



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO INTERDISCIPLINAR EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

FRANCISCA LORRAYNE DE LIMA SANTOS

**GAMIFICAÇÃO EM HARDWARE COMO FERRAMENTA DE APOIO A
MOTRICIDADE DOS MEMBROS SUPERIORES**

PAU DOS FERROS – RN
2025

FRANCISCA LORRAYNE DE LIMA SANTOS

**GAMIFICAÇÃO EM HARDWARE COMO FERRAMENTA DE APOIO A
MOTRICIDADE DOS MEMBROS SUPERIORES**

Monografia apresentada ao curso de Interdisciplinar em Tecnologia da Informação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como requisito para obtenção do título de Bacharela em Interdisciplinar em tecnologia da informação.

Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, Prof. Dr.

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S237g Santos, Francisca Lorraine de Lima.
Gamificação em hardware como ferramenta de
apoio a motricidade dos membros superiores /
Francisca Lorraine de Lima Santos. - 2025.
42 f. : il.

Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva
Segundo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Tecnologia da
Informação, 2025.

1. Gamificação. 2. Tecnologia assistiva. 3.
Sistema integrado. 4. Estimulação motora. 5.
Ambientes digitais. I. Silva Segundo, Francisco
Carlos Gurgel da, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCA LORRAYNE DE LIMA SANTOS

**GAMIFICAÇÃO EM HARDWARE COMO FERRAMENTA DE APOIO A
MOTRICIDADE DOS MEMBROS SUPERIORES**

Monografia, apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, como requisito para a obtenção de título de Bacharela em Interdisciplinar em tecnologia da informação.

APROVADO EM: 15/12/2025

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 FRANCISCO CARLOS GURGEL DA SILVA SEGUNDE
Data: 21/12/2025 15:27:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 CECILIO MARTINS DE SOUSA NETO
Data: 21/12/2025 19:20:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cecílio Martins de Sousa Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
1º Membro

Documento assinado digitalmente
 ELIZABETE CRISTINA DIOGENES DE MEDEIROS
Data: 21/12/2025 16:01:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Elizabete Cristina Diógenes de Medeiros (CER)
2º Membro

*Agradeço a minha família, em especial ao
meu pai, “Seu Manoel”, e à minha mãe,
“Dona Francisca”, que me ensinaram valor
de estudar e a força silenciosa de quem
insiste, levanta cedo e ainda encontra um
jeito de sorrir. Com eles aprendi que sonhar
é um ato de resistência, e que cada passo
meu carrega os passos deles.
Este trabalho não é só meu.
É deles.
É nosso.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me permitir encontrar o meu caminho em meio às incertezas e confusões, e por me conceder força para seguir mesmo nos momentos mais desafiadores.

Expresso minha sincera gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, pela paciência, orientação e incentivo ao longo de todo este processo, contribuindo de forma significativa para a realização deste trabalho. Agradeço também Gerliano, pela ajuda e paciência durante as atividades realizadas na APAE.

Agradeço profundamente à minha família, em especial à Isabelle, por todo amor, compreensão e apoio incondicional e por nunca desistir de mim, mesmo quando eu duvidei de mim mesma. Recordo-me de sempre dizer que precisava de uma pausa, e você, com sua calma e firmeza, sempre me incentivava a continuar. A você, meus mais sinceros agradecimentos, por acreditar em mim quando nem eu mesma consegui.

Aos meus amigos, e principalmente à Samira, deixo meu agradecimento mais sincero. Obrigada pela amizade, pela paciência e por dividir comigo tantos desafios e conquistas da vida acadêmica. Você fez esse percurso ser muito mais leve e divertido. Sou imensamente grata pela vida ter nos colocado no mesmo caminho, na hora certa. Obrigada por me entender nos momentos difíceis, por estar comigo no cansaço, pelas palavras que acalmam e, principalmente, pelos gestos de apoio que fizeram toda a diferença. Você deixou tudo mais leve. A você, minha amiga, minha gratidão enorme por caminhar e compartilhar o peso comigo nessa jornada.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização deste trabalho e para o meu crescimento pessoal e profissional.

