

CADEIRA DE RODAS COM SISTEMA HÍBRIDO DE CONTROLE

Felipe de Novais Terenciano

Mateus Segato Silva

Maria Eduarda Rodrigues da Silva

Vinicius Eduardo da Silva Santos

Vinicius Gabriel Silva de Araújo

Resumo: O artigo apresenta o desenvolvimento de uma cadeira de rodas automatizada com sistema híbrido de controle, combinando *joystick* e reconhecimento de expressões faciais. O objetivo central do projeto é ampliar a autonomia de pessoas com diferentes graus de deficiências, oferecendo alternativas de operação acessíveis, seguras e adaptáveis ao usuário. A proposta integra áreas como Tecnologia Assistiva (TA), Automação Industrial, visão computacional e inteligência artificial. O sistema utiliza um *Raspberry Pi* para processar imagens faciais capturadas em tempo real e identificar expressões que correspondem a comandos de movimento. Já o controle dos motores é realizado por um Arduino, que interpreta os comandos enviados e aciona a ponte H BTS7960. A parte mecânica do protótipo foi projetada para garantir estabilidade da cadeira, além de força e velocidade adequadas, usando cálculos de torque, redução mecânica e acoplamentos para melhorar o desempenho. O sistema elétrico integra sensores, conversores analógico-digitais e módulos de potência, permitindo controle seguro, responsivo e com proteção contra falhas. Na programação, foi desenvolvido um modelo de rede neural convolucional (CNN) treinado com cerca de 5 mil imagens, atingindo acurácia média de 92% no reconhecimento das expressões. O *joystick* funciona como alternativa manual e possui prioridade sobre o sistema facial para maior segurança. Os resultados demonstram que o protótipo é viável, funcional e de baixo custo, oferecendo uma solução assistiva modular que pode ser aprimorada com Internet das coisas (IOT), sensores e controle por voz. O trabalho reforça a importância da automação como

ferramenta de inclusão social e melhoria da qualidade de vida de pessoas com deficiência física.

Palavras-Chave: Tecnologia Assistiva, Cadeira de rodas automatizada, Sistema híbrido de controle, Reconhecimento facial.

Abstract: The article presents the development of an automated wheelchair with a hybrid control system, combining joystick and facial expression recognition. The main goal of the project is to increase the autonomy of people with varying degrees of disabilities by offering accessible, safe, and adaptable operation alternatives. The proposal integrates fields such as Assistive Technology (AT), Industrial Automation, computer vision, and artificial intelligence. The system uses a Raspberry Pi to process facial images captured in real-time and identify expressions that correspond to movement commands. The motor control is managed by an Arduino, which interprets the commands and triggers the BTS7960 H-bridge. The mechanical design of the prototype was developed to ensure the stability of the wheelchair, as well as appropriate strength and speed, using torque calculations, mechanical reduction, and couplings to enhance performance. The electrical system integrates sensors, analog-to-digital converters, and power modules, enabling safe and responsive control with failure protection. In programming, a convolutional neural network (CNN) model was developed and trained with around 5,000 images, achieving an average accuracy of 92% in recognizing facial expressions. The joystick serves as a manual alternative and has priority over the facial recognition system for added safety. The results demonstrate that the prototype is feasible, functional, and cost-effective, offering a modular assistive solution that can be enhanced with the Internet of Things (IoT), sensors, and voice control. The work emphasizes the importance of automation as a tool for social inclusion and improving the quality of life for people with physical disabilities

Keywords: Assistive Technology; Automated Wheelchair; Hybrid Control System; Facial Recognition.

1 INTRODUÇÃO

A deficiência física pode advir de fatores genéticos, lesões, doenças neurológicas ou degenerativas, afetando diretamente a mobilidade e a independência dos indivíduos. No Brasil, milhões de pessoas convivem com limitações motoras que comprometem a realização de tarefas cotidianas e muitas vezes as tornam dependentes de cuidadores ou de dispositivos auxiliares. Nesse contexto, a *Tecnologia Assistiva (TA)* ganha destaque como área voltada ao desenvolvimento de equipamentos, softwares e metodologias capazes de promover maior autonomia, inclusão social e qualidade de vida.

