com, idalmir@ufersa.edu.br,  
mateusanderson@hotmail.com, theo\_martins\_alencar@hotmail.com,  
mayconjeanm@gmail.com

**Abstract.** *In the medical field, the use of accurate measuring instruments to determine faster diagnoses has been one of the great advances in technology. Thus, this work deals with the creation of a prototype for the measurement of muscular strength, intended for the physiotherapeutic area, using low cost and easily accessible resources, with a maximum capacity of 100 kilograms, thus making it possible to use it in several members of the body. The prototype features an embedded system, which records all measurements made, in addition to having an easy-to-use user interface. After the prototype was built, several measures were taken, proving its feasibility for use in the medical field.*

**Resumo.** *Na área medicinal, a utilização de instrumentos de medição precisos para a determinação de diagnósticos mais rápidos tem sido um dos grandes avanços da tecnologia. Assim, este trabalho trata da criação de um protótipo para a medição de força muscular, destinado a área fisioterapêutica, utilizando recursos de baixo custo e de fácil acesso, com capacidade máxima de 100 quilogramas, sendo possível assim a sua utilização em diversos membros do corpo. O protótipo apresenta um sistema embarcado, que registra todas as medições feitas, além de possuir uma interface com o usuário de fácil utilização. Após a construção do protótipo, várias medidas foram efetuadas, comprovando a sua viabilidade para a utilização na área medicinal.*

## 1. Introdução

A criação de um protótipo para a medição de força muscular utilizando um microcontrolador é um projeto dedicado a suprir a demanda de equipamentos de baixo custo com boa precisão na área da saúde, mais especificamente na área do estudo muscular. Contribuindo assim para a melhoria do serviço medicinal do Brasil. O projeto utiliza um Arduino na prototipagem e componentes de baixo custo, como os sensores e ferramentas simples.

A utilização de um instrumento capaz de medir força é bastante comum na área da saúde, esses instrumentos mostram como está o estado dos músculos de determinados pacientes. Na fisioterapia, por exemplo, um fisioterapeuta pode avaliar o progresso muscular de um paciente com lesão a partir da força que exerce sobre um instrumento com essa finalidade.

O projeto, então, visa responder a seguinte pergunta: é possível criar um instrumento relativamente preciso e de boa qualidade, utilizando ferramentas e materiais de baixo custo, que possa ser utilizado como complemento para instrumentos de diagnóstico de força mais caros?

Por ser um instrumento muito caro, devido ao mesmo não ser encontrado facilmente no Brasil, e por ser necessário na área da saúde, o projeto proposto tenta viabilizar a construção deste instrumento utilizando material de baixo custo e disponibilizá-lo a universidade ou às instituições privadas locais para a sua utilização e melhoria do projeto. Assim, o projeto consiste na utilização de uma plataforma acessível e barata, o Arduino, para a criação de um instrumento capaz de realizar medições e registros de força muscular, com a finalidade de obter dados referentes à qualidade dos músculos de um determinado paciente examinado com o instrumento, utilizando então esses dados para a obtenção de diagnósticos melhores e mais precisos.

## **2. Referencial Teórico**

Força muscular é a capacidade fisiológica da musculatura produzir ou gerar determinada tensão ou compressão Marques (2002). Logo, os músculos devem se contrair, de forma a realizar um movimento ou simplesmente para manter os ossos alinhados visando o equilíbrio postural. O corpo humano possui três tipos de contrações musculares capazes de gerar algum tipo de tensão: a contração isotônica – realizada dinamicamente contra resistência à medida que o músculo se alonga (excêntrica) ou se encurta (concêntrica) na amplitude de movimento existente; a contração isocinética – forma de contração isotônica, na qual a velocidade e o encurtamento do músculo são controlados por um equipamento limitador; e a contração isométrica – realizada estaticamente quando um músculo se contrai sem mudança apreciável no seu comprimento KISNER (2004).

A manutenção dessa força muscular é de extrema importância, pois os movimentos do corpo humano precisam da força muscular para ocorrer, seja para atividades físicas desportivas, atividades laborais, recreação, etc. Logo, o comportamento dessa força em pacientes que sofreram algum tipo de impacto muscular, seja por acidentes, por doenças ou por algum tipo de anomalia, deve ser medido e acompanhado de forma precisa para detalhar ao máximo o diagnóstico e assim determinar o tipo de tratamento em que o indivíduo irá necessitar. Faz-se então necessário a utilização de ferramentas médicas para a obtenção de dados referentes a essa força muscular atuando no paciente.

