

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP – 2024

MOTORIZAÇÃO DE CADEIRA DE RODAS A PARTIR DE REAPROVEITAMENTO DE PEÇAS DE HOVERBOARD

JÚLIA MORAES DE PAULO¹, SERGIO SHIMURA², GUSTAVO GABRIEL DE FOGAÇA³

¹ Cursando Técnico em eletroeletrônica integrado ao Ensino Médio, Bolsista PIBIFSP-EM, IFSP, Campus Sorocaba, julia.paulo@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor EBTT (Ensino Básico, Técnico e Tecnológico), IFSP, Campus Sorocaba, sergio.shimura@ifsp.edu.br.

³ Cursando Técnico em eletroeletrônica integrado ao Ensino Médio, Voluntário, IFSP, Campus Sorocaba, gustavo.fogaca@aluno.ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (CNPq): 3.04.05.02-5 Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais

RESUMO: Este projeto teve como objetivo transformar cadeiras de rodas comuns em cadeiras de rodas motorizadas de baixo custo, com o uso de peças reaproveitadas de *hoverboards*. A demanda global por cadeiras de rodas é expressiva; no entanto, a maioria dos usuários não possui acesso à motorização devido ao elevado custo. O projeto oferece uma alternativa acessível, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida tanto dos usuários quanto de seus cuidadores. A pesquisa dividiu-se em duas áreas principais: mecânica e desenvolvimento de múltiplas interfaces para o usuário. Na área mecânica, foram desenvolvidas versões com um e dois motores de *hoverboard*, instaladas em cadeiras com rodas de seis raios e em rodas multi-raiadas. A versão com dois motores incluiu um sistema de engrenagens e correia, o que melhorou a sua eficiência. No desenvolvimento das interfaces, surgiram opções de controle por *joystick* analógico e digital, sensor miomuscular, comando de voz e sensor de movimentos utilizando inteligência artificial.

PALAVRAS-CHAVE: cadeiras de rodas; interfaces com o usuário; acessibilidade; automação; reciclagem; *hoverboard*.

MOTORIZATION OF WHEELCHAIRS USING RECYCLED HOVERBOARD PARTS

ABSTRACT: This project aimed to transform common wheelchairs into low-cost motorized wheelchairs using repurposed hoverboard parts. The global demand for wheelchairs is significant; however, most users do not have access to motorization due to the high cost. The project offers an affordable alternative, aiming to improve the quality of life for both users and their caregivers. The research was divided into two main areas: mechanics and the development of multiple user interfaces. In the mechanical area, versions with one and two hoverboard motors were developed, installed on chairs with six-spoke wheels and multi-spoke wheels. The version with two motors included a system of gears and belts, which improved the efficiency of the system. In the development of interfaces, options for control via analog and digital *joysticks*, myoelectric sensors, voice commands, and motion sensors using artificial intelligence emerged.

KEYWORDS: wheelchair; interfaces; accessibility; automation; recycling; hoverboard.

INTRODUÇÃO

O Sistema Único de Saúde (SUS), em 2019, forneceu cerca de 42.241 cadeiras de rodas manuais à

população por meio do Programa de Atenção à Saúde da Pessoa com Deficiência (GOV, 2019). No entanto, apesar do acesso facilitado às cadeiras de rodas manuais pelo SUS, a maioria da sociedade brasileira ainda não tem acesso às cadeiras de rodas motorizadas. Isso se deve ao alto custo, que pode chegar a R\$21.000 (BUSCAPÉ, 2024). Além disso, as opções disponíveis no mercado geralmente são muito pesadas, o que dificulta seu transporte. Embora existam soluções no mercado para motorização de cadeiras de rodas manuais, essas custam cerca de R\$20.000 (MOBILITY BRASIL, 2024), tornando-os inviáveis para a maior parte da população.

Diante dessa problemática, o projeto busca unir eficiência e baixo custo. O objetivo é reutilizar grande parte das peças de um *hoverboard* e fabricar componentes por meio de impressão 3D. Vale destacar que, devido à popularidade do *hoverboard*, já existem diversos conteúdos na internet sobre o tema, desde como desbloquear as placas até como fazer o reaproveitamento das peças. No desenvolvimento do projeto, foram testadas hipóteses para garantir boa performance em diferentes superfícies, incluindo rampas, alcançar uma velocidade média de 10 km/h e suportar aproximadamente 100 kg, além de desenvolver diferentes interfaces com o usuário.