Entre os recursos mais relevantes da TA está a cadeira de rodas, dispositivo que acompanha a história desde a Antiguidade e que, ao longo dos séculos, passou por constantes transformações até chegar aos modelos motorizados e personalizados que conhecemos hoje. No entanto, mesmo com tantos avanços, ainda existem barreiras ligadas à adaptação individual, acessibilidade e conforto do usuário.

Com base nesses desafios, surge a proposta de uma cadeira de rodas automatizada que alia algumas inovações tecnológicas para a acessibilidade. O projeto prevê a integração de controle por *joystick* e reconhecimento de expressões faciais, processados em um sistema embarcado, de forma a oferecer maior independência e praticidade às pessoas com diferentes graus de deficiência motora. Assim, a iniciativa busca não apenas aprimorar a mobilidade, mas também ampliar a inclusão social e a qualidade de vida dos usuários.

2 OBJETIVO

Desenvolver uma cadeira de rodas motorizada com sistema de controle híbrido, integrando interface por *joystick* e tecnologia de reconhecimento de expressões faciais, a fim de atender usuários com distintos graus de limitação motora e promover maior autonomia e acessibilidade.

3 DESENVOLVIMENTO

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2022, o Brasil possui cerca de 18,6 milhões de pessoas com deficiência física, o que evidencia a necessidade de soluções tecnológicas que favoreçam autonomia e acessibilidade. A Tecnologia Assistiva, conforme definido pela Lei Brasileira de Inclusão (Lei nº 13.146/2015), busca promover independência e inclusão social por meio de recursos capazes de atender diferentes tipos de limitações, sendo a cadeira de rodas um dos dispositivos mais tradicionais e essenciais dentro desse contexto. A evolução tecnológica permitiu o surgimento de versões motorizadas, mas ainda há desafios relacionados à adaptação individual, conforto e capacidade de controle por usuários com limitações motoras severas.

Diante desses desafios, desenvolveu-se uma cadeira de rodas automatizada que integra múltiplas tecnologias assistivas para ampliar a autonomia do usuário. O protótipo utiliza um sistema híbrido de controle, combinando joystick e reconhecimento de expressões faciais, permitindo que pessoas com distintos níveis de limitação motora possam operar o equipamento. O processamento das imagens faciais é realizado por um *Raspberry Pi*, que identifica expressões do usuário e as converte em comandos de movimento, enquanto o Arduino atua no acionamento dos motores por meio da ponte H BTS7960. Esses dispositivos comunicam-se em tempo real, possibilitando respostas rápidas. Sensores ultrassônicos, conversores analógico-digitais e módulos de potência compõem o sistema elétrico, garantindo segurança, estabilidade e gerenciamento eficiente de energia.

A parte mecânica foi projetada para assegurar estabilidade, resistência e mobilidade adequada. Para isso, dimensionou-se o sistema de transmissão levando em consideração uma roda de 0,6 m de diâmetro, possibilitando uma velocidade final aproximada de 7,8 km/h, compatível com o ritmo de caminhada humana. O uso de um redutor 1:37 elevou o torque final para aproximadamente 29,6 N·m, garantindo tração adequada mesmo em superfícies inclinadas. Estruturas como acoplamentos elásticos foram aplicadas para absorver vibrações e evitar desalinhamentos, aumentando a durabilidade do conjunto.



Figura 1 - acoplamento e os motores

Fonte: Foto feita por Maria Eduarda dia 07/12

O sistema elétrico da cadeira de rodas motorizada garante o deslocamento autônomo, a segurança e o conforto do usuário, integrando controle de movimento e fornecimento de energia, baseado em plataformas como Arduino e *Raspberry Pi*, os quais permitem um controle modular, programável e preciso.