### **2.1. Medidores de Força Fisioterapêuticos**

Na área medicinal, a força que é determinada por parte do corpo, pode ser de suma importância, pois pode ser quantificada para cada biotipo, sendo possível adotar um padrão. Assim, pode-se chegar a diversos diagnósticos musculares ou até mesmo ortopédicos a partir de resultados da força exercida por um determinado membro, por exemplo. Existem diversos tipos de medidores de força empregados na área

fisioterapêutica, como exemplo se tem o dinamômetro digital de mão, ou o dinamômetro Jamar demonstrado nas Figuras 1a) e 1b), respectivamente, que são instrumentos utilizados para medir a força máxima que a mão consegue exercer de acordo com a tensão ou a contração que ela exerce sobre um transdutor ou sensor interno do instrumento INSTRUTHERM (2019).



**Figura 1. a) Dinamômetro digital de mão, b) Dinamômetro Jamar (Adaptado de Instrutherm, 2019).**

Porém, esses instrumentos não possuem um sistema de medição aprimorado para a execução de um diagnóstico mais preciso, além disso, funcionam restritamente como medidores de força muscular na região das mãos, não sendo possível a sua utilização para a determinação de diagnósticos em outros membros do corpo. Alguns instrumentos da área fisioterapêutica conseguem ser mais eficientes, abrangendo uma boa captação dos dados e uma maior precisão do diagnóstico, porém devido a essa eficiência, ainda são muito caros e pouco utilizados. Assim, surge a necessidade da utilização de instrumentos alternativos que possuam uma boa precisão e que não sejam tão caros.

### **3. Componentes do Protótipo**

Utilizando como base o Arduino, os sensores foram dimensionados para que fosse possível a implementação do protótipo da melhor forma, utilizando componentes de fácil acesso e que sejam pequenos o suficiente para a utilização de forma embarcada, ou seja, de forma compacta o suficiente para a utilização portátil em diversos locais, em consultas, didaticamente, etc.

#### **3.1. Células de Carga**

Para a prototipagem, as células, Figura 2, que mais se adequaram tendem a ser células com uma capacidade maior, pois alguns membros do corpo, como por exemplo as pernas, exercem uma força muito alta, ultrapassando os 200 Newtons (N) para alguns casos. Assim, a célula de carga mais adequada para o trabalho é a célula de 50 quilogramas, que irá trabalhar em conjunto com outra de mesma capacidade, totalizando assim 100 quilogramas de capacidade no instrumento, ou seja, uma capacidade de aproximadamente 0,98kN de força máxima.



**Figura 2. Célula de carga de 50kg (Autoria própria).**

### **3.2. Módulo Amplificador HX711**

Para a utilização das células de carga em um Arduino, é necessário um módulo amplificador do sinal das células, pois as células de carga geram uma diferença de potencial muito baixa para o Arduino. Esse sinal deve ser amplificado para que haja um bom funcionamento no controlador, para isso, o módulo HX711 de 24 bits é o mais utilizado. O módulo possui terminais de entrada que podem conectar mais de uma célula, sendo possível então a utilização de duas células em conjunto, além de ser barato e de fácil acesso.

O módulo foi projetado para trabalhar diretamente com sensores em ponte de Wheatstone para aplicações de medição de forças diversas, seja por pesos colocados estaticamente ou por forças constantes sob a célula de carga. O multiplexador de entrada seleciona entre dois canais diferenciais A e B. Cada canal diferencial pode ser ligado em até duas células de carga (A+ e A- e B+ e B-).

### **3.3. Módulo SD**

Para o armazenamento dos dados, é necessário algum tipo de memória, seja ela um servidor na internet ou uma memória física. Por se tratar de um protótipo barato, a melhor escolha é o módulo SD, pois não é necessário conexão com a internet e não depende de qualquer outro fator externo. Um módulo SD é um componente eletrônico que possui um soquete para a inserção de um cartão de memória do tipo SD de qualquer tamanho, assim, utilizando um cartão SD de 8GB, o instrumento irá possuir uma memória enorme de registro e poderá ser trocado facilmente caso haja algum defeito.

### **3.4. LCD 16X2**

Como se trata de um protótipo onde o mesmo será utilizado para diagnósticos rápidos, faz-se necessário uma forma de exibir os valores correspondentes das medições ao usuário. O melhor *display* que atende aos requisitos é um *display* de cristal líquido 16x2, que exibe duas linhas de informação por vez na tela e se trata de um componente barato. Ao ser utilizado com uma resistência variável em seu terminal, é possível regular o contraste da tela, melhorando a utilização do protótipo.