“A tecnologia é mais humana quando se coloca a serviço da superação.”
— Sherry Turkle

RESUMO

Os jogos sérios têm sido amplamente utilizados em contextos educacionais, clínicos e terapêuticos por combinarem elementos lúdicos com objetivos funcionais, oferecendo uma experiência motivadora e orientada ao desenvolvimento de habilidades. Diante disso, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta baseada em gamificação aplicada como apoio às atividades motoras dos membros superiores, voltada a pessoas com limitações de mobilidade, com foco em usuários com Síndrome de Down. O projeto fundamenta-se em estudos sobre jogos sérios e tecnologias assistivas, propondo o desenvolvimento de um sistema integrado de hardware e software. A metodologia adotada envolveu a construção de um protótipo vestível de baixo custo, composto por uma luva interativa responsável pela captação dos movimentos das mãos, integrada a um jogo digital desenvolvido em software embarcado, no qual as ações do usuário controlam elementos do ambiente virtual em tempo real. Essa integração entre o dispositivo físico e o jogo digital visa promover maior engajamento dos usuários durante a realização das atividades motoras, atuando como recurso complementar no contexto da fisioterapia. Os resultados obtidos indicam boa aceitação do sistema e elevado nível de engajamento dos participantes, evidenciando o potencial da gamificação como estratégia motivacional. Conclui-se que a combinação entre tecnologia assistiva, hardware interativo e jogo digital representa uma abordagem promissora como ferramenta de apoio às atividades motoras, tornando o processo mais acessível e atrativo.

Palavras-chave: Gamificação; Tecnologia Assistiva; Sistema Integrado; Estimulação Motora; Ambientes Digitais.

ABSTRACT

Serious games have been widely used in educational, clinical, and therapeutic contexts as they combine playful elements with functional objectives, providing a motivating experience oriented towards skill development. In this context, this study aims to develop a gamification-based tool designed to support upper limb motor activities, targeting individuals with mobility limitations, with a specific focus on users with Down syndrome. The project is grounded in studies on serious games and assistive technologies and proposes the development of an integrated hardware and software system. The adopted methodology involved the construction of a low-cost wearable prototype consisting of an interactive glove responsible for capturing hand movements, integrated with a digital game developed in embedded software, in which user actions control virtual elements in real time. The integration between the physical device and the digital game aims to promote greater user engagement during motor activities, acting as a complementary resource within the context of physiotherapy. The results indicate good system acceptance and a high level of user engagement, highlighting the potential of gamification as a motivational strategy. It is concluded that the combination of assistive technology, interactive hardware, and a digital game represents a promising approach as a support tool for motor activities, making the process more accessible and engaging.

Keywords: Gamification; Assistive Technology; Integrated system; Motor Stimulation; Digital Environments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Placa Microcontroladora Arduino.....	19
Figura 2 - Placa de contato.	21
Figura 3 - Botão push button (chave tátil).	22
Figura 4 - Botão push button (chave tátil).	23
Figura 5 - Protótipo do Sistema Integrado VESTA.....	24
Figura 6 – Primeiro Protótipo do circuito com Arduino.....	26
Figura 7 – Conexão do cabo RCA ao Arduino Uno.	28
Figura 8 – Esquemático da ligação do cabo RCA ao Arduino Uno.	29
Figura 9 – Cabo de RCA finalizado com o Arduino.	29
Figura 10 – Luva inicial.....	30
Figura 11 – Diagrama das conexões entre o Arduino e a televisão.....	30
Figura 12 – Tela inicial.....	32
Figura 13 – Tela inicial do jogo – Teste das mãos 1.	35
Figura 14 – Tela inicial do jogo – Teste das mãos 2.	36
Figura 15 – Tela inicial do jogo.....	36
Figura 16 – Tela de Game Over jogo.	37
Figura 17 – Luvas finalizadas – Testes finais.....	38
Figura 18 – Aplicação no ambiente terapêutico da APAE – 1.	38
Figura 19 – Aplicação no ambiente terapêutico da APAE – 2.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes do protótipo.....	33
Tabela 2 – Componentes do protótipo.....	34
Tabela 3 – Custo estimado do sistema vestível VESTA.	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MS	Membros superiores
AVC	Acidente vascular cerebral
LIBRAS	Língua brasileira de sinais
BMRS	<i>Brunnstrom Recovery Stages</i>
FMA-UE	<i>Fugl-Meyer Assessment – Upper Extremity</i>
IoT	Internet das coisas
<i>Wearables</i>	Dispositivos vestíveis
IDII	<i>Interaction design institute ivrea</i>
FSRs	<i>Force sensitive resistors</i>
VESTA	Vestível terapêutico gamificado
GND	<i>Ground</i>
PARS	<i>Portable Arm Rehabilitation System</i>
RCA	<i>Radio Corporation of America</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
PAL	<i>Phase Alternating Line</i>
NTSC	<i>National Television System Committee</i>
AVR	<i>Automatic Voltage Regulator</i>
Hz	<i>Hertz</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
APAE	Associação dos Pais e Amigos dos Excepcionais de Pau dos Ferros

