

UM PROTÓTIPO DE CADEIRA MOTORIZADA DE BAIXO CUSTO MICROCONTROLADA

Julio Cesar Fernandes Costa ⁽¹⁾ (costajulio@id.uff.br), Jose Andres Santisteban Larrea ⁽¹⁾
(josesantisteban@id.uff.br).

⁽¹⁾ Universidade Federal Fluminense (UFF); Departamento de Engenharia Elétrica (TEE); Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações (PPGEET)

RESUMO: *Para portadores de deficiência motora nos membros inferiores, a cadeira de rodas se apresenta como uma das soluções mais viáveis. Quando motorizada, melhora a qualidade de vida e a inclusão social destes indivíduos. Como o funcionamento das cadeiras de rodas motorizadas atuais, dependem exclusivamente do funcionamento do seu sistema elétrico, foi idealizado um protótipo motorizado de uma cadeira de rodas à partir de uma cadeira de rodas do tipo manual simples, de forma que, ao perder sua motorização, o cadeirante possa utilizá-la de forma manual, mantendo assim sua independência social. Neste protótipo, foram adaptados dois motores trifásicos de corrente contínua sem escovas, com rotor de ímã permanente, acoplados diretamente nos eixos das rodas da cadeira. Estes utilizam sensores hall tipo 41F para cada fase. Os motores são acionados por dois módulos de controle, que recebem as informações dos sensores e de um microcontrolador, para gerar as devidas correntes para os seus estatores. O protótipo é comandado por um joystick com dois potenciômetros, um para o eixo X e outro para o eixo Y, cujos sinais são tratados por um programa específico executado por uma placa Arduino Uno R3. Todo o sistema é alimentado por três baterias de 12 volts.*

PALAVRAS-CHAVE: CADEIRA DE RODAS MOTORIZADA, MOTORES BLDC, CIRCUITO DE CONTROLE.

MICROCONTROLLED LOW-COST MOTORIZED WHEELCHAIR PROTOTYPE

ABSTRACT: *For people with motor disabilities in the lower limbs, the wheelchair is one of the most viable solutions. When motorized, it improves the quality of life and social inclusion of these individuals. As the functioning of current motorized wheelchairs depends exclusively on the functioning of their electrical system, a motorized prototype of a wheelchair was designed from a simple manual wheelchair, so that, upon losing its motorization, the wheelchair user can use it manually, so maintaining their social independence. In this prototype, two brushless three-phase direct current motors, with a permanent magnet rotor, were adapted. This where coupled directly to the axles of the chair's wheels. These use type 41F hall sensors for each phase. The motors are driven by two control modules, which receive information from sensors and a microcontroller, to generate the appropriate currents for their stators. The prototype is controlled by a joystick with two potentiometers, one for the X axis and the other for the Y axis, whose signals are handled by a specific program run by an Arduino Uno R3 board. The entire system is powered by three 12 volts batteries.*

KEYWORDS: MOTORIZED WHEELCHAIR, BLDC MOTORS, CONTROL CIRCUIT.

1. INTRODUÇÃO

Os desafios enfrentados por uma pessoa com mobilidade reduzida nos membros inferiores são muitos, principalmente quando se refere ao seu deslocamento diário, onde a conquista da independência para se locomover requer a superação de diversos obstáculos. De acordo com ANDEF, 2023: *o restabelecimento físico e mental dos pacientes com deficiência motora passa por alternativas de participação plena e efetiva na sociedade e, para isso, precisam de soluções inovadoras e inclusivas.*

Para esse tipo de comorbidade, o meio de transporte mais utilizado diariamente é a cadeira de rodas. Quando motorizada, não requer um esforço físico considerável do cadeirante, mas apenas a habilidade para controlar um *joystick* ou acessório equivalente, para indicar a direção desejada. Entretanto, grande parte das pessoas com mobilidade reduzida tem um outro desafio, algumas vezes intransponível, referido aos altos preços das cadeiras motorizadas que, no mercado nacional, estão entre 6,5 e 30 mil reais, dependendo do grau de sofisticação (Bondfaro, 2023). Além disso, um outro obstáculo a enfrentar é a dificuldade de transitar nas vias públicas com este tipo de veículo que, de acordo com IBGE, 2023: *apenas 5 por cento das vias urbanas no Brasil estão adaptadas para este tipo de transeuntes.*

O protótipo aqui apresentado, foi desenvolvido utilizando-se um modelo básico de uma cadeira de rodas, de forma que, em caso de mal funcionamento, o usuário possa utilizá-la manualmente. Neste protótipo, inicialmente foram realizadas adaptações mecânicas (projeto de iniciação tecnológica prévia), de tal modo que fossem utilizados dois motores trifásicos de corrente contínua sem escovas, com rotor de ímã permanente, acoplados diretamente nos eixos das rodas da cadeira, que utilizam sensores hall tipo 41F para cada fase. Os motores são acionados por dois módulos de controle, que recebem as informações dos sensores e do microcontrolador, para gerar as devidas correntes para os seus estatores. O protótipo é comandado por um joystick com dois potenciômetros, um para o eixo X e outro para o eixo Y, cujas sinais são tratados por um programa específico executado por uma placa Arduino Uno R3. Todo o sistema é alimentado por três baterias de 12 volts, instaladas em série. Em seguida, avaliou-se o desempenho deste protótipo em ambiente interno com piso liso e com uma inclinação máxima de 2,86 graus. Para o desenvolvimento deste protótipo foi tomada como referência a Norma NBR7176 (ABNT, 2023).