O módulo BTS7960 regula a potência e o sentido dos motores, oferecendo proteção contra sobrecargas e controle individual. O *joystick* KY-023 junto ao conversor ADS1115 transforma os movimentos do usuário em sinais digitais interpretados pelo *Raspberry Pi*, o qual possibilita o controle direcional e ajustes de velocidade.

A integração desses componentes cria um sistema de condução suave, segura e responsiva, com monitoramento de corrente e tensão para evitar falhas. O *Raspberry Pi* atua como central de processamento, permitindo expansões como sensores adicionais, controle por aplicativo e comandos por gestos ou voz.

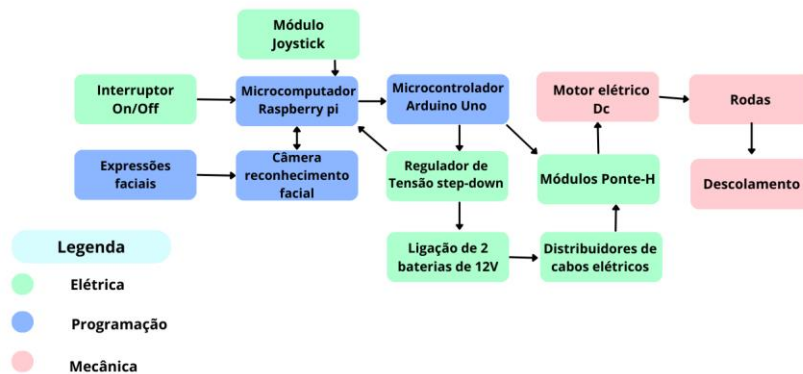


Figura 2 – Fluxograma da parte elétrica

Fonte: Feito e editado por Maria Eduarda 12 nov. de 2025

No âmbito da programação, o sistema facial foi desenvolvido em Python com uso de bibliotecas como OpenCV e TensorFlow/Keras. Criou-se uma rede neural convolucional (CNN) treinada com cerca de 5 mil imagens distribuídas entre cinco expressões o sistema reconhece comandos simples sendo eles:

Expressão	Código	Ação
Boca	F	Frente
Piscando	P	Parar
Sorrindo	D	Direita
Neutro	E	Esquerda
Nada	N	Nenhuma ação

Durante o desenvolvimento da programação, a integração entre hardware e *software* foi realizada de forma modular, permitindo futuras melhorias sem alterar a estrutura geral do projeto. O *joystick* KY-023 foi adicionado como alternativa de controle manual, oferecendo segurança adicional ao usuário. Este foi conectado ao *Raspberry Pi* por meio de um conversor analógico-digital ADS1115, que converte os sinais analógicos do *joystick* em valores digitais para interpretação pelo sistema.

O modelo de rede neural convolucional (CNN) foi desenvolvido e treinado com aproximadamente cinco mil imagens, divididas em cinco classes de expressões faciais:

Expressão	Código	Ação Correspondente
Boca Aberta	F	Mover para frente
Sorrindo	D	Mover para direita
Neutra	E	Mover para esquerda
Piscando	P	Parar
Nada	N	Nenhuma ação

As imagens foram pré-processadas com normalização e *data augmentation*, garantindo maior precisão do modelo. Após o treinamento, o sistema obteve uma acurácia média de 92%, com tempo de resposta de cerca de 0,12 segundos por frame, tornando o controle facial viável em tempo real.

O ambiente de desenvolvimento utilizado incluiu o *Visual Studio Code*, pela sua integração com *Python* e *Git*, e o *Google Colab*, que ofereceu suporte a GPU para o treinamento da rede neural. A integração final foi testada no *Raspberry Pi OS*, garantindo compatibilidade entre o modelo, a captura de vídeo e a comunicação com o Arduino.

O fluxo de funcionamento do sistema ocorre em etapas contínuas: a câmera captura a imagem do usuário, o *Raspberry Pi* realiza o pré-processamento e identifica a expressão facial, a rede neural convolucional (CNN) interpreta o comando e o envia

via serial para o Arduino, que executa o movimento correspondente. Esse ciclo se repete várias vezes por segundo, assegurando resposta fluida e precisa.