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.2	Justificativa	16
1.2.1	Estruturação do trabalho	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Placa microcontroladora Arduino	18
2.2	Placas de contato.....	20
2.3	Push Buttons (Botões de pressão)	21
2.4	Cabo RCA	22
2.5	Arquitetura e Fluxo de Funcionamento do Sistema VESTA	23
2.6	Desenvolvimento do jogo digital.....	24
3	PROTÓTIPO VESTÍVEL GAMIFICADO PARA REABILITAÇÃO DOS MEMBROS SUPERIORES – VESTA	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

O comprometimento motor dos movimentos dos membros superiores (MS) é extremamente desgastante para os pacientes, impactando diretamente sua autonomia e qualidade de vida. Apesar deste trabalho ter como foco pessoas com Síndrome de Down, dados relacionados ao Acidente Vascular Cerebral (AVC) são demonstrados como forma de contextualização para relevância do comprometimento dos membros superiores. Estudos indicam que aproximadamente dois terços dos pacientes que sofreram Acidente Vascular Cerebral (AVC) ainda mantêm sequelas significativas dos membros superiores, e estima-se que, mesmo após seis meses do evento, poucos se recuperam completamente (Doumas I; Everard G; Dehem S, 2021). Além disso, na fase aguda do AVC cerca de 50% a 80% dos pacientes apresentam sequelas nos MS, enquanto na fase crônica essa incidência varia entre 40% e 50%. E apesar de diversos métodos de intervenção, apenas 5% a 34% desses pacientes conseguem recuperar totalmente a função motora dos membros superiores (Ali AS; Arumugam A; Gururaj S, 2025).

No cenário pediátrico, além da Síndrome de Down, a paralisia cerebral também se destaca como um dos principais fatores que reduzem o movimento motor dos MS. Estudos indicam que 83% das crianças apresentam comprometimento dos membros superiores frequentemente associado a limitações no controle manual (Arner M; Eliasson AC; Nicklasson S, 2008).

Além dos casos de comprometimento dos membros, algumas pessoas nascem com o movimento dos membros superiores, seja as mãos, comprometido, como é o caso de pessoas com síndrome de down que frequentemente apresentam hipotonia muscular e hiper mobilidade articular. Essa condição limita a capacidade de segurar objetos, a coordenação motora fina (Guimarães, 2019).