2. COMPONENTES E DESENVOLVIMENTO

2.1. Cadeira de Rodas

A cadeira de rodas faz parte dos equipamentos de tecnologia assistiva, servindo de suporte para o alcance máximo da funcionalidade do paciente em relação à sua condição atual. É indicada para pessoas que possuem algum tipo de limitação na mobilidade ou incapacidade de caminhar por conta própria. Essa limitação pode ser causada por diversos fatores, tais como lesões na medula espinhal, doenças neurológicas, lesões ortopédicas ou mesmo devido à idade avançada.

Neste sentido, conforme a Figura 1, existem vários modelos disponíveis atualmente no mercado. Seus modelos e estruturas variam conforme a necessidade do usuário (CONFORPES, 2023).

FIGURA 1: Modelos de Cadeiras de Rodas.



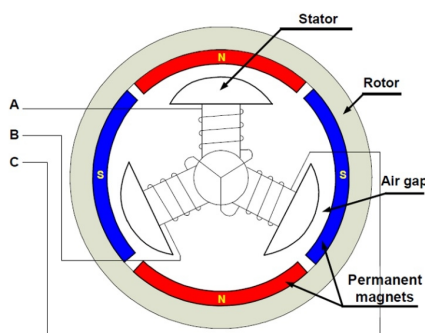
Fonte: Conforpes (2023).

Destacando os modelos da Figura 1, da esquerda para direita, tem-se a cadeira monobloco, de menor peso devido à utilização de fibra de carbono, titânio e alumínio, sendo a mais utilizada entre os atletas. Na sequência, tem-se a cadeira dobrável em “X” que é um modelo simples de fácil armazenamento e boa estabilidade. Em terceiro lugar, mostra-se a cadeira manual simples, recomendada para idosos ou debilitados, que oferece poucas opções de ajustes e com o custo mais acessível. Em quarto lugar, mostra-se uma cadeira motorizada conduzida através de um joystick, que concede ao cadeirante mais mobilidade, e por fim, mostra-se uma cadeira elevadora que conduzida através de um joystick, concede uma postura ereta, e com possibilidade de elevação, permitindo que a pessoa fique na posição vertical na própria cadeira.

2.2. Tração Elétrica

Em relação à tração elétrica, foi levada em conta a crescente popularidade dos motores de corrente contínua sem escovas (*BLDC, Brushless DC*), que se explica pelo uso de ímãs de alta energia e à queda no preço dos dispositivos eletrônicos. Segundo Kanuch, 2017: *para baixas potências, os motores de íma permanente têm melhor desempenho e maior eficiência do que as máquinas com excitação eletromagnética*. Na Figura 2, ilustra-se o diagrama em corte de um motor BLDC, que dispõe de três enrolamentos no seu estator.

FIGURA 2: Vista em Corte de Um Motor BLDC trifásico.



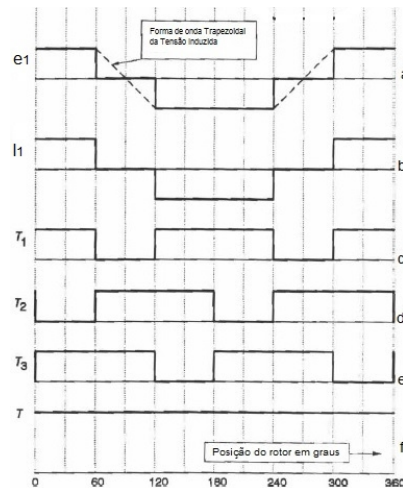
Fonte: Electro (2023).

O enrolamento trifásico do estator é conectado em estrela e os ímãs estão no rotor, na parte externa. O motor tem 3 sensores, um por fase, unipolares de efeito Hall, do tipo 41F (ligado/desligado), que variam conforme a disposição angular dos enrolamentos do estator (TRINDADE, 2009). Conforme Nagamori, 1985: *se o sensor Hall detecta o polo norte do ímã do rotor, o respectivo enrolamento é energizado para produzir o pólo sul que aciona o rotor na direção desejada. Quando nenhum campo magnético é aplicado ao elemento Hall, o rotor continua a girar devido à inércia. Quando o sensor Hall detecta o pólo sul do rotor, o enrolamento é energizado para criar o pólo norte que atrai o pólo sul do rotor para continuar o movimento*.

