

Protótipo de tecnologia assistiva para detecção de movimento e força dos dedos para reabilitação pós-acidente vascular cerebral (AVC)

Pedro Italo Lobo Matos¹, Arthur Roberto da Silva¹, William Marreiro Brito¹,
Marcelo Martins da Silva¹

¹Universidade Federal do Ceará – Campus Quixadá
Av. José de Freitas Queiroz, 5003 – Cedro – Quixadá – Ceará – Brasil

{pedroitalomatos, arthurroberto, william04}@alu.ufc.br,
{mmartins}@ufc.br

Abstract. *Stroke often impairs fine motor movements of the hands and fingers, reducing patient autonomy. In this context, technologies such as smart gloves have emerged as a prominent support for upper limb motor rehabilitation. This study aimed to develop and preliminarily evaluate a smart glove capable of detecting and monitoring individual finger movement and force. The prototype was constructed using flex sensors, force sensors, and an ESP-WROOM-32 microcontroller. Tests conducted in a controlled environment showed that the device was able to identify variations in movement and force throughout repetitive cycles. It is concluded that the glove shows potential as a tool to support motor rehabilitation, although clinical studies with more patients are still required.*

Resumo. *O Acidente Vascular Cerebral (AVC) compromete com frequência os movimentos finos das mãos e dos dedos, reduzindo a autonomia dos pacientes. Nesse contexto, tecnologias como luvas inteligentes têm se destacado como apoio à reabilitação motora dos membros superiores. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar preliminarmente uma luva inteligente capaz de detectar e monitorar o movimento e a força individual dos dedos. O protótipo foi construído com sensores flex, sensores de força e microcontrolador ESP-WROOM-32. Os testes, realizados em ambiente controlado, mostraram que o dispositivo foi capaz de identificar variações de movimento e força ao longo de ciclos repetitivos. Conclui-se que a luva apresenta potencial como ferramenta de apoio à reabilitação motora, embora ainda sejam necessários estudos clínicos com mais pacientes.*

1. Introdução

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) permanece entre as principais causas de morte e incapacidade no mundo, afetando milhões de pessoas e gerando impactos significativos na funcionalidade motora [Barthels and Das 2020]. Entre as sequelas mais frequentes, destacam-se as limitações nos membros superiores, presentes em grande parte dos pacientes pós-AVC, comprometendo atividades motoras essenciais e reduzindo a autonomia funcional [Ase et al. 2025]. Como a recuperação espontânea costuma ser limitada, torna-se necessária a investigação de estratégias terapêuticas que favoreçam a reorganização e a recuperação das funções neuromotoras [Wang et al. 2022].

A reabilitação pós-AVC envolve diferentes abordagens voltadas à restauração funcional do sistema nervoso e ao tratamento das sequelas motoras [Kuriakose and Xiao 2020]. Essas intervenções incluem treinamento físico, terapias farmacológicas, técnicas de neuromodulação e recursos tecnológicos, como realidade virtual e robótica [Stinear et al. 2020]. Nesse contexto, as tecnologias aplicadas à reabilitação têm se destacado por ampliar as possibilidades terapêuticas e permitir intervenções mais específicas e adaptáveis às necessidades de cada paciente.

Entre esses recursos, as Tecnologias Assistivas (TA) reúnem dispositivos e sistemas destinados a manter, melhorar ou compensar funções comprometidas, incluindo mobilidade e autocuidado [Sommer et al. 2025, Almeida et al. 2024]. No campo da reabilitação motora, o uso de tecnologias robóticas tem ganhado espaço por possibilitar tanto o treinamento de funções perdidas quanto a compensação de limitações decorrentes da lesão [Klamroth-Marganska 2018]. Além disso, esses sistemas podem contribuir para a avaliação da capacidade motora e sensorial dos pacientes, fornecendo dados relevantes para o acompanhamento clínico [Devittori et al. 2024].

Dentre as tecnologias robóticas voltadas à reabilitação dos membros superiores, as luvas inteligentes têm se mostrado uma alternativa promissora, especialmente para a recuperação da função manual [Korzeniewska et al. 2020]. Esses dispositivos são projetados para oferecer flexibilidade, segurança e maior adaptação aos movimentos da mão, favorecendo a execução de exercícios terapêuticos e o monitoramento do desempenho motor [Shin et al. 2022]. Estudos apontam resultados positivos com o uso dessas luvas na redução de déficits motores em pacientes pós-AVC, além de evidenciarem o potencial de soluções de baixo custo com sensores e microcontroladores embarcados para monitorar força e movimento dos dedos [Kang et al. 2020, Dhiman and Kumar 2025].