O objetivo principal é auxiliar pessoas com dificuldades motoras e seus cuidadores, focando em baixo custo e eficiência. As vantagens do *hoverboard* estão ligadas ao fácil acesso às informações e seu baixo custo em comparação com as soluções já existentes no mercado. Já que ele chega a custar cerca de R\$850,00 (AMERICANAS, 2024). Esse fato fez o mesmo se tornar uma escolha atraente para o desenvolvimento deste projeto.

MATERIAL E MÉTODOS

Versões com 1 e 2 motores fixados em uma base metálica:

Dentre os modelos que foram testados, está aquele que utiliza apenas um motor de 6,5 polegadas de *hoverboard* para seu funcionamento. Essa abordagem apresenta uma vantagem do ponto de vista da acessibilidade, pois, com a mesma quantidade de *hoverboards*, seria possível produzir o dobro de cadeiras motorizadas. No entanto, um dos pontos negativos desse modelo é a estrutura utilizada para fixar o motor do *hoverboard* que é fixa (FIGURA 1), e não permite um encaixe rápido, dificultando o transporte da cadeira, pois ela não pode ser dobrada. Além disso, para superar uma rampa com inclinação de 17% e suportar uma carga de 90 kg, é necessária uma força maior aplicada nas rodas. Ressalte-se também que há uma perda significativa de tração devido ao baixo atrito com o solo, que é causado pelo material dos pneus.

Após não ser atingido os resultados esperados em relação à força produzida, foi desenvolvida uma versão que utiliza dois motores de *hoverboard* fixados na base metálica (FIGURA 1). Entretanto, de forma semelhante, não se obteve o resultado esperado em termos de força gerada pelas rodas. Em testes realizados em piso irregular com dois motores, não foi conseguido superar uma rampa com inclinação de 15% com uma carga de 60 kg, ficando consideravelmente abaixo da proposta inicial. Além disso, nesta segunda versão, o problema do transporte também persiste, devido à maneira como a parte metálica é fixada. Portanto, este modelo seria indicado para pessoas que pretendem se locomover apenas dentro de suas residências e/ou em locais próximos e que possuam pisos regulares.



FIGURA 1. Tipos de montagem utilizados na cadeira de rodas de roda com 6 raios.

Versão de 2 motores com sistema de engrenagens e corrente dentada aplicados em rodas de 6 raios e multi-raiadas:

Considerando que os últimos testes não obtiveram resultados satisfatórios, foi buscado aprimorar

tanto a aderência ao solo quanto a força produzida pelos pneus. Para isso, foi implementado um sistema de polias e corrente dentada. Na cadeira com roda de 6 raios, o processo foi realizado na parte interna da cadeira de rodas (FIGURA 2), fixando as engrenagens diretamente na própria roda e utilizando uma correia dentada para realizar a redução. O motor foi então fixado na parte mais próxima da frente da cadeira por soldagem. O sistema de engrenagens foi projetado e impresso em 3D (FIGURA 2) para atender às necessidades, buscando uma redução da roda da cadeira para o motor, e assim, aumentar o torque disponível. Foi calculado que teríamos que possuir uma redução de cerca de 2 x (CÁLCULO 3) para obtermos o resultado desejado.

Após os testes, foi constatada que essa versão oferecia muito mais força no pneu da cadeira de rodas e melhor aderência ao solo. No entanto, essa versão apresentou um problema com as engrenagens e a corrente dentada durante o uso. A corrente escapava várias vezes, causando muitos transtornos. Foi teorizado que a corrente estava muito larga no sistema que produzimos e/ou que as engrenagens não vão entre os dentes adequado para o perfil da corrente dentada.

Na segunda versão, se remodelou as engrenagens para corrigir os problemas identificados e adaptá-las para a cadeira de rodas com roda multi-raiada. Dessa forma, não foi possível aplicar a mesma fixação na própria roda. Opta-se então por remover uma das partes plásticas externas da roda, que tem função estética, e reposicioná-la internamente (FIGURA 2). As engrenagens foram então parafusadas nesta nova estrutura. Também foi substituída a correia dentada por uma nova, o que resolveu o problema de escapar durante o uso. Para a fixação do motor, se utilizou uma peça que permite fixar o motor sem a necessidade de soldagem e possibilita a remoção fácil do motor. Vale destacar que, comparada com a versão anterior, a segunda versão não apresenta o problema de fechamento para transporte. Como seu sistema de funcionamento está localizado na parte externa da cadeira e não no centro, não interfere em seu fechamento. Entre todas as alternativas testadas até o momento, a segunda versão da cadeira com pneus de alumínio apresentou os melhores resultados.