Estes sensores enviam sinais de passagem dos ímãs para o modulo controlador, que por sua vez emite um sinal de corrente de onda quadrada de período proporcional a sua disposição angular. Este sinal de corrente I_1 , Figura 3b, é imposto para ficar em fase com a tensão induzida e_1 , de formato real trapezoidal, conforme Figura 3a, devido à passagem dos polos magnéticos do rotor frente aos enrolamentos do estator. O produto destas grandezas, dividido pela velocidade do rotor

se traduz em torque, Figura 3c. O torque gerado por fase (T_1 , T_2 e T_3) não é contínuo. Entretanto, a combinação dos torques gerados por todas as fases do motor resultam num torque contínuo (T).

FIGURA 3: Formas de Onda das Grandezas de um motor BLDC.



Fonte: Hendershot (1974).

A autonomia teórica da cadeira motorizada, foi estimada conforme NBR7176-parte4, com isso a energia fornecida pela bateria é regida pela Equação 1.

$$E(bat) = V_{nominal} \cdot C_5 \quad (1)$$

onde: C_5 é a carga fornecida pelo fabricante da bateria expressa em amperes.hora (Ah), $V_{nominal}$ é a tensão nominal da bateria expressa em Volts.

O tipo de motor utilizado é mostrado na Figura 10, no total foram dois de 350 W cada, e alimentados com 36V. Como foram utilizadas três baterias seladas de 12 V / 9Ah, ligadas em série, resulta uma energia disponível total, conforme Equação 2.

$$E(bat) = V_{nominal} \cdot C_5 = 36V \cdot 9Ah = 324VAh = 324Wh \quad (2)$$

Em relação aos motores escolhidos na Figura 4, e conforme informações do fabricante (SINE, 2023), *estes podem operar com velocidades que atinjam de 28 a 30 km/h, com uma bateria de 36 V e consumo nominal de 20 Ah, o que equivale a uma energia de 720VAh.*

No caso deste protótipo, a autonomia dos motores estará limitada, pois a energia da bateria também está limitada a 324Wh.

Figura 4: Motor escolhido de 350W em 36V.



Fonte: Sine (2023).

2.3. Acionamento Eletrônico dos Motores

O módulo controlador da cadeira motorizada é um dispositivo eletrônico que recebe informação de uma referência de tensão do dispositivo acelerador e dos sinais de passagem dos ímãs do rotor nos sensores Hall, e então gera correntes com forma de onda retangular de período e amplitudes preestabelecidos para as bobinas do estator, como mostrado na Figura 3, sendo três referências de correntes independentes para cada conjunto de enrolamentos.

Existem diversos tipos de controladores e cada um com uma funcionalidade, que dependerá do valor da tensão da bateria utilizada, entre 24 e 72V, e da potência do motor, de 250 a 3.000W. Acima destes valores de tensão e potência, resulta em equipamentos especiais de alto valor comercial. Alguns destes módulos podem ter uma alimentação externa para equipamentos periféricos como faróis, painéis e lanternas. Na Figura 5, mostram-se alguns modelos encontrados no mercado nacional.

FIGURA 5: Controladores de potências de 500 a 3.000W e tensões de 36 a 60V.



Fonte: Mercado Livre (2023).

2.4. Direção do Movimento da Cadeira

Para estabelecer a direção de movimentação da cadeira, utilizou-se um modelo de *joystick gamer* Genius Antigo, conforme Figura 6, cada eixo X e Y tendo seu próprio potenciômetro.

FIGURA 6: Modelo do joystick utilizado.



Fonte: Genius (2024).

Este modelo é composto de dois potenciômetros, sendo um para cada eixo, um no eixo X e outro no eixo Y, que são acionados de acordo com o posicionamento da alavanca, nas direções à frente, à direita e à esquerda. A informação da aceleração que vai para o módulo de controle é feita através de quatro cabos compostos de um para o negativo, um para alimentação de 5,0 Volts, e dois cabos de retorno de tensão, sendo um de cada potenciômetro. Este valor de tensão deve estar entre 0,8 Volts, onde o motor não aciona, e 1,60 Volts, onde a velocidade da cadeira fica limitada ao seu valor máximo, sem provocar o aquecimento dos motores.

2.5. O Microcontrolador

Devido ao seu baixo custo, foi escolhido como dispositivo de controle do protótipo a placa de desenvolvimento Arduino Uno R3. Esta é baseada no chip microcontrolador ATmega328, Figura 7, que permite aos seus usuários criarem dispositivos que interajam com seu ambiente usando sensores e atuadores, sendo uma das alternativas principais para o desenvolvimento de projetos embarcados. Pode ser programado com a ajuda de uma linguagem de programação própria e o seu ambiente de programação integrado *IDE (Integrated Development Enviroment)*.