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo desenvolver e testar funcionalmente uma luva inteligente capaz de detectar e monitorar o movimento e a força individual dos dedos da mão, com foco no apoio à reabilitação motora de pacientes pós-AVC. Além da proposta de desenvolvimento do dispositivo, busca-se analisar os dados obtidos como forma de fornecer *feedback* sobre a evolução do tratamento, contribuindo para o acompanhamento terapêutico e para o uso de tecnologias acessíveis na reabilitação.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Acidente Vascular Cerebral (AVC)

O AVC é uma doença que afeta o sistema nervoso e ocorre devido à interrupção do fluxo sanguíneo no cérebro [Zille et al. 2022]. Essa interrupção compromete a oxigenação cerebral, podendo causar morte neuronal e danos ao tecido cerebral. O AVC está entre as principais causas de morte no mundo, com maior incidência em países em desenvolvimento, sendo influenciado por fatores como idade, condições socioeconômicas, sexo e localização geográfica [Gorelick 2019]. As sequelas do AVC incluem déficits motores, cognitivos e de comunicação, além de fadiga, ansiedade e depressão, comprometendo as atividades diárias e a qualidade de vida [Jurgens et al. 2022].

Logo, a reabilitação motora, especialmente dos membros superiores, torna-se essencial para recuperar funções perdidas após o AVC. Entretanto, o processo apresenta desafios, pois envolve fraqueza muscular, perda de coordenação motora e alterações no tônus muscular, o que dificulta a autonomia dos pacientes [Triccas et al. 2019].

2.2. Tecnologias de Reabilitação

As limitações dos métodos convencionais de reabilitação dos membros superiores após o AVC evidenciam a necessidade de abordagens terapêuticas mais funcionais e motivadoras [Dias et al. 2019]. Nesse contexto, tecnologias como realidade virtual e dispositivos robóticos têm sido estudadas por favorecerem exercícios repetitivos, interativos e assistidos, contribuindo para a recuperação motora [Al-Whaibi et al. 2022, Tseng et al. 2024].

Entretanto, essas soluções ainda enfrentam desafios relacionados ao custo e à aplicabilidade clínica [Guo et al. 2022]. Por isso, dispositivos mais acessíveis, como as luvas inteligentes, têm se destacado como alternativas promissoras por aliarem simplicidade, usabilidade e apoio ao monitoramento da reabilitação. Essas soluções integram o campo da Tecnologia Assistiva, voltado à promoção da mobilidade, autonomia e qualidade de vida, e favorece o acompanhamento clínico e a coleta de dados [Sommer et al. 2025].

2.3. Sensores e Filtragem de Sinais

O avanço tecnológico ampliou o uso de sensores em aplicações de saúde, monitoramento físico e análise de movimentos. Nesse contexto, destacam-se os sensores flexíveis, por serem leves, portáteis e adequados ao monitoramento contínuo e não invasivo [Gong et al. 2025]. Esses sensores convertem deformações mecânicas em variações de resistência elétrica, permitindo detectar movimentos e monitorar parâmetros fisiológicos, o que favorece seu uso em diagnósticos médicos, interfaces homem-máquina, sistemas robóticos e tecnologias vestíveis voltadas à saúde e reabilitação [He et al. 2024].

Além dos sensores flexíveis, os sensores de força também desempenham papel importante em aplicações biomédicas e vestíveis, pois permitem medir com precisão a força aplicada e auxiliar no controle de movimentos e na manipulação de objetos [Dong et al. 2025, Zhao et al. 2025]. Para garantir maior estabilidade e confiabilidade dos dados coletados, os sinais desses sensores frequentemente passam por etapas de condicionamento e filtragem.

Entre os métodos utilizados, os filtros passa-baixa reduzem ruídos e interferências em sinais biológicos de baixa frequência [Phatsornsiri et al. 2025]. Além disso, favorecem circuitos compactos, estáveis e de baixo consumo energético [Liu et al. 2020].