Alguns destaques do projeto é que a força necessária para iniciar o movimento da cadeira em piso plano pode chegar a 10 kgf que corresponde a aproximadamente 100 N. Enquanto a força necessária para manter o movimento é de 6,5 kgf. No pior caso, seria necessário 100 N de torque no motor. Com esse dado, o motor deverá produzir cerca de 8,255 N (CÁLCULO 1). Já para o cálculo necessário na rampa, foi considerado 10% (~0,1 rad), seguindo a NBR 9050, que determina que a inclinação máxima das rampas deve ser cerca de 8,3%, logo, se prova que o sistema está dentro das condições pré-estabelecidas. Nestas condições, o vetor força, contrário ao movimento será de aproximadamente 100 N (CÁLCULO 2).

CÁLCULO 1. Cálculo do torque necessário no plano:

$$\tau_{plano} = F_{plano} \cdot r \quad \tau = 100 \text{ N} \cdot \left(\frac{6.5 \text{ pol}}{2} \right) \cdot \left(\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pol}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) \quad (1)$$

em que,

$$\tau_{plano} - \text{torque necessário na roda (8,255 Nm)} \quad \tau = 8,255 \text{ Nm}$$

F_{plano} - força para movimentar a cadeira no plano (100 N)

r - raio da roda utilizada (6,5/2 pol)

CÁLCULO 2. Cálculo do torque necessário para uma rampa com carga de 100 kg:

$$F_{rampa} = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad F_{rampa} = 100 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,1 \quad (2)$$

em que,

θ - inclinação da rampa (0,1 rad);

$$F_{rampa} = 100 \text{ N}$$

F_{rampa} - força paralela à rampa (100 N);

m = massa total (100 kg);

g - aceleração da gravidade $\left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$

$$\tau_{rampa} = (F_{plano} + F_{rampa}) \cdot r \quad \tau = (100 \text{ N} + 100 \text{ N}) \cdot \left(\frac{6.5 \text{ pol}}{2} \right) \cdot \left(\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pol}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)$$

em que,

$$\tau_{rampa} - \text{torque necessário em rampa} \quad \tau = 16.51 \text{ Nm} \quad (3)$$

CÁLCULO 3. Cálculo da redução necessária:

$$\text{Redução} = \frac{T_n}{T_m} \quad \text{Redução} = \frac{16.51}{7.5} \quad (4)$$

em que,

T_n - torque necessário;

$$\text{Redução} = 2,2 \times$$

T_m - torque do motor



FIGURA 2. Montagem das engrenagens nas rodas.

Reutilização de peças do *hoverboard*

A principal temática foi reutilizar as peças do *hoverboard* para criar um sistema de motorização eficiente. Se utilizou os motores, suas respectivas placas controladoras e as baterias. No entanto, enfrentou-se algumas dificuldades em determinados aspectos.

O primeiro desafio foi desbloquear as placas controladoras dos motores. Essas placas vêm com um *software* de fábrica projetado para controlar o *hoverboard*. Para utilizá-las na motorização, foi necessário desbloqueá-las e desenvolver um novo *software* para controlar a velocidade e outras funções do motor. As placas controladoras estão divididas em duas gerações: a primeira e a segunda. Como havia placas controladoras de ambas as gerações, se fez necessário encontrar métodos distintos para desbloqueá-las. Para realizar esse procedimento, usou-se como base o trabalho do RoboDurden de 2023 e 2024 (ROBODURDEN, 2023-2024), que serviu como auxílio no desbloqueio de ambas as placas. O fórum online desse projeto contém um passo a passo para apagar o *software* de fábrica e instalar um novo que permita o controle total das funções do motor.

Também foi reutilizada a bateria, mas os resultados não foram satisfatórios. A autonomia média inicial esperada era de 4 horas; no entanto, com a bateria dos *hoverboards* que foi testado, a autonomia não ultrapassou 1 hora. Dessa forma, para alcançar uma melhor performance, seria necessária a substituição da bateria do *hoverboard* por um tipo diferente.

Os motores de 6,5 polegadas foram os principais componentes do projeto e funcionaram muito bem. Não existindo problemas ou dificuldades com esse componente ao longo dos testes.

Interfaces com o usuário

O *joystick* analógico foi o tipo de interface que apresentou os melhores resultados e adaptabilidade (FIGURA 3). Seu uso é intuitivo: basta pressionar o *joystick* na direção desejada para que a cadeira se mova (para frente ou para trás). Além disso, existe o *joystick* digital, que pode ser conectado a celulares com acesso ao Bluetooth por meio do aplicativo Arduino Bluetooth. Foi desenvolvido um código para controlar o *joystick* dentro desse aplicativo. Apesar de sua maneira de controle ser semelhante à do *joystick* analógico (FIGURA 3), ele oferece uma alternativa mais prática conectada ao *Bluetooth*.