Em situações nas quais o *joystick* é utilizado, o sistema facial é automaticamente desativado, priorizando a entrada manual. Essa alternância dinâmica garante segurança, evitando conflitos entre os modos de controle. O projeto ainda prevê a futura adição de sensores ultrassônicos e integração com sistemas *IoT*, para monitoramento remoto e coleta de dados.

Os testes práticos demonstraram movimentação estável, reconhecimento facial consistente e desempenho satisfatório em diferentes condições de iluminação. A integração entre mecânica, elétrica e programação resultou em um protótipo funcional, modular e de baixo custo, apto a futuras expansões, como sistemas *IoT* para monitoramento remoto, sensores adicionais para prevenção de colisões e comandos por voz. Assim, a cadeira de rodas desenvolvida se apresenta como uma solução inovadora e acessível, capaz de promover independência, conforto e inclusão social para pessoas com deficiência física.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da cadeira de rodas automatizada evidenciou não apenas a viabilidade técnica e social de integrar automação, visão computacional e inteligência artificial em soluções acessíveis, mas também os desafios inerentes à implementação de um sistema complexo e multifuncional. O projeto alcançou seus objetivos ao criar um sistema híbrido de controle combinando *joystick* e reconhecimento de expressões faciais capaz de atender usuários com diferentes níveis de limitação motora.

Durante a construção do protótipo, a parte mecânica apresentou desempenho eficiente, porém demandou ajustes estruturais e cálculos precisos para garantir robustez, estabilidade e uma transmissão adequada ao deslocamento suave e seguro. A montagem física exigiu adaptações contínuas, testes práticos e correções para alinhar teoria e funcionamento real. Já o desenvolvimento do sistema de controle e da integração elétrica trouxe desafios significativos no sincronismo entre hardware e

software, especialmente no tratamento de sinais, na comunicação entre Arduino e *Raspberry Pi* e na calibração dos motores para respostas precisas.

No campo da programação, a implementação do modelo de inteligência artificial que alcançou acurácia média de 92% exigiu extensas etapas de treinamento, validação e otimização, além da adaptação do algoritmo para operar em tempo real sem comprometer desempenho ou segurança. Essas dificuldades reforçaram o caráter multidisciplinar e desafiador do projeto.

Mesmo diante desses obstáculos, o trabalho contribuiu de forma relevante para a área de Tecnologia Assistiva ao propor uma solução de maneira modular e replicável, alinhada à inclusão social. Conclui-se que a cadeira de rodas automatizada representa um avanço significativo em acessibilidade, constituindo uma base sólida para evoluções futuras, como integração com IoT, sensores adicionais e comandos por voz. .



Figura 3 – Foto da cadeira montada (visão de cima)

Fonte: Foto feita por Maria Eduarda 08 dez. de 2025



Figura 4 – Foto da cadeira montada (visão do lado)

Fonte: Foto feita e editada por Maria Eduarda 08 dez. de 2025

REFERÊNCIAS

ALBUM ONLINE. Hydria depicting wheelchair. Disponível em: <https://www.album-online.com/detail/de/NWFhZmU3MA/greek-civilization-century-b-c-black-figure-pottery-hydria-depicting-alb1514486>. Acesso em: 17 jun. 2025.

ALCURA. A história da cadeira de rodas. Disponível em: <https://cuidarhoje.alcura.pt/a-historia-da-cadeira-de-rodas/>. Acesso em: 05 jun. 2025.

BOBADILLA-RENDÓN, David; MONROY-RUEDA de LEÓN, Irvine J.; SALAZAR-SALINAS, Gabriel; STEFAN-LEPE DE SOTO, Antonio; PONCE, Hiram; MOYA-ALBOR, Ernesto; BRIEVA, Jorge. *Mechatronic Design of a Low-Cost Smart Wheelchair Controlled by Joystick and Voice Commands*. Computación y Sistemas [online], Cidade do México, v. 27, n. 2, p. 525-543, jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.13053/cys-27-2-4375>.

Acesso em: 16 nov. 2025.