3. Trabalhos Relacionados

Em [Zakri et al. 2024], foi desenvolvido um protótipo de luva inteligente equipado com sensores de flexão com o objetivo de melhorar a comunicação e a interação de pacientes com mobilidade reduzida. O dispositivo utiliza cinco sensores *flex* conectados a um microcontrolador Arduino Nano para detectar os movimentos dos dedos e convertê-los em sinais digitais. Além disso, o sistema integra funcionalidades de monitoramento de saúde, como temperatura corporal e frequência cardíaca, e utiliza um aplicativo móvel para enviar notificações quando movimentos são detectados. Os resultados indicam que a solução pode auxiliar pacientes com limitações motoras, permitindo comunicação mais eficiente com cuidadores e monitoramento remoto de parâmetros fisiológicos.

O estudo de [Kang et al. 2020] investigou o uso de uma luva inteligente como ferramenta de treinamento para reabilitação de pacientes com AVC em fase subaguda. Foi conduzido um ensaio clínico no qual os participantes realizaram sessões terapêuticas durante duas semanas, com avaliações realizadas antes, imediatamente após o tratamento

e quatro semanas depois. Os autores destacam que fatores como início precoce da terapia, prática repetitiva e *feedback* são essenciais para a recuperação motora. Os resultados indicaram que a utilização da luva inteligente pode contribuir para melhorias nos movimentos dos membros superiores, demonstrando potencial como terapia complementar na reabilitação pós-AVC.

Por fim, o estudo de [Dhiman and Kumar 2025] apresentou uma luva inteligente baseada em Internet das Coisas (IoT) para auxiliar na reabilitação de pacientes pós-AVC. O protótipo foi desenvolvido utilizando sensores *flex*, sensores de força, um sensor biométrico MAX30100 e um microcontrolador ESP32, permitindo monitorar movimentos dos dedos e parâmetros fisiológicos. O sistema foi integrado à plataforma ThingsBoard para visualização e análise dos dados em tempo real. Os autores destacam que o dispositivo apresenta baixo custo, caráter não invasivo e facilidade de uso, podendo ser utilizado em ambientes domésticos para monitoramento contínuo da reabilitação.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os principais trabalhos relacionados e a proposta deste estudo, considerando aspectos como a patologia abordada, o tipo de estudo, o microcontrolador utilizado e o ambiente de avaliação.

Tabela 1. Análise comparativa entre trabalhos relacionados a esta pesquisa

Trabalhos Relacionados	Patologia	Tipo de estudo	Microcontrolador	Avaliação
[Zakri et al. 2024]	AVC	Pré-clínico	Arduino Nano	Laboratório
[Kang et al. 2020]	AVC	Clínico	Não descrito	Usuários acometidos
[Dhiman and Kumar 2025]	AVC	Pré-clínico	ESP32	Laboratório
Este trabalho	AVC	Pré-clínico	ESP-WROOM-32	Laboratório

A análise dos estudos mostra que sensores de flexão e força associados a microcontroladores Arduino e ESP são amplamente utilizados em luvas inteligentes para reabilitação. Apenas [Kang et al. 2020] realizou avaliação clínica com pacientes, enquanto os demais trabalhos, assim como esta pesquisa, utilizaram testes pré-clínicos em laboratório. Apesar das diferenças entre os protótipos, todos buscam apoiar a reabilitação motora dos membros superiores por meio de tecnologias vestíveis.

4. Metodologia

Esta seção descreve os procedimentos adotados para o desenvolvimento do protótipo proposto, incluindo as etapas de concepção, implementação, experimentação e análise dos dados obtidos.

4.1. Visão Geral

Inicialmente, foram selecionados os componentes eletrônicos do protótipo, considerando disponibilidade, compatibilidade e documentação online, o que permitiu definir a arquitetura do circuito e as funcionalidades do sistema. A Figura 1 apresenta uma visão geral da utilização do protótipo desenvolvido neste trabalho.

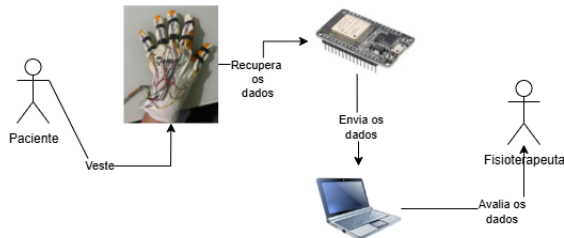


Figura 1. Visão geral do projeto.

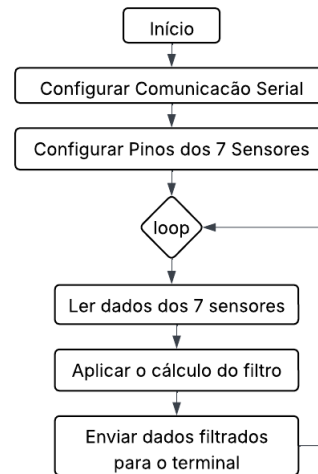


Figura 2. Fluxograma do processamento dos sinais do sistema.