Outra interface testada foi a que utiliza reconhecimento de gestos com inteligência artificial. O sistema funciona através de um *software* que identifica o movimento por meio da webcam. Se a câmera detecta a mão aberta (FIGURA 3), a cadeira avança; se a mão estiver fechada, a cadeira para. Embora essa alternativa seja interessante, ela revelou-se inviável devido ao atraso na execução dos comandos. Em situações que exigem paradas abruptas, o atraso no processamento da informação pode até causar acidentes.

Outra interface testada foi a de sensor miomuscular, que mede a atividade muscular e gera um sinal para mostrar a quantidade de expansão e contração do músculo. Foi desenvolvido um *software* com uma faixa de valores: quando a contração muscular excede um valor específico, o *software* move a

cadeira para frente por 1 segundo; quando não há movimentação, a cadeira fica parada. No entanto, essa alternativa apresentou problemas de confiabilidade, pois, em nossos testes, fez uma leitura errada cerca de 40% das vezes. Além disso, o sistema não conseguia identificar de maneira satisfatória duas contrações musculares em menos de 1 segundo.

Também foi testada uma interface com comando de voz (FIGURA 3), utilizando o mesmo aplicativo do *joystick* digital, o *Arduino Bluetooth*. Criou-se um código no aplicativo para identificar palavras específicas e executar as ações correspondentes. Ao dizer "frente", a cadeira se move para frente, e ao dizer "para", a cadeira para. Embora o sistema seja interessante, pois pode atender pessoas que não possuem mobilidade nos braços, ele tem algumas desvantagens, como o atraso na identificação dos sons e a possível interferência externa, que pode causar transtornos e até acidentes.

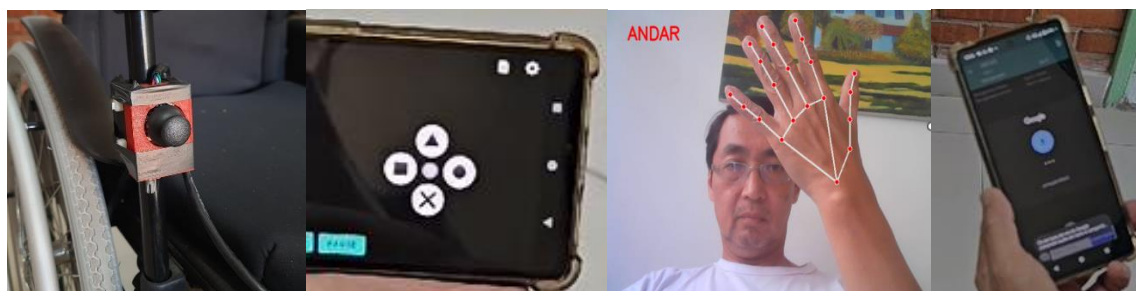


FIGURA 3. Interfaces com o usuário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área mecânica, foram testadas cadeiras com 1 e 2 motores de *hoverboard*. A versão com um motor enfrentou limitações de força e tração, o que dificultou o transporte devido à estrutura fixa. A versão com dois motores teve um desempenho melhor, mas ainda apresentou dificuldades em rampas e no transporte devido à fixação metálica. A implementação de um sistema de engrenagens e correia dentada em cadeiras com roda de 6 raios e multi-raiadas melhorou significativamente a força e a aderência. A segunda versão do sistema, ajustada para rodas multi-raiadas, resolveu o problema de escapar da correia e apresentou os melhores resultados em termos de força e facilidade de transporte.

Na reutilização de peças de *hoverboard*, os motores e as placas controladoras funcionaram bem após o desbloqueio e adaptação dos *softwares*. No entanto, a autonomia da bateria ficou abaixo do esperado, indicando a necessidade de substituição para melhorar o desempenho.

No projeto de motorização de cadeiras de rodas, o *joystick* analógico foi a interface de controle mais eficaz, proporcionando um controle intuitivo e preciso. O *joystick* digital também foi eficiente, oferecendo uma alternativa prática via *Bluetooth*. Em contraste, o reconhecimento de gestos com inteligência artificial e o controle por voz apresentaram problemas de atraso, tornando-os menos confiáveis. O sensor miomuscular também demonstrou baixa precisão. Em resumo, os *joysticks* foram as melhores opções em termos de usabilidade e desempenho.