Pesquisas apontam que as limitações motoras em pessoas com síndrome de down podem ser reduzidas com a prática de atividades acompanhadas por um profissional especializado da fisioterapia. A revisão Importância da Fisioterapia no Desenvolvimento Motor de Crianças com Síndrome de Down evidencia que a fisioterapia é fundamental para melhorar o tônus, fortalecer a musculatura dos membros superiores e inferiores e favorecer a coordenação motora fina e grossa, promovendo assim uma maior autonomia funcional (Mariz; Silva; Moraes, 2024). Adicionalmente, o estudo Efeitos da Intervenção Fisioterapêutica no Desenvolvimento Motor de Crianças com Síndrome de Down salienta que a constância nas

práticas terapêuticas resulta em ganhos significativos na estabilidade postural, na força muscular e na execução de movimentos funcionais, sobretudo em crianças com hipotonia e hipermobilidade articular (Santos; Lamb, 2023). Esses resultados destacam a importância da adesão a fisioterapia com profissionais preparados para população que apresentam comprometimento nos MS, o que justifica o desenvolvimento de tecnologias assistivas e abordagens terapêuticas voltadas para essas necessidades.

Neste cenário, pode-se analisar a importância que os membros superiores exercem sobre o dia a dia das pessoas. Eles são responsáveis pela alimentação, o autocuidado (como vestir-se e higienizar-se) e realizar trabalhos domésticos, que, quando comprometidos, podem prejudicar diretamente a autonomia funcional dessas pessoas. Os membros superiores são extremamente utilizados como forma de contextualização na comunicação oral, indo desde a gesticulação das mãos que complementam a fala do interlocutor (Mcneill, 1992; Birdwhistell, 1970), ou até mesmo como o principal instrumento de comunicação entre a comunidade surda, por meio da Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) que foi reconhecida como meio de comunicação e expressão a Língua Brasileira de Sinais pela Lei Nº 10.436, de abril de 2002.

As abordagens tradicionais de reabilitação dos membros superiores apresentam problemas, como baixa adesão, devido a monotonia das práticas, o que gera desmotivação do paciente que, em muitos casos, pode comprometer os resultados terapêuticos e levar até mesmo a desistência da fisioterapia. Estudos indicam que a falta de motivação é um dos obstáculos percebidos à atividade física e ao treinamento de exercícios após o AVC (*Motivational Strategies for Stroke Rehabilitation*, 2020).

Diante do exposto, torna-se necessário a implementação de soluções que possam diminuir a desistência dos pacientes e tornar a fisioterapia mais inovadora e mais engajada, o que consequentemente, tornará o processo terapêutico de apoio à reabilitação fisioterapêutica mais eficiente e menos desgastante. A aplicação de gamificação e jogos sérios em contextos de apoio à fisioterapia domiciliar permite a personalização dos exercícios, promovendo maior engajamento e adesão ao tratamento.

Com o avanço da tecnologia, o uso de dispositivos eletrônicos, sensores de movimento e sistemas programáveis podem ser aplicados em conjunto com a gamificação, criando assim experiências mais interativas ampliando a adesão dos pacientes ao tratamento, permitindo ainda o monitoramento mais preciso dos movimentos dos MS. Nesse âmbito, a união entre gamificação, tecnologia e fisioterapia cria uma ferramenta extremamente importante como recurso complementar à reabilitação motora (Gómez-Portes C; Lacave C, 2020).

A gamificação em união com o *hardware* surge então como uma alternativa promissora para tornar o processo terapêutico de apoio à reabilitação menos doloroso e mais eficiente. Segundo o estudo de *Beyond Classical Definition* a gamificação é regularmente definida como o uso de elementos de jogos em contextos não relacionados a jogos (Deterding, 2021). Diante disso, quando aplicada como ferramenta complementar no contexto da reabilitação dos membros superiores, poderá potencializar o engajamento do paciente, devido ao uso de métodos mais lúdicos e menos repetitivos, tornando-se uma importante aliada no apoio ao processo de recuperação funcional.