A Figura 2 apresenta o fluxograma que descreve as etapas de aquisição e processamento dos sinais provenientes dos sensores acoplados à luva inteligente. Inicialmente, configura-se a comunicação serial e os pinos dos sete sensores. Em seguida, o sistema executa um laço contínuo de leitura, filtragem e envio dos dados para monitoramento.

4.2. Arquitetura do Sistema

A arquitetura do sistema é apresentada na figura 3. O protótipo foi estruturado em dois serviços principais responsáveis pela leitura dos sensores de flexão e dos sensores de força. Ambos os serviços utilizam o mesmo *driver* e o mesmo conjunto de *hardware*, diferenciando-se apenas pelas portas de leitura utilizadas para cada tipo de sensor.

O protótipo foi desenvolvido utilizando o microcontrolador ESP-WROOM-32 como unidade central de processamento. Esse módulo incorpora o chip ESP32-D0WDQ6, equipado com um processador Xtensa® dual-core de 32 bits LX6 operando em frequência de até 240 MHz. Essa capacidade de processamento permite realizar a leitura simultânea de múltiplos sensores e o processamento dos dados em tempo real.

Conforme ilustrado na Figura 4, o sistema utiliza cinco sensores *flex*, instalados individualmente em cada dedo, responsáveis por detectar o grau de flexão. Além disso, foram integrados dois sensores de força resistivos posicionados nos dedos indicador e anelar para capturar a pressão aplicada durante movimentos de preensão.

Os sensores foram conectados ao microcontrolador por meio de uma protoboard, utilizando resistores para a construção de divisores de tensão, possibilitando a leitura analógica dos sinais gerados.

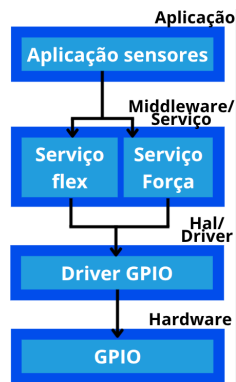


Figura 3. Arquitetura do sistema proposto.

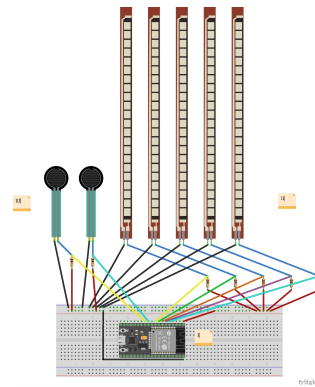


Figura 4. Arquitetura de integração dos componentes.

4.3. Desenvolvimento do Protótipo

O protótipo consiste em uma luva inteligente equipada com sensores de flexão instalados em cada dedo e dois sensores de força posicionados nos dedos indicador e anelar. A luva foi confeccionada utilizando tecido têxtil, escolhido por sua flexibilidade e por permitir melhor adaptação dos sensores à estrutura da mão. O tecido escolhido proporciona flexibilidade e melhor adaptação dos sensores, favorecendo o contato com objetos e a consistência das leituras. A Figura 5 apresenta o protótipo desenvolvido, destacando as posições dos sensores instalados.



Figura 5. Protótipo da luva inteligente com sensores instalados.

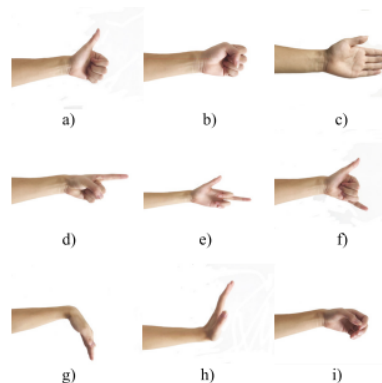


Figura 6. Cenários de movimentos utilizados nos experimentos.

4.4. Procedimentos Experimentais

Para testar funcionalmente o funcionamento do protótipo, foram realizados testes experimentais em ambiente laboratorial controlado. Um voluntário participou dos experimentos simulando movimentos característicos de exercícios de reabilitação motora da mão.

Os testes envolveram quatro movimentos básicos de extensão dos dedos (polegar, indicador, médio e mínimo), conforme [Yang et al. 2018]. A Figura 6 apresenta os movimentos utilizados como referência para os experimentos.