De acordo com o manual (*Datasheet*), a distribuição de sinais nos seus pinos é mostrado na Figura 8. Nesta podem ser identificadas, a tensão de alimentação de 7 a 12 Volts, 14 pinos de entrada/saída digitais nos pinos PD0 a PD7 e PB0 a PB5, 6 pinos analógicos de entrada, nos pinos PC0 a PC5, com conversores de sinais analógicos para sinais digitais de 10bits, ADC0 a ADC5.

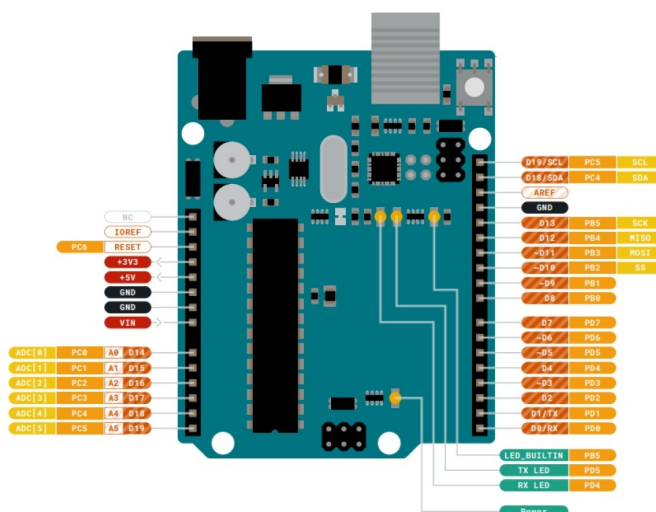
Também permite comunicação *TWI (Two Wire Interface)* nos pinos PC4 e PC5. Como no Arduino Uno R3 não existem conversores de sinais digitais para analógicos, é necessário utilizar conversores digitais/analógicos externos.

FIGURA 7: Placa Arduino Uno R3



Fonte: Datasheet Arduino Uno R3 (2022)

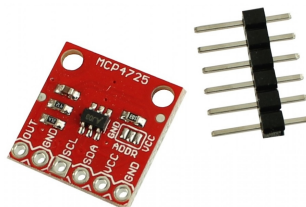
FIGURA 8: Pinagem da Placa Arduino Uno R3



Fonte: Datasheet Arduino Uno R3 (2022)

Para este caso, utilizou-se um conversor digital/análogo de 12 bits modelo MCP4725, mostrado na Figura 9. Este dispositivo é capaz de realizar a conversão de sinais digitais em sinais analógicos, com comunicação *I2C*, onde é necessário apenas enviar o sinal de forma digital de 0 a 4095, para que o sinal convertido correspondente seja liberado junto ao pino *OUT*, de forma proporcional ao valor de alimentação de 0 a 5V. Entre as principais características destacam-se o baixo consumo de energia e a alta precisão no fornecimento dos sinais. Podem ser usadas até 8 unidades no mesmo barramento, pois existem oito endereços disponíveis.

FIGURA 9: Placa do Conversor MCP4725 da Microship

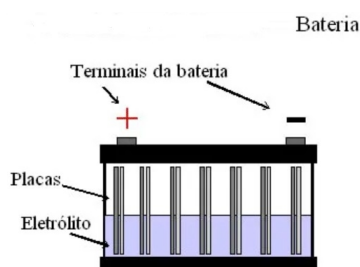


Fonte: Microship (2022)

2.6. Baterias

As baterias recarregáveis são dispositivos que produzem corrente elétrica a partir de reações de oxidorredução (perda de elétrons) reversíveis, ou seja, que podem ser renovadas e continuar gerando energia. Se compõem de um conjunto de pilhas, ou células, que quando ligadas em paralelo, produzem uma corrente elétrica em horas (Ampere-hora) proporcional ao quantitativo de células. A tensão gerada resulta da soma algébrica de suas tensões elementais, quando ligadas em série. Estas também podem ser chamadas ainda de acumuladores. As pilhas ou células elementais apresentam um anodo (polo positivo) e um catodo (polo negativo), ambos em contato com um eletrólito, na forma de solução ou em gel, conforme exemplificado na Figura 10.

FIGURA 10: Ilustração interna de uma bateria de oxidorredução.



Fonte: Anjos (2023).

De acordo com seus componentes químicos, podem ser encontradas os seguintes tipos de baterias: Chumbo/ácido, utilizadas em veículos como: carros de passeio, caminhões e motos; de níquel/cádmio, bateria de hidreto metálico/óxido de níquel e bateria de íons de lítio, muito utilizadas em aparelhos portáteis como máquinas fotográficas, celulares, notebooks, filmadoras e celulares. As baterias de íons de lítio tem sido utilizadas de forma específica em aparelhos como

smartphones e tablets, por apresentar uma maior durabilidade de carga, menor quantidade de material utilizado e uma menor ocorrência do efeito memória (este efeito é comumente chamado de bateria “viciada”). Neste trabalho as baterias utilizadas foram três de chumbo-ácido, seladas de 12Volts/9Ah.