Alguns trabalhos, mas especificamente o de (Kim *et al.*, 2022), investiga o impacto de um sistema digital baseado em uma luva inteligente em processo de apoio ao processo de reabilitação motora após sofrer um AVC. A proposta é semelhante à do projeto, a diferença é que a proposta do estudo propõe avaliações antes e pós AVC, além de fazer verificações até quatro semanas depois do evento. Já o nosso projeto se caracteriza por uma abordagem de baixo custo, utilizando materiais reaproveitados e focando em soluções acessíveis como recurso complementar à reabilitação fisioterapêutica. No estudo, foi obtido resultados significativos na contribuição de funções maiores, onde foi possível realizar tarefas manuais em relação ao grupo de controle, além de que, tiveram alterações hemodinâmicas cerebrais ligadas diretamente a recuperação motora. Isso comprova a importância de utilizar de propostas como essa como apoio às intervenções terapêuticas para melhorar a condição de vida dessas pessoas.

Nesse sentido, este projeto propõe o desenvolvimento de um jogo digital controlado pelo movimento de abrir e fechar as mãos, correspondente à flexão e extensão dos dedos. Para isso, serão utilizadas placas de contato presas às luvas com velcro, que servem como suporte para os sensores que estão conectados ao Arduino. Basicamente, os movimentos do paciente são traduzidos pelo microcontrolador Arduino em comandos que controlará o personagem do jogo que na proposta é um foguete.

Dessa forma, o projeto busca investigar e sugerir o uso da gamificação em conjunto com *hardware* de baixo custo, utilizando sensores, pequenos periféricos e Arduino que captam e traduzem os movimentos dentro de um jogo digital como ferramenta de apoio ao processo terapêutico de pacientes e/ou à melhoria da motricidade dos membros superiores. A proposta se fundamenta em aplicar elementos lúdicos e divertidos, em que o paciente possa controlar o personagem com os próprios movimentos e assim estimular os movimentos dos membros superiores, como flexão e extensão dos dedos e coordenação motora fina e, conseqüentemente, favorecer o processo de adesão à fisioterapia, tornando o processo terapêutico mais dinâmico e eficaz. Desse modo, pretende-se contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos pacientes,

oferecendo alternativas modernas e mais inovadoras, onde possa unir o uso da tecnologia como ferramenta de apoio no processo terapêutico.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O projeto busca desenvolver e analisar um protótipo de baixo custo utilizando *hardware* (Arduino, placas de contato) em conjunto com gamificação que possam auxiliar como recurso de apoio ao processo terapêutico e à melhoria da motricidade das mãos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos deste trabalho destacam-se:

- Desenvolver um dispositivo vestível baseado em Arduino e placas de contato responsáveis pela captação dos movimentos de abrir e fechar as mãos.
- Implementar a tradução dos sinais captados pelos sensores para o microcontrolador, de forma a possibilitar a interpretação precisa dos movimentos dos pacientes.
- Integrar o dispositivo vestível a um jogo digital gamificado, no qual os movimentos das mãos são convertidos em comandos e ações para os personagens do jogo.
- Avaliar a experiência de uso do protótipo por meio de observações e coleta de *feedbacks* qualitativos junto aos pacientes.
- Identificar os pontos fortes e as limitações do sistema a partir da análise da interação dos usuários com o dispositivo e o jogo.
- Utilizar o sistema como ferramenta complementar no processo de fisioterapia para pessoas com comprometimento motor dos membros superiores.

1.2 Justificativa

A necessidade do jogo em conjunto com o *hardware* surgiu como uma alternativa para favorecer a adesão à fisioterapia em pacientes com pouca mobilidade nos MS, visto que o exercício é uma das principais ferramentas no processo terapêutico de recuperação no estímulo

à futura autonomia. Essa alternativa é para todos os públicos, indo desde o idoso, adultos e até mesmo o público infantil. Estudos apontam que o uso da gamificação como ferramenta de apoio à reabilitação baseada em jogos melhora a função do MS (FMA-UE), a recuperação motora do MS (BMRS), a independência nas atividades diárias (índice de *Barthel*) e a função cognitiva (MoCA) em indivíduos se recuperando de um acidente vascular cerebral agudo ou subagudo (Ali; Arumugam; Gururaj, 2025).