Durante os experimentos, o participante realizou 20 repetições de ciclos de flexão e extensão dos dedos, permitindo avaliar a resposta dos sensores instalados na luva. Os dados foram coletados em tempo real pelo microcontrolador ESP-WROOM-32 e transmitidos via comunicação serial para um computador.

4.5. Análise dos Dados

Os dados coletados durante os experimentos foram armazenados e posteriormente analisados utilizando a ferramenta Microsoft Excel. A análise incluiu o cálculo de métricas estatísticas, como média, desvio padrão e amplitude de variação dos sinais, além da construção de gráficos para visualização do comportamento dos sensores. As medições foram expressas em volts, correspondentes às leituras analógicas provenientes dos divisores de tensão conectados aos sensores.

5. Resultados e Discussões

O desenvolvimento de luvas inteligentes tem sido amplamente investigado como alternativa para reabilitação motora após AVC [Tseng et al. 2024, Veldema and Jansen 2020].

A Figura 7 apresenta o protótipo desenvolvido em suas faces dorsal (A) e ventral (B), evidenciando a integração dos componentes ao substrato têxtil. Sensores de pressão foram posicionados nos dedos indicador e anelar para medir a força durante a preensão.

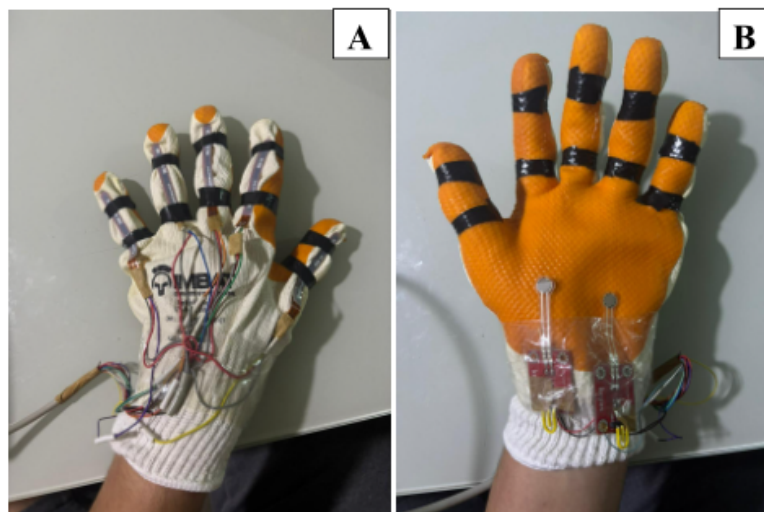


Figura 7. Protótipo da luva inteligente. A) Face dorsal; B) Face ventral.

Sensores de flexão foram instalados nos cinco dedos, fixados nas articulações por meio de fitas ajustáveis, permitindo boa adaptação e manutenção. Os testes consistiram em 20 repetições de movimentos de extensão dos dedos (polegar, indicador, médio e mínimo), alternando entre posição de teste e neutra.

O protótipo demonstrou potencial para aplicação em reabilitação, uma vez que o uso de movimentos repetitivos pode contribuir para a recuperação da função motora afetada pelo AVC [Liu et al. 2023, Henderson et al. 2021].

5.1. Pré-Filtro

As Figuras 8–11 apresentam os perfis de força e flexão dos dedos ao longo de 20 repetições. De modo geral, observa-se um padrão cíclico, com picos associados à aplicação de força durante o movimento. O polegar e o indicador apresentaram maiores amplitudes de força, enquanto o dedo mínimo exibiu valores baixos e maior variabilidade.



Figura 8. Perfil de força do polegar.

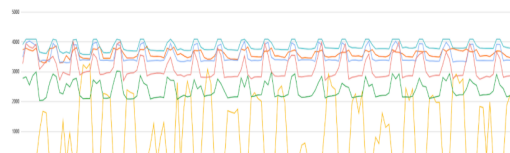


Figura 9. Perfil de força do indicador.



Figura 10. Perfil de força do mínimo.



Figura 11. Perfil de flexão do médio.

Apesar da presença de ruídos nos sinais brutos, os dados demonstram que os sensores foram capazes de capturar padrões repetitivos de movimento com boa sensibilidade, indicando o potencial do sistema para análise de movimentos em tarefas de reabilitação.