2.7. Monitoramento

O equipamento de monitoramento fornece informações mínimas de tensão, corrente e de consumo da bateria. Este é constituído por um voltímetro, amperímetro e um medidor da porcentagem de carga das baterias. Na Figura 11, é mostrado o modelo de voltímetro/amperímetro utilizado para monitorar os valores de tensão e corrente das baterias que alimentam o protótipo.

FIGURA 11: Voltímetro/Amperímetro com circuito de ligação



Fonte: Eletrogate (2024).

O percentual de carga da bateria foi aferida com o medidor mostrado na Figura 12. Este dispositivo é alimentado pelo conjunto das baterias.

FIGURA 12: Medidor de percentual de carga da bateria



Fonte: Aneng (2024).

2.7. Norma NBR7176

Esta norma brasileira regulamenta os aspectos de estabilidade dinâmica, frenagem, consumo de energia, velocidade e transposição de obstáculos em veículos elétricos. As partes desta norma que são aplicáveis às cadeiras motorizadas, estão descritas abaixo.

Parte 2: Determinação da Estabilidade Dinâmica de Cadeiras de Rodas Motorizadas; A finalidade desta parte do documento é definir ensaios que demonstrem consistentemente os limites de estabilidade dinâmica. Os ensaios são projetados para revelar os efeitos dos ajustes e configurações, com uma velocidade máxima nominal que não exceda 15 km/h, destinadas a transportar uma pessoa.

Parte 3: Determinação da Eficácia dos Freios; Esta parte determina a capacidade de uma cadeira de rodas de parar de forma segura no nível do solo e em uma ladeira, bem como determina a capacidade de uma cadeira de rodas de ficar parada quando estacionada em uma ladeira.

Parte 4: Consumo de Energia de Cadeiras de Rodas Motorizadas e Scooters para a Determinação da Autonomia Teórica de Distância; Esta parte estabelece os métodos para determinar a autonomia teórica de distância de cadeiras de rodas motorizadas, incluindo scooters, usando medições do consumo de energia durante a condução e a capacidade nominal de energia do conjunto de baterias da cadeira de rodas. É aplicável às cadeiras de rodas motorizadas com uma velocidade nominal máxima não superior a 15 km/h, destinada a fornecer mobilidade interna e/ou externa para uma pessoa com deficiência.

Parte 6: Determinação da Velocidade Máxima de Cadeiras de Rodas Motorizadas; Esta parte do documento especifica os métodos de ensaios para a determinação da velocidade máxima de cadeiras de rodas motorizadas, incluindo scooters destinadas ao transporte de uma pessoa, com velocidade nominal máxima não superior a 15km/h (4,167m/s), em uma superfície nivelada.

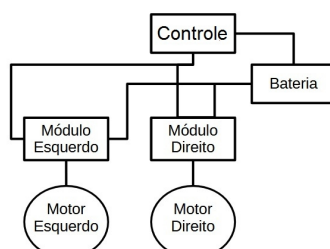
Parte 10: Determinação da Capacidade de Transposição de Obstáculo das Cadeiras de Rodas Motorizadas; Esta parte do documento especifica os métodos de ensaios para a determinação da capacidade de cadeiras de rodas motorizadas, incluindo scooters destinadas ao transporte de uma pessoa, com velocidade nominal máxima não superior a 15km/h, para subir e descer obstáculos.

Neste protótipo, ainda está pendente o atendimento da parte 3 da norma.

2.8. Desenvolvimento

Este protótipo foi idealizado conforme o que se mostra no diagrama de blocos da Figura 13. O sistema de controle recebe a informação da aceleração vinda do *joystick*, e o microcontrolador gera sinais para os módulos de controle dos motores, que, por sua vez, enviam as correntes para os respectivos enrolamentos.