Em síntese, o desenvolvimento deste projeto é benéfico por oferecer uma alternativa inovadora e acessível para pacientes com pouca mobilidade nos MS. A união entre *hardware* e gamificação de baixo custo possibilita não apenas uma maior adesão por parte dos pacientes, mas também aumenta a motivação e consequentemente amplia o alcance que a fisioterapia tem em todas as faixas etárias, independentemente dos fatores socioeconômicos.

Espera-se que esse projeto possa trazer maior liberdade e, de certa forma, entretenimento em um momento tão desafiador. A proposta de gamificação em hardware aplicada como recurso de apoio ao processo terapêutico dos membros superiores busca tornar o tratamento mais atrativo, favorecendo, assim, a motivação, a adesão e contribuições positivas para o desempenho funcional dos pacientes.

1.2.1 Estruturação do trabalho

Assim, no Capítulo 2 tem-se o referencial teórico, abordando a aplicação de jogos sérios em pacientes com mobilidade motora reduzida nos membros superiores, trabalhos relacionados e teorias necessárias para o desenvolvimento do projeto. No Capítulo 3, apresenta-se a descrição da aplicação da Gamificação em Hardware Aplicada à Reabilitação dos Membros Superiores e a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto. No Capítulo 4, são apresentados os resultados e as discussões do presente projeto. No Capítulo 5, encontram-se as considerações finais do trabalho e, no Capítulo 6, as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

É notória a importância que a tecnologia exerce no cotidiano das pessoas, estendendo-se desde o seu uso em atividade mais simples, como o envio de mensagens, leituras e o acesso a músicas. Contudo, a incorporação de ferramentas tecnológicas no contexto de inclusão tem se tornado cada vez mais presente e imprescindível. Por exemplo, no campo da saúde observa-se que o avanço tecnológico foi crucial para proporcionar diagnósticos mais ágeis e tecnicamente precisos. Um exemplo disso, seria a aplicação de diversas tecnologias emergentes na área da fisioterapia, como os dispositivos vestíveis (*wearables*), a Internet das Coisas (*IoT*) e a realidade virtual, que têm potencial para transformar a forma como os tratamentos são conduzidos, tornando assim o processo terapêutico mais interativo, eficiente e personalizado (*University of the Cumberlands*, 2023).

Em síntese, este trabalho foi pensado para o desenvolvimento de soluções que usassem a tecnologia como uma ferramenta imprescindível voltada ao apoio ao processo terapêutico dos membros superiores. Nesse sentido, a Seção 2.1 destaca o uso da placa microcontroladora Arduino, que permite a comunicação eficiente entre os sensores e o ambiente gamificado. Em seguida, na Seção 2.2, serão detalhadas as placas de contato utilizadas para estabelecer a interface entre os movimentos dos pacientes e o Arduino, evidenciando como os sinais captados podem ser traduzidos em comandos no jogo digital, promovendo maior interatividade e engajamento no processo terapêutico. A Seção 2.3 apresenta a utilização de *push buttons* como elemento auxiliador do projeto, explicando como os botões de comando simples podem integrar um circuito e a lógica do jogo, o tornando mais acessível e menos complexo de manuseio.

2.1 Placa microcontroladora Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem de baixo custo e código aberto criada em 2005 como uma ferramenta de baixo custo para os alunos do *Interaction Design Institute Ivrea (IDII)* por Massimo Banzi e David Cuartielles com o intuito de possibilitar a aprendizagem de eletrônica e programação para alunos iniciantes na área, conforme Figura 1. O produto que a equipe criou consistia em peças baratas que poderiam ser facilmente encontradas caso os usuários quisessem construir suas próprias placas, como o microcontrolador ATmega328. Mas uma decisão fundamental foi garantir que fosse, essencialmente, *plug-and-play*: algo que

alguém pudesse tirar da caixa, conectar a um computador e usar imediatamente (*IEEE Spectrum: The Making of Arduino*, 2011).

Figura 1 - Placa Microcontroladora Arduino



Fonte: *IEEE Spectrum. The Making of Arduino* (2025).