Em termos de custo da adaptação, um técnico especializado gastaria aproximadamente R\$1000, sendo R\$ 850,00 do *hoverboard* de onde se aproveitam as placas e os motores e cerca de R\$ 150,00 de outros materiais, como filamentos, para impressora 3D. Além de que o custo total irá depender da interface com o usuário escolhida. Podendo variar de R\$10,00 (o valor médio de um *joystick* analógico) até R\$100,00 (valor médio de um módulo de sensor miomuscular para Arduino). Vale a pena destacar que para o desenvolvimento deste projeto, o *hoverboard* foi doado pela receita federal, logo, não tivemos quase custos.

CONCLUSÕES

O projeto demonstrou que a combinação de dois motores de *hoverboard* com um sistema de engrenagens e correia dentada, aliada ao controle por *joystick*, oferece a melhor solução em termos de força, aderência e facilidade de uso. Embora outras interfaces de controle tenham mostrado potencial, elas enfrentaram limitações que comprometem sua eficácia em situações práticas. O uso de peças reaproveitadas de *hoverboard* se mostrou uma abordagem viável para criar cadeiras de rodas

motorizadas de baixo custo, oferecendo uma alternativa acessível e eficiente para melhorar a mobilidade e a qualidade de vida dos usuários.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Gustavo Gabriel Fogaça e Sergio Shimura contribuíram para o desenvolvimento da cadeira de rodas com fixação metálica e a com engrenagens e correia dentada em roda de 6 raios. Sergio Shimura e Júlia Moraes de Paulo foram responsáveis pelo desenvolvimento das interfaces com o usuário para o sensor miomuscular e para a cadeira de rodas com engrenagens e corrente dentada em roda multi-raiada. Além disso, Sergio Shimura foi responsável pelo desenvolvimento de outras interfaces com o usuário. E a Júlia Moraes de Paulo que atuou na redação do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão a todos os participantes do projeto pela dedicação e empenho. Agradecemos também à Receita Federal pelas doações dos *hoverboards*, que possibilitaram a viabilidade do projeto.

REFERÊNCIAS

CADEIRA DE RODAS MOTORIZADA. **BUSCAPÉ**. Buscapé, 2024. Disponível em: <https://www.buscapede.com.br/busca/cadeira+de+rodas+motorizada>. Acesso em: 11 ago. 2024.

CADEIRAS DE RODAS ADQUIRIDAS PELO SUS REFORÇAM A ASSISTÊNCIA NO DF. **Ministério da Saúde**, Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2019/agosto/caadeiras-de-rodas-adquiridas-pelo-sus-reforcam-a-assistencia-no-df>. Acesso em: 20 jun. 2024.

HOVERBOARD FIRMWARE HACK. **GITHUB**. Robodurden. Disponível em: <https://github.com/RoboDurden/hoverboard-firmware-hack>. Acesso em: 28 mai. 2023.

HOVERBOARD FIRMWARE HACK GEN2.X - GD32. **GITHUB**. Robodurden. Disponível em: <https://github.com/RoboDurden/Hoverboard-Firmware-Hack-Gen2.x-GD32>. Acesso em: 11 mar. 2024.

HOVERBOARD INFANTIL SKATE ELÉTRICO 6,5" LED BLUETOOTH BATERIA DE GRANDE CAPACIDADE ENDURANCE FORTE HB65. **Americanas**, 2024. Disponível em: <https://www.americanas.com.br/produto/2572197443/hoverboard-overboard-infantil-skate-eletrico-6-5-led-bluetooth-bateria-de-grande-capacidade-endurance-forte-hb65/>. Acesso em: 11 ago. 2024.

KIT MOTOR PARA MOTORIZAÇÃO DE CADEIRAS DE RODAS MANUAIS POWER LITE. **Mobility**. Disponível em: https://www.mobilitybrasil.com.br/kit-motor-para-motorizacao-de-caadeiras-de-rodas-manuais-power-lite?srsId=AfmBOOrIsMf0emRE0nuOmaDi05R9_xX_kxxV0yFAe8XeN2WHpuEKkyp. Acesso em: 17 abr. 2024.

MUNDO TEM 1 BILHÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA EXCLUÍDAS DE TECNOLOGIAS DE APOIO. **United Nations Regional Information Centre**. Disponível em: <https://unric.org/pt/mundo-tem-1-bilhao-de-pessoas-com-deficiencia-excluidas-de-tecnologias-de-apoi>. Acesso em: 29 mai. 2023.