Os resultados também corroboram estudos prévios que apontam o uso de luvas inteligentes como ferramenta promissora para reabilitação motora [Klamroth-Marganska 2018, Phatsornsiri et al. 2025, Stinear et al. 2020]. Embora os resultados iniciais sejam promissores, a validação com um número maior de participantes é necessária para consolidar a eficácia da solução proposta.

5.2. Análise do Perfil de Força após Aplicação do Filtro Passa-Baixa

As Figuras 12–15 apresentam os sinais de força após a aplicação do filtro passa-baixa. A filtragem reduziu significativamente os ruídos de alta frequência, tornando os sinais mais estáveis e representativos do comportamento muscular durante os movimentos.

Portanto, observou-se um padrão cíclico mais consistente em todos os dedos, com melhor definição dos momentos de contração e relaxamento. O polegar e o indicador apresentaram maiores amplitudes de força, enquanto o dedo mínimo manteve valores mais baixos e estáveis, comportamento compatível com sua menor participação funcional.

A comparação com os dados brutos evidencia que o pré-processamento foi essencial para melhorar a qualidade dos sinais, reduzindo variações indesejadas e facilitando a identificação dos padrões motores. Esses resultados reforçam a importância da filtragem na análise de sinais em sistemas de reabilitação baseados em sensores.



Figura 12. Força do polegar com filtro

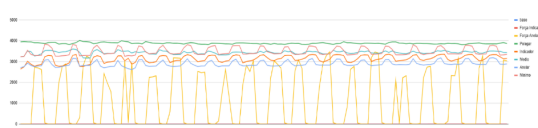


Figura 13. Força do indicador com filtro

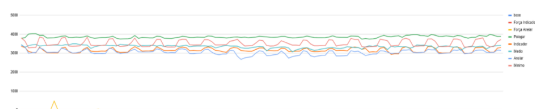


Figura 14. Força do dedo médio com filtro passa-baixa.

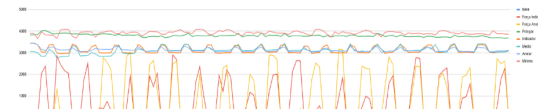


Figura 15. Força do dedo mínimo com filtro passa-baixa.

5.3. Matriz de Confusão

Para avaliar o desempenho do sistema, utilizou-se a matriz de confusão (Tabela 2). Sem filtragem, observou-se alta sensibilidade, porém com elevada taxa de falsos positivos (FP). Após a aplicação do filtro passa-baixa, houve aumento dos verdadeiros positivos (VP) e redução dos falsos positivos (FP), indicando melhora na qualidade dos sinais. Foram registrados, sem filtro, 65 verdadeiros positivos (VP), 15 verdadeiros negativos (VN), 73 falsos positivos (FP) e 7 falsos negativos (FN).

Entretanto, verificou-se aumento dos falsos negativos, sugerindo que a filtragem pode atenuar sinais válidos. De forma geral, o sistema apresentou desempenho promissor, especialmente para movimentos mais definidos, evidenciando potencial para aplicações em reabilitação motora.

Tabela 2. Resultados da matriz de confusão para detecção dos movimentos de flexão dos dedos, antes e após a aplicação do filtro passa-baixa.

Condição	VP	VN	FP	FN
Polegar	16	4	19	1
Indicador	17	3	20	0
Médio	17	3	17	3
Mínimo	15	5	17	3
Total (sem filtro)	65	15	73	7
Total (com filtro)	68	11	58	22

6. Limitações e Ameaças a Validade

Uma limitação deste estudo é a realização dos testes em ambiente laboratorial, com apenas um voluntário, o que restringe a generalização dos resultados para contextos clínicos reais. A ausência de pacientes com comprometimento motor impediu a avaliação de aspectos relevantes, como dor, fadiga e resposta individual ao processo de reabilitação.

Além disso, o ambiente controlado não contempla desafios do uso cotidiano, como conforto, durabilidade e adaptação ao uso contínuo. Também não foi realizada uma análise de viabilidade para produção em escala. Dessa forma, reforça-se a necessidade de estudos clínicos com amostras mais amplas para validar o potencial da solução proposta.

7. Considerações Finais

Diversos estudos investigam o uso de luvas inteligentes na reabilitação motora pós-AVC, demonstrando potencial no monitoramento do progresso terapêutico, embora ainda haja carência de soluções de baixo custo e validação clínica ampla [Zakri et al. 2024, Kang et al. 2020, Dhiman and Kumar 2025]. Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma luva inteligente para monitoramento do movimento e da força dos dedos, utilizando sensores *flex* e sensores de força. O sistema demonstrou capacidade de coletar dados relevantes de forma contínua, evidenciando potencial para apoio à reabilitação motora por meio de informações objetivas e quantificáveis.