A Figura 1 é uma demonstração do Arduino usado no protótipo. Alguns estudos relevantes apontam que o Arduino pode ser usado para o desenvolvimento de dispositivos que auxiliem na construção de ferramentas que possam ajudar no apoio ao processo terapêutico dos braços, por traduzir os movimentos dos pacientes em comandos eletrônicos, o que facilita a prática de exercícios terapêuticos de forma mais lúdica e personalizada (Ambar; Radzi; Ahmad, 2011), o que se encaixa perfeitamente na questão investigada de construir uma ferramenta que possa facilitar, e consequentemente, aumentar a adesão dos pacientes à fisioterapia, tornando-a mais atrativa e menos repetitiva.

Os elementos que compõem os jogos, como recompensas, benefícios, *feedback* em tempo real, desafios e até mesmo as recompensas, impulsionam pacientes, fazendo com que se tornem mais engajados e competitivos. Logo, união entre a gamificação com o Arduino e sensores de movimentos, podem proporcionar uma experiência de apoio ao processo terapêutico personalizada e mais divertida, aumentando assim a adesão dos pacientes na fisioterapia (Norouzi-Ghazbi; Mirbaha; Li, 2025).

Por fim, o Arduino é apontado como uma solução para o projeto devido a sua conectividade *plug-and-play*, facilidade em manutenção, uma vasta disponibilidade de códigos abertos e baixo custo de aquisição. Essas características fazem com que o Arduino seja o ponto chave do nosso projeto. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto que permite aos usuários criarem dispositivos interativos e autônomos (Banzi; Shiloh,

2014). Ou seja, sua simplicidade e flexibilidade o tornam ideal para protótipos rápidos e personalizados

2.2 Placas de contato

Alguns estudos na área de apoio ao processo terapêutico motor fazem uso de sensores avançados, como *flex sensors*, *FSRs* (*Force Sensitive Resistors*) e acelerômetro, para poder registrar o movimento, força e a coleta de dados biomecânicos com maior precisão (Ambar; Radzi; Ahmad, 2011). Outro exemplo é o *PARS* (*Portable Arm Rehabilitation System*), que apresenta uma solução acessível para terapias dos MS utilizando hardware de baixo custo (Koçak; Gezgin, 2022).

Contudo, embora existam estudos que faz uso de sensores mais robustos, como o *flex sensor*, *FSRs* para poderem captar ângulos ou até mesmo a força dos membros superiores, não foram encontrados quase nenhum estudo que faça a utilização de duas placas condutoras simples para captarem os movimentos de abrir e fechar as mãos.

Logo, essa brecha surge como uma oportunidade que justifica o uso de placas de contato. Para registrar o movimento das mãos, foi utilizado um sistema de contato bem simples, que é formado por duas placas condutoras que serão posicionadas dentro das mãos e nos dedos do paciente, podendo também ser adaptado para os braços, visto a simplicidade e facilidade de adaptação do protótipo. Basicamente, o funcionamento foi baseado pelo princípio do fechamento do circuito, ou seja, quando o paciente realizar o movimento de abrir e fechar as mãos, as placas irão encostar entre si, o que vai gerar uma corrente elétrica (Malvino, 2013). Assim, será enviado ao microcontrolador Arduino um sinal elétrico, e esse sinal é interpretado pelo sistema como um movimento válido dentro do jogo (Banzi; Shiloh, 2014).

A Figura 2 é uma demonstração da placa de contato de cobre usada no protótipo.

Figura 2 - Placa de contato.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

2.3 Push Buttons (Botões de pressão)

Os botões de contato, ou *push buttons*, são utilizados para facilitar a dinâmica de comandos em jogos. Um exemplo disso seria a utilização em algumas pesquisas recentes, como o artigo *Interactive mechatronic system for improving upper limb rehabilitation*, publicado na revista *Robótica* (Cambridge Core, 2013), destaca a importância da integração entre microcontroladores e *push button* para atividades simples. Embora o estudo utilize de sensores mais complexos, sua utilização como uma estrutura simples e de fácil manuseio foi de extrema importância. Diante disso, vemos a importância de usá-los em nosso projeto na parte inicial, porque ele irá possibilitar testes de forma mais dinâmica e compacta, o que agiliza o processo de construção do nosso projeto enquanto um dispositivo vestível.