CNN BRASIL. Brasil tem 144 milhões de pessoas com deficiência, diz IBGE.

CNN Brasil, 2025. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/brasil-tem-144-milhoes-de-pessoas-com-deficiencia-diz-ibge/>. Acesso em: 16 set. 2025.

FERRAZ, Aline Andrade. Acessibilidade em interface web: análise das diretrizes de usabilidade. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/27977>. Acesso em: 03 jun. 2025.

FERREIRA, Rafaela Aparecida. Design inclusivo para cadeiras de rodas. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqPics/1911420371P1009.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2025.

GRADIM, Luna Carolina Câmara. Acessibilidade digital na administração pública: avaliação de sites públicos brasileiros sob a ótica do design universal. 2022. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: https://web.archive.org/web/20220820042423id_/https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-12082022-105803/publico/LunaCarolinaCamaraGradimCorr22.pdf. Acesso em: 03 jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL. Brasil tem 18,6 milhões de pessoas com deficiência, indica pesquisa divulgada pelo IBGE e MDHC. Ministério da Mulher e dos Direitos Humanos, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/pt-br/assuntos/noticias/2023/julho/brasil-tem-18-6-milhoes-de-pessoas-com-deficiencia-indica-pesquisa-divulgada-pelo-ibge-e-mdhc>. Acesso em: 12 set. 2025.

GOVERNO DO BRASIL. Pela primeira vez IBGE divulga dados sobre pessoas com deficiência no Brasil. Ministério da Mulher e dos Direitos Humanos, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/pt-br/assuntos/noticias/2025/maio/pela-primeira-vez-ibge-divulga-dados-sobre-pessoas-com-deficiencia-no-brasil>. Acesso em: 12 set. 2025.

GOVERNO DO BRASIL. Brasil tem 18,6 milhões de pessoas com deficiência, indica pesquisa divulgada pelo IBGE e MDHC. Ministério da Mulher e dos Direitos Humanos, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/pt-br/assuntos/noticias/2023/julho/brasil-tem-18-6-milhoes-de-pessoas-com-deficiencia-indica-pesquisa-divulgada-pelo-ibge-e-mdhc>.

br/assuntos/noticias/2023/julho/brasil-tem-18-6-milhoes-de-pessoas-com-deficiencia-indica-pesquisa-divulgada-pelo-ibge-e-mdhc. Acesso em: 12 set. 2025.

GOVERNO DO PARANÁ. Deficiência física. Disponível em: <https://www.desenvolvimentosocial.pr.gov.br/Pagina/Deficiencia-Fisica>. Acesso em: 07 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Pessoas com Deficiência 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/0a9afaed04d79830f73a16136dba23b9.pdf. Acesso em: 12 set. 2025.

LOH MEDICAL. Inovações tecnológicas em cadeiras de rodas. Disponível em: <https://www.lohmedical.com/pt-br/blog/inovacoes-tecnologicas-em-cadeiras-de-rodas>. Acesso em: 26 ago. 2025.

MACHADO, Lílian Gomes. Avaliação da usabilidade de interface com comando por voz para pessoas com deficiência física. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/18088/1/AvaliacaoUsabilidadeComando.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Saúde da pessoa com deficiência. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/s/saude-da-pessoa-com-deficiencia>. Acesso em: 03 jun. 2025.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Como a cadeira de rodas abriu o mundo para milhões de pessoas. Disponível em: https://www.nationalgeographic.pt/historia/como-cadeira-rodas-abriu-mundo-milhoes-pessoas_4015. Acesso em: 05 jun. 2025.

PIRES, Livia de Oliveira. Avaliação da acessibilidade de sites governamentais brasileiros. 2019. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26331/4/Vers%C3%A3o%20corrigida.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2025.

Revista Ciência & Saúde Coletiva. Fatores associados ao uso de cadeira de rodas por idosos institucionalizados. Disponível em: <https://cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/fatores-associados-ao-uso-de-cadeira-de-rodas-por-idosos-institucionalizados/16075?id=16075>. Acesso em: 07 jun. 2025.