### **3.5. Módulo RTC**

Para a obtenção de valores temporais como os valores de data e hora, foi utilizado um módulo RTC (*Real Time Clock* - relógio de tempo real), contendo uma bateria do tipo botão de 3V. Esse módulo registra a hora e a data como um relógio comum,

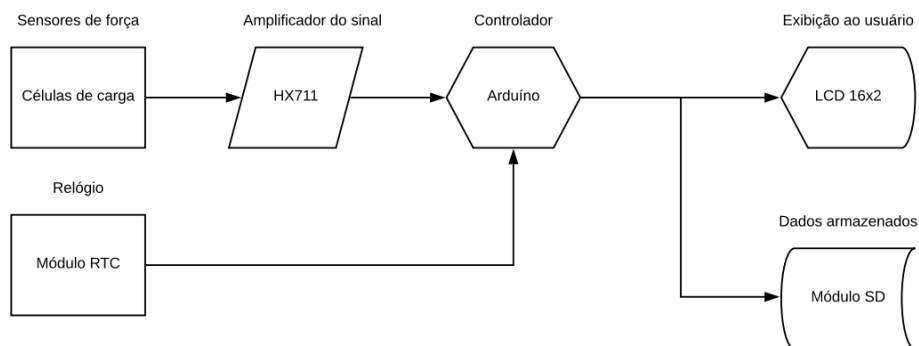
funcionando mesmo com o sistema desligado devido a sua alimentação externa da bateria de 3V, impedindo que haja atraso ou adiantamento da hora, assim é possível o registro temporal preciso das medições no cartão e na tela.

### 3.6 Botões de Interface

Como o LCD utilizado exibe apenas duas linhas de informações, e o instrumento em sua utilização precisa ser zerado de tempo em tempo, fez-se necessário a utilização de botões para a fácil utilização do usuário. Dois botões do tipo *pushbutton* foram escolhidos para a utilização no protótipo, são botões baratos e de fácil utilização. Um botão será utilizado para a zeragem do medidor de força e outro será responsável pela integração do *display* com o usuário, exibindo três telas com informações variadas.

## 4. Circuito do Protótipo

O circuito deverá funcionar com a lógica descrita na Figura 3, as células de carga receberão uma força de até 0,98kN, que partirá de uma força efetuada por algum membro do corpo do usuário, onde a deformação fará com que nos terminais surja uma pequena diferença de potencial. O módulo amplificador HX711 irá amplificar o sinal para que seja possível a leitura para o Arduino. Ao mesmo tempo, a placa receberá os sinais do HX711 e do módulo RTC, que irá enviar os dados de data e hora atuais, sendo então capaz de implementar os dados para o LCD. O LCD será responsável pela exibição das informações coletadas ao usuário. O Módulo SD será responsável pelo armazenamento dos dados no cartão SD para a futura utilização.



**Figura 3: Diagrama de blocos da lógica do protótipo (Autoria própria).**

## 5. Construção do Protótipo

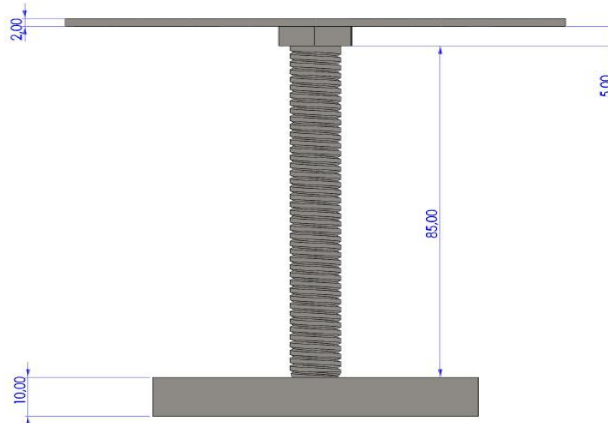
Após a simulação do protótipo e os ajustes finais, os componentes para a fabricação do instrumento, os componentes foram comprados, utilizando diversos fornecedores na internet. Os preços foram variados, porém todos os componentes tiveram um preço baixo, não chegando a 10 reais por componente, com exceção do Arduino, atendendo ao requisito de ser um protótipo de baixo custo. Os preços, obtidos em junho de 2019, estão mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1: Lista de preço dos componentes eletrônicos do protótipo (Autoria própria).**