O artigo *A gesture-based serious game for upper limb motor rehabilitation* (Research, Society and Development, 2022) ressalta a importância e a relevância de interfaces acessíveis para o aumento do engajamento em pacientes em ambientes gamificados. Apesar do foco da pesquisa seja o reconhecimento de gestos, os autores enfatizam que a finalidade principal do projeto é a comunicação entre o movimento do usuário e o sistema digital. Essa análise se estende ao uso de botões de contato, uma vez que eles atuam como uma alternativa ou complemento a sensores gestuais, o que pode oferecer um modo de entrada mais simples para que os pacientes que ainda não possuem controle motor suficiente para interações complexas. Analisando essas premissas, a escolha de *push buttons* para testes iniciais para o projeto foi

primordial, visto que ele possibilita uma ponte de testes iniciais mais simples, mas não menos precisos.

Figura 3 - Botão push button (chave táctil).



Fonte: Blog da Robótica (2022).

A Figura 3 é uma demonstração dos *push button* percorridos nos artigos.

2.4 Cabo RCA

O cabo RCA é um conector analógico comumente usado na transmissão de sinais de áudio e vídeo entre dispositivos eletrônicos. Esse padrão foi criado pela *Radio Corporation of America (RCA)* no final dos anos 1930, e ainda é encontrado em aparelhos como amplificadores e caixas de sons, além de ter sido usados frequentemente em televisões, consoles de videogame e reprodutores de DVDs (Charleaux; Lima, 2025).

Uma de suas principais características é a padronização por cores nas pontas dos conectores AV. O padrão mais comum, utilizado para conectar TVs e DVD players, é o de vídeo composto, no qual o cabo amarelo transmite o vídeo, enquanto os cabos branco e vermelho são responsáveis pelo áudio estéreo, esquerdo e direito, respectivamente (Charleaux; Lima, 2025).

Diante disso, o cabo RCA torna-se uma excelente escolha para o nosso projeto, considerando a necessidade de exibir o jogo digital na televisão, função na qual o cabo desempenha um papel fundamental para o funcionamento do sistema.

A Figura 4 é uma demonstração do cabo *RCA* usado no protótipo.

Figura 4 - Botão push button (chave tátil).



Fonte: Charleaux; Lima (2025).

2.5 Arquitetura e Fluxo de Funcionamento do Sistema VESTA

A Figura 5 demonstra o fluxograma do sistema integrado VESTA, destacando as etapas de idealização, desenvolvimento e a integração entre hardware vestível, por meio da luva sensorial, e o jogo digital. Basicamente o diagrama exemplifica os passos do desenvolvimento desde a pesquisa inicial e o projeto do dispositivo físico até o desenvolvimento do software do jogo e sua aplicação na prática, realçando a comunicação entre os componentes e o fluxo de funcionamento do sistema.

Figura 5 - Protótipo do Sistema Integrado VESTA.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

O fluxograma demonstra de forma simplificada as principais etapas presentes no desenvolvimento do sistema, indo desde a pesquisa e concepção do hardware até a integração com o jogo digital e sua aplicação prática, realçando a proposta de estímulo motor por meio de uma abordagem lúdica e interativa.

2.6 Desenvolvimento do jogo digital

O desenvolvimento do jogo foi feito em ambiente de programação embarcada, utilizando a plataforma Arduino, junto com a biblioteca TVout para geração de interface gráfica e a biblioteca EEPROM para armazenar os dados. De acordo com o fluxograma apresentado na Figura 5, o jogo foi criado para operar de forma integrada a luva, quando abrir e fechar as mãos, captados por meio de placas de contato acopladas à luva, são interpretados pelo microcontrolador e convertidos em comandos capazes de controlar o personagem. O funcionamento do jogo consiste no controle de um objeto representado por um foguete, que se movimenta horizontalmente