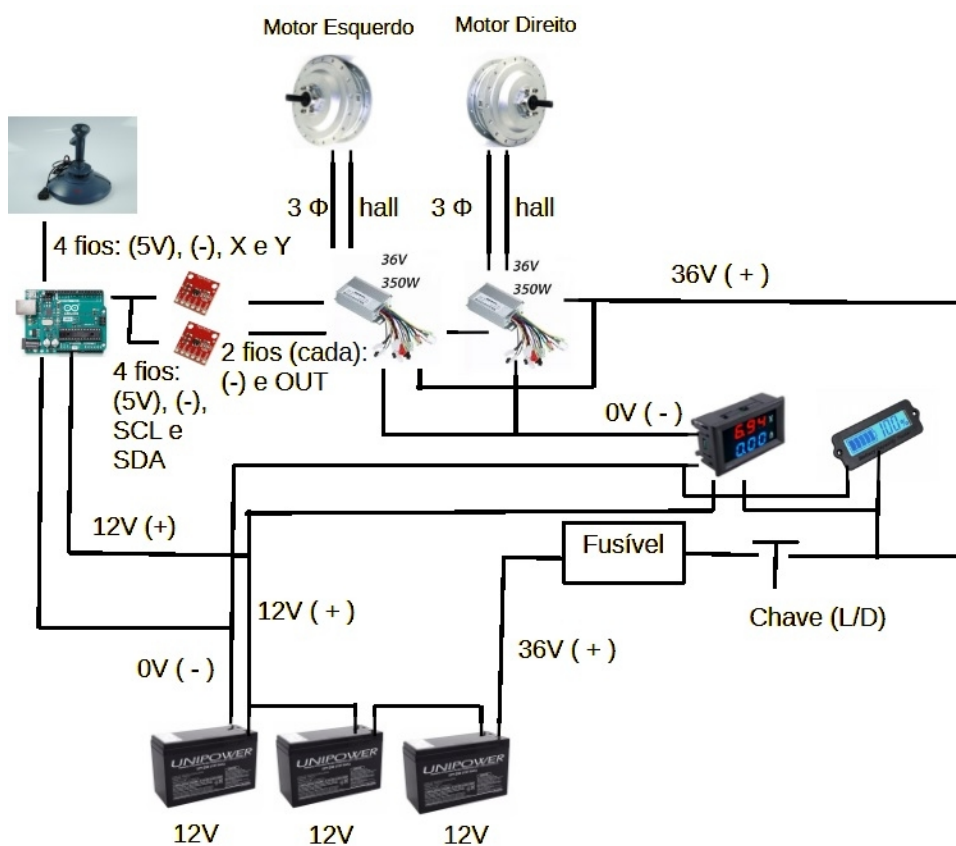
FIGURA 13: Diagrama de Blocos do Sistema



Fonte: Autor(2023)

A partir do diagrama de blocos da Figura 13, com a inserção das ligações de força e de controle dos componentes, tem-se o seguinte esquema elétrico na Figura 14.

FIGURA 14: Esquema elétrico do Protótipo

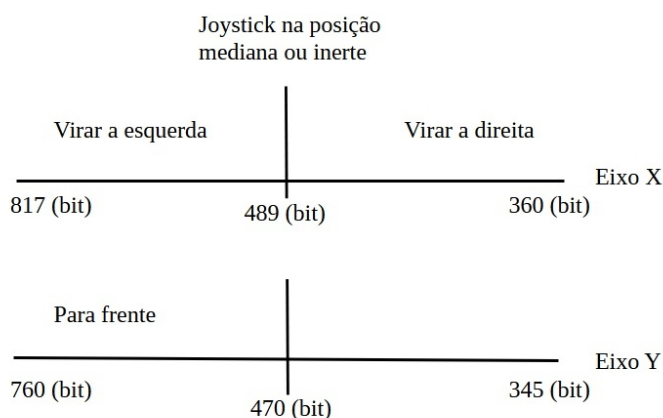


Fonte: Autor (2024)

Os motores foram enraizados nas rodas originais da cadeira manual, em substituição ao seu eixo tradicional. Este processo mecânico já havia sido realizado alguns anos atrás por um aluno de graduação, em projeto de iniciação tecnológica. O sistema de controle com o Arduino Uno R3, MCP4725, módulos e baterias foram instalados abaixo do assento, em uma plataforma customizada entre os eixos estruturais das laterais. O *joystick* e os equipamentos de monitoramento foram posicionados na parte frontal para estarem acessíveis ao condutor.

A programação do Arduino Uno R3 foi feita na plataforma de desenvolvimento denominada Arduino IDE, de forma que este receba a informação de posicionamento dos eixos do joystick através de valores de tensão. Estes valores são transformados em informação binária, neste caso de 10 bits, ou seja, valores de 0 a 1023. Na Figura 15 tem-se os valores recolhidos no Arduino Uno R3 quanto ao acionamento do *joystick*. A informação de posicionamento é transformada em sinal analógico de aceleração dos motores, no caso do eixo Y, quanto avançar com os dois motores, no caso do eixo X, se seria para virar a direita ou esquerda. Ressalta-se que a tensão na saída deve variar entre 0,8 e 1,6 Volts, sendo que os conversores DA são de 12 bits.