Componente	Preço por unidade	Número de itens	Fornecedor
Arduino UNO R3	R\$ 13,13	1	Aliexpress.com
Bateria 9V	R\$ 9,99	1	Mercadolivre.com
Célula de carga 50kg	R\$ 2,59	2	Aliexpress.com
HX711	R\$ 2,25	1	Aliexpress.com
LCD 16x2	R\$ 4,92	1	Mercadolivre.com
Módulo SD	R\$ 9,90	1	Mercadolivre.com
<i>Pushbutton</i>	R\$ 0,20	2	Mercadolivre.com
RTC	R\$ 2,26	1	Mercadolivre.com

Com aproximadamente cinquenta reais foi possível a construção do protótipo para a medição de força muscular. Enquanto um dispositivo semelhante, como por exemplo o LAFAYETTE HAND-HELD DYNAMOMETER, custa em média mil e duzentos dólares, onde convertendo na moeda brasileira utilizando o dólar a quatro reais, custa cerca de quatro mil e oitocentos reais, segundo os fornecedores.

Como o protótipo possui duas células em conjunto, fez-se necessário uma peça de suporte que seja possível a sua utilização combinada com as células e que possua uma área para a aplicação da força, assim, a peça para o suporte foi desenhada e dimensionada de acordo com a Figura 4. Os valores das dimensões da peça, representados na Figura 4 estão em milímetros.

**Figura 4: Esboço 2D da peça de suporte do protótipo (Autoria própria).**

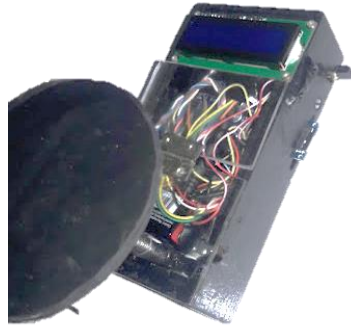
Após o processo de fabricação da peça de suporte, o instrumento é montado na caixa de madeira 16cm x 8cm, iniciado pela determinação dos locais de cada componente. As células de carga possuem uma base que deverá ser elevada para que seja possível a sua deformação e para que não haja nenhuma interferência no momento em que a força for medida. Para isso, utiliza-se o raiamento de bicicleta, que foi cortado e colado com cola quente nas extremidades da célula.

Após montado a base, os furos necessários para os botões e alguns componentes foram feitos e o circuito eletrônico foi montado e colocado dentro da caixa de madeira, confinado com uma pequena placa de acrílico na superfície junto com uma dobradiça,

que tem o papel de facilitar a mudança de algum componente para o experimento ou algum ajuste final. O protótipo então foi finalizado com a fixação do *display* na caixa.

## 6. Resultados e Discussão

A Figura 5 mostra o resultado final do protótipo, com sua base rosqueada, é possível, facilmente, a troca do disco de apoio, possibilitando a utilização do aparelho em diversos músculos.



**Figura 5: Protótipo final com disco de apoio acoplado (Autoria própria).**

Para a calibração do protótipo, faz-se necessária a utilização de um peso padrão, que tenha um valor conhecido e que possua uma incerteza de medição baixa. Foi usado um peso padrão de 850 gramas. O peso então foi medido utilizando uma balança analítica de precisão, com uma resolução de 0,1g. Onde, após 15 medições, obteve-se o peso de 851,4g com incerteza de aproximadamente  $\pm 0,1g$ .

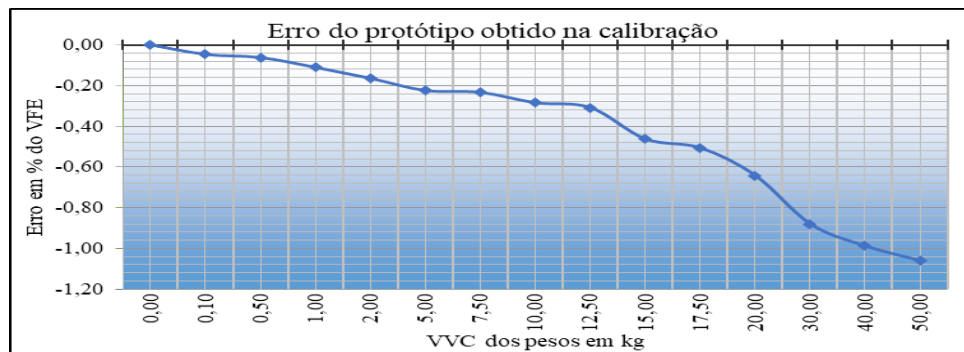
Após a medição do peso padrão, foi possível a utilização do mesmo para a calibração do protótipo. Foram feitas várias medições, posicionando o peso ao longo de todo o disco de apoio. O fator de calibração obtido pelo peso, foi implementado no código, concluindo então a construção do protótipo. A resolução foi ajustada para 0,01kg, ou seja, aproximadamente 10g de incremento digital.