Como principal contribuição, destaca-se a viabilidade de um protótipo funcional de baixo custo, com foco na individualização do tratamento e simplicidade de implementação. No entanto, o estudo apresenta limitações, como testes realizados em ambiente controlado e com um único voluntário, o que restringe a generalização dos resultados. Durante o desenvolvimento, observou-se a importância da validação prévia dos componentes, do planejamento orientado ao usuário e da definição adequada dos processos de coleta e análise de dados para garantir maior confiabilidade dos resultados.

Como trabalhos futuros, sugere-se a realização de estudos clínicos com maior número de participantes, além da incorporação de comunicação sem fio e técnicas de inteligência artificial para análise dos dados e personalização dos exercícios. Esses avanços podem ampliar o potencial da solução proposta no contexto da reabilitação motora.

Declaração do Uso de Inteligência Artificial Declaro para fins que esse texto usou IA para revisão gramatical, adequação estilística, formatação em LaTeX e auxílio na tradução do *abstract*

Referências

- Al-Whaibi, R. M., Al-Jadid, M. S., ElSerougy, H. R., and Badawy, W. M. (2022). Effectiveness of virtual reality-based rehabilitation versus conventional therapy on upper limb motor function of chronic stroke patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Physiotherapy theory and practice*, 38(13):2402–2416.
- Almeida, C., Filho, P., Rosal, I., Gonçalves, R., Aguilar, P., Nunes, M., and Martins, M. (2024). Proposta de tecnologia assistiva para auxiliar pessoas com deficiência visual na detecção de obstáculos. In *Anais do LI Seminário Integrado de Software e Hardware*, pages 288–299, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Ase, H., Honaga, K., Tani, M., Takakura, T., Wada, F., Murakami, Y., Isayama, R., Tanuma, A., and Fujiwara, T. (2025). Effects of home-based virtual reality upper extremity rehabilitation in persons with chronic stroke: a randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 22(1):20.

- Barthels, D. and Das, H. (2020). Current advances in ischemic stroke research and therapies. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1866(4):165260.
- Devittori, G., Dinacci, D., Romiti, D., Califfi, A., Petrillo, C., Rossi, P., Ranzani, R., Gassert, R., and Lambercy, O. (2024). Unsupervised robot-assisted rehabilitation after stroke: feasibility, effect on therapy dose, and user experience. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 21(1):52.
- Dhiman, H. and Kumar, R. (2025). An internet of things-enabled smart glove for brain stroke rehabilitation. *Measurement: Digitalization*, page 100001.
- Dias, P., Silva, R., Amorim, P., Lains, J., Roque, E., Serôdio, I., Pereira, F., and Santos, B. S. (2019). Using virtual reality to increase motivation in poststroke rehabilitation. *IEEE computer graphics and applications*, 39(1):64–70.
- Dong, Y.-S., Ao, S.-J., and Gong, H. (2025). Adaptive robotic polishing based on distributed flexible force sensors. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 95:103020.
- Gong, D., Li, X., Chen, Y., and Jiao, T. (2025). Recent progress in mof-based flexible sensors: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, page e01429.
- Gorelick, P. B. (2019). The global burden of stroke: persistent and disabling. *The Lancet Neurology*, 18(5):417–418.
- Guo, N., Wang, X., Duanmu, D., Huang, X., Li, X., Fan, Y., Li, H., Liu, Y., Yeung, E. H. K., To, M. K. T., et al. (2022). Ssvep-based brain computer interface controlled soft robotic glove for post-stroke hand function rehabilitation. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 30:1737–1744.
- He, X., Cui, Z., Zhang, F., Li, Y., Tu, J., Cao, J., Wang, J., Qiao, Y., Xi, P., Xu, T., et al. (2024). Multiscale heterogeneities-based piezoresistive interfaces with ultra-low detection limitation and adaptively switchable pressure detectability. *ACS nano*, 18(11):8296–8306.
- Henderson, J., Condell, J., Connolly, J., Kelly, D., and Curran, K. (2021). Reliability and validity of clinically accessible smart glove technologies to measure joint range of motion. *Sensors*, 21(5):1555.
- Jurgens, C. Y., Lee, C. S., Aycok, D. M., Masterson Creber, R., Denfeld, Q. E., DeVon, H. A., Evers, L. R., Jung, M., Pucciarelli, G., Streur, M. M., et al. (2022). State of the science: the relevance of symptoms in cardiovascular disease and research: a scientific statement from the american heart association. *Circulation*, 146(12):e173–e184.
- Kang, M.-G., Yun, S. J., Lee, S. Y., Oh, B.-M., Lee, H. H., Lee, S.-U., and Seo, H. G. (2020). Effects of upper-extremity rehabilitation using smart glove in patients with subacute stroke: results of a prematurely terminated multicenter randomized controlled trial. *Frontiers in neurology*, 11:580393.
- Klamroth-Marganska, V. (2018). Stroke rehabilitation: therapy robots and assistive devices. *Sex-Specific Analysis of Cardiovascular Function*, pages 579–587.
- Korzeniewska, E., Krawczyk, A., Mróz, J., Wszyńska, E., and Zawislak, R. (2020). Applications of smart textiles in post-stroke rehabilitation. *Sensors*, 20(8):2370.