FIGURA 15: Valores medidos no Arduino Uno



Fonte: Autor (2023)

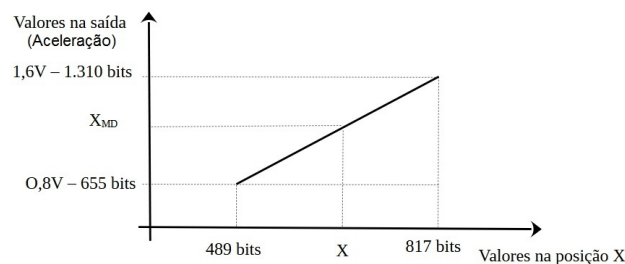
Nota-se na Figura 15 que os valores para esquerda (motor direito) são crescentes e para direita (motor esquerdo) são decrescentes, por isso cada transformação de valor de aceleração se calcula de forma independente para cada direção desejada. Para virar para esquerda, conforme Figura 16, tem-se a seguinte reta de transformação, onde X_{MD} é a referência em 12bits do conversor para o módulo controlador do motor, conforme Equação 3 de transformação, deduzida a seguir.

$$\frac{X_{MD} - 655}{X - 489} = \frac{1310 - 655}{817 - 489}$$

(3)

$$X_{MD} = 2X - 323$$

FIGURA 16: Transformação esquerda-aceleração



Fonte: Autor (2024)

De forma análoga, o mesmo processo de transformação é utilizado para virar a direita (motor esquerdo X_{ME}) e para frente Fr (motor direito e esquerdo ao mesmo tempo), resultando nas Equações 4 e 5.

$$X_{ME} = -5X + 3100 \quad (4)$$

$$Fr = 2,26Y - 406 \quad (5)$$

Com base nessas equações, pode-se implementar o programa abaixo utilizando as bibliotecas Wire e Adafruit_MCP4725.

```
#include <Wire.h> #include <Adafruit_MCP4725.h>
Adafruit_MCP4725 dac1; // valores em X entrada A1 pin10
Adafruit_MCP4725 dac2; // valores em Y entrada A2 pin11
float frente, valormotorE, valormotorD;
uint16_t MD, ME, MF, X, Y;

void setup(void) {
  pinMode(A1, INPUT); pinMode(A2, INPUT);
  Wire.begin(); dac1.begin(0x60); dac2.begin(0x61); }

void loop(void) {
  X = analogRead(A1); // leitura ADC1 em 10bits analog input 0 - 1023
  Y = analogRead(A2); // leitura ADC2 em 10bits analog input 0 - 1023
  frente = 2.26*Y - 406.0; // valor nos motores para movimentar para frente
```



```

if (frente > 700.0){ MF=frente;
if ((MF<1350)&&(MF>655)){
dac1.setVoltage(MF, false); // DAC1 out 12bits 0 - 4095 tensão 0,8 - 1,6V
dac2.setVoltage(1.03*MF, false); // DAC2 out 12bits 0 - 4095 tensão 0,8 - 1,6V - 1,03 para ajuste
motores}} else{ valormotorE = -5.0*X +3100; // valor no motor esquerdo para movimentar para
direita
if (valormotorE > 700.0){
ME=valormotorE; MD=0;
if ((ME<1350)&&(ME>655)){
dac1.setVoltage(MD, false); dac2.setVoltage(ME, false);}} else{
valormotorD = 2.0*X -323; // valor no motor direito para movimentar para esquerda
if (valormotorD > 700.0){
MD=valormotorD; ME=0;
if ((MD<1350)&&(MD>655)){
dac1.setVoltage(MD, false); dac2.setVoltage(ME, false); }}}}}

```

Com todas as informações relevantes, o protótipo da cadeira motorizada foi construído, conforme mostrado na Figura 17.

FIGURA 17: Protótipo Implementado da Cadeira Motorizada



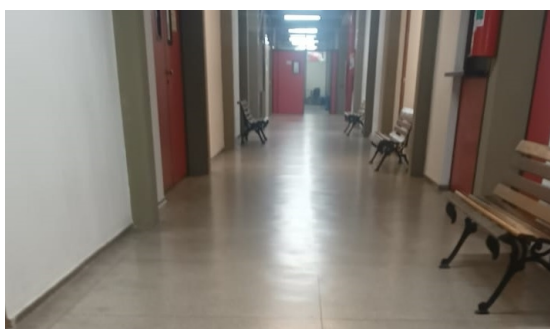
Fonte: Autor {2023}

3. RESULTADOS

Após a montagem do protótipo, foram feitos testes para avaliar o seu desempenho e sua autonomia. Estes testes foram realizados dentro de um corredor da Universidade Federal Fluminense, conforme a Figura 18, com inclinações não superiores a 2,86°, com um peso total de,

aproximadamente, 100kg, resultando da soma dos pesos dos equipamentos, estrutura da cadeira e o usuário. Na Tabela 1 são mostrados os resultados destes testes. A distância percorrida foi calculada em função de marcações no piso.

FIGURA 18: Área de teste de desempenho



Fonte: Autor (2024).

TABELA 1: Medições da Cadeira Motorizada em Superfície Plana.