Após o ajuste do fator de calibração como valor inicial para o protótipo utilizando o peso padrão, o instrumento foi calibrado novamente com vários pesos padrões de laboratório de metrologia. O protótipo foi calibrado utilizando o método de calibração direta por comparação, ou seja, vários pesos de diferentes massas foram colocados no protótipo, onde o valor exibido no *display* foi comparado com o valor verdadeiro convencional dos pesos padrões. Assim, o protótipo foi calibrado com pesos de até 20kg.

Os erros são calculados através das Equações 1 e 2, onde o erro máximo encontrado foi cerca de 530g, quando submetido a uma massa de 50kg, com uma incerteza de aproximadamente  $\pm 20g$ . A incerteza dos resultados é baseada em uma incerteza combinada para um nível de confiança de aproximadamente 95%. O Valor Verdadeiro Convencional (VVC), corresponde ao valor conhecido para os pesos padrões, dotados de incerteza também conhecida. A média corresponde a soma dos valores medidos no instrumento utilizando o peso padrão, dividido pelo número de vezes em que foi medido, quinze ALBERTAZZI (2004). A Figura 6, mostra os resultados da calibração.

$$Erro = VVC - Media \quad (1)$$

$$Erro \text{ em \% do VFE} = \frac{Erro}{VFE} \times 100 \quad (2)$$



**Figura 6. Gráfico do erro do protótipo em relação ao VFE em todos os pontos calibrados (Autoria própria).**

Os resultados obtidos foram satisfatórios, mostrando que o instrumento é capaz de efetuar medições precisas ao ser submetido por forças de aproximadamente 500N. Por motivos didáticos e por motivo de não haver pesos suficientes para maiores massas, não houve testes acima dessa capacidade de 50kg. Porém, o resultado obtido já é o suficiente para mostrar que o instrumento pode ser utilizado em diagnósticos mais simples com pacientes reais.

## 7. Conclusão

De acordo com o apresentado, pode-se concluir que o protótipo para medição de força muscular de baixo custo possui um alto custo-benefício, visto que o mesmo apresenta medições precisas, com um erro máximo de aproximadamente 1% para o valor final de escala de 50kg e teve um custo de fabricação de aproximadamente cinquenta reais.

Algumas melhorias podem ser feitas no instrumento como, por exemplo, a utilização de um *display* LCD maior, para a exibição de mais informações ao usuário. O instrumento também deve ser submetido a estudo de diferentes tipos de células de carga, pois existem vários tipos de célula de carga no mercado que podem facilmente se adequar ao protótipo. Para trabalhos futuros será necessária a participação de profissionais da área médica para melhorias mais específicas no instrumento.

Assim, foi possível criar um instrumento preciso e de boa qualidade, utilizando ferramentas de materiais de baixo custo que possa ser utilizado como substituto para instrumentos de diagnósticos de força mais caros. Mostrando uma grande capacidade de leituras e uma boa coleta de dados, demonstrando um erro pequeno, que pode concorrer com outros instrumentos que já estão consolidados no mercado.

## Referências

- ALBERTAZZI, ARMANDO G. Jr.; SOUSA, ANDRÉ R. Fundamentos de metrologia científica e industrial. São Paulo: Manole, 2008.
- KISNER C, COLBY LA. Exercícios Terapêuticos – Fundamentos e Técnicas. Barueri, SP: Manole, 2004. 841p.
- LAFAYETTE INSTRUMENT EVALUATION. Lafayette Hand-Held Dynamometer. Disponível em: <<https://bit.ly/39C8Jk7>>. Acesso em 19 jul. 2019.
- MARQUES MAC. A força. Alguns conceitos importantes. Lecturas EF y deportes, 8(46), 2002. Disponível em: <<https://bit.ly/2vDT5WE>>. Acesso em: 1 jun. 2019