- Kuriakose, D. and Xiao, Z. (2020). Pathophysiology and treatment of stroke: present status and future perspectives. *International journal of molecular sciences*, 21(20):7609.
- Liu, M., Wilder, S., Sanford, S., Glassen, M., Dewil, S., Saleh, S., and Nataraj, R. (2023). Augmented feedback modes during functional grasp training with an intelligent glove and virtual reality for persons with traumatic brain injury. *Frontiers in Robotics and AI*, 10:1230086.
- Phatsornsiri, P., Kumngern, M., Khateb, F., Torteanchai, U., Wongprommoon, N., and Kulej, T. (2025). 16-nw 0.5-v low-pass filter for bio-signal applications. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 188:155570.
- Shin, S., Lee, H.-J., Chang, W. H., Ko, S. H., Shin, Y.-I., and Kim, Y.-H. (2022). A smart glove digital system promotes restoration of upper limb motor function and enhances cortical hemodynamic changes in subacute stroke patients with mild to moderate weakness: a randomized controlled trial. *Journal of Clinical Medicine*, 11(24):7343.
- Sommer, D., Lermer, E., Wahl, F., and Lopera G, L. I. (2025). Assistive technologies in healthcare: utilization and healthcare workers perceptions in germany. *BMC Health Services Research*, 25(1):223.
- Stinear, C. M., Lang, C. E., Zeiler, S., and Byblow, W. D. (2020). Advances and challenges in stroke rehabilitation. *The Lancet Neurology*, 19(4):348–360.
- Triccas, L. T., Kennedy, N., Smith, T., and Pomeroy, V. (2019). Predictors of upper limb spasticity after stroke? a systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy*, 105(2):163–173.
- Tseng, K. C., Wang, L., Hsieh, C., and Wong, A. M. (2024). Portable robots for upper-limb rehabilitation after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Annals of medicine*, 56(1):2337735.
- Veldema, J. and Jansen, P. (2020). Resistance training in stroke rehabilitation: systematic review and meta-analysis. *Clinical rehabilitation*, 34(9):1173–1197.
- Wang, Y., Li, X., Sun, C., and Xu, R. (2022). Effectiveness of kinesiology taping on the functions of upper limbs in patients with stroke: a meta-analysis of randomized trial. *Neurological Sciences*, 43(7):4145–4156.
- Yang, G., Deng, J., Pang, G., Zhang, H., Li, J., Deng, B., Pang, Z., Xu, J., Jiang, M., Liljeberg, P., et al. (2018). An iot-enabled stroke rehabilitation system based on smart wearable armband and machine learning. *IEEE journal of translational engineering in health and medicine*, 6:1–10.
- Zakri, A. A., Yuliani Putri, R., Romadoni, S., and Hasneli, Y. (2024). IoT-based flex sensor gloves for immobility patients: A prototype. *International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology*, 14(3).
- Zhao, J., Zhou, H., Liu, P., Dong, Z., Huo, H., Li, H., Wang, M., and Zhang, S. (2025). Sensitivity enhancement for resonant multi-dimensional force sensor through integrated optimization of elastic structure and piezoelectric patch layout. *Sensors and Actuators A: Physical*, page 116691.
- Zille, M., Farr, T. D., Keep, R. F., Römer, C., Xi, G., and Boltze, J. (2022). Novel targets, treatments, and advanced models for intracerebral haemorrhage. *EBioMedicine*, 76.