Tempo	Distancia	Tensão da Bateria	Carga
0	0	38,3V	100,00%
10 minutos	596,25m	37,5V	84,00%
20 minutos	662,50m	37,2V	81,00%
30 minutos	596,25m	37V	77,00%
40 minutos	596,25m	36,8V	71,00%
50 minutos	530m	36,7V	68,00%
60 minutos	530m	36,6V	60,00%
70 minutos	397,50m	36,4V	50,00%
80 minutos	265,00m	36,3V	41,00%
Fonte: Autor (2024)			

Após os 80 minutos de testes, a medição foi encerrada, pois com uma tensão da bateria de 36,3V, ao acelerar a cadeira sua tensão cai para 35,3V, notando-se uma redução drástica da velocidade, resultando num desempenho indesejado. Esta alteração indica que com 40% de disponibilidade de carga, é necessário recarregar as baterias. Na Tabela 1 nota-se que, apesar da capacidade das baterias ser limitada a 9Ah, o desempenho do protótipo foi considerado satisfatório, pois foram percorridos 4,20km ao longo de 80 minutos, ou 3,15km/h, tendo uma queda de tensão nas baterias de apenas 2 Volts. Este desempenho é superior ao relatado em Costa, 2024 de 2,25km/h, onde a direção do movimento da cadeira não contemplava microcontroladores.

O custo dos equipamentos utilizados para a implementação do protótipo, foram levantados no mercado nacional com auxílio da internet, em novembro de 2023, conforme a Tabela 2.

TABELA 2. Custos dos dispositivos

Item	Quantidade	Valor (unidade)
Motor BLDC 36V	2	900,00 reais
Módulo 36V	2	85,00 reais
Bateria Chumbo 12V 9Ah	3	200,00 reais
Joystick	1	50,00 reais
Voltímetro-Amperímetro	1	45,00 reais
Indicador Nível Bateria	1	30,00 reais
Arduino Uno	1	40,00 reais
MCP4725	2	54,00 reais
TOTAL GERAL		2.843,00 reais
Fonte: Mercado Livre (2023)		

4. CONCLUSÕES

Foi constatado que o protótipo de cadeira motorizada pode atender pessoas com mobilidade reduzida nos membros inferiores, tem uma estrutura simples e boa estabilidade.

Notam-se vantagens deste protótipo com relação às cadeiras motorizadas convencionais, tais como: eliminação de engrenagens e outras transmissões, projeto simplificado para implementação, utilização continuada mesmo com a perda da motorização, baixa emissão sonora, baixo custo de conversão e bom desempenho de 3,15km/h.

Vale ressaltar os pontos de melhoria futura para o protótipo: instalação de baterias de maior capacidade para aumentar a disponibilidade de potência, instalação de painel solar para o carregamento durante o uso, retroalimentação da velocidade para um controle mais preciso, desenvolvimento de dispositivo de controle da marcha ré e parada em ladeiras, ao invés do freio manual.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR7176 - Parte 2, 3, 4, 6 e 10 - Cadeiras de rodas, ABNT, 2020.

ANDEF, 2023, “Programa de reabilitação integrada da prefeitura de niterói,” in PRI - Programa de Reabilitação Integrada. <https://www.undef.org.br/>, p. All.

ANENG, 2024, <https://www.anengmultimeterstore.com/>, junho.

ANJOS, 2023, “Acumuladores de Chumbo”, Mundo Educação, www.mundoeducacao.uol.com.br, novembro.

ARDUINO, 2024, <https://www.arduino.cc/reference/pt/>.

BONDFARO, 2023, <https://www.bondfaro.com.br>, em 14 de Dezembro.

CONFORPES, 2023, “Tipos de cadeiras de rodas.” <https://blog.conforpes.com.br/drresponde/tipos-de-cadeira-de-rodas/>, em novembro.

COSTA, J. C F.; Santisteban, J. A., *UM PROTÓTIPO DE CADEIRA MOTORIZADA DE BAIXO CUSTO*, CONEM, Natal, RN, Brazil, 2024.

ELETROGATE, 2024, <https://www.eletrogate.com/>, junho.

HENDERSHOT, 1994, “Design of Brushless Permanent-Magnet Motors”, Magna Physics Publishing and Clarendon Press, Oxford.

IBGE, 2023, “Pessoas com deficiência e as desigualdades sociais no brasil,” in Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/>, p. All.

KANUCH, 2017, “Direct drive of electric wheelchair with double disc bldc motor,” in Máquinas Elétricas - Cadernos de Problemas. Universidade Técnica da Eslováquia, p. all.

MERCADOLIVRE, 2023 www.mercadolivre.com.br, novembro.

MICROSHIP, 2024, <https://www.microchip.com/en-us/product/mcp4725>.

NAGAROMI, S. e Kenjo, T., 1985. Permanent-Magnet and Brushless DC Motors. Oxford University press, cap 4.

SINE, 2023, SINE POWER, <https://www.jcwaccessories.com/>, Rio de janeiro.

TRINDADE, R.H., 2009. Estudo de Máquinas Elétricas Não-Convencionais: Motor Brushless DC. Universidade de São Paulo, p. all.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Departamento de Engenharia Elétrica da UFF por disponibilizar o laboratório LEPAC para o desenvolvimento deste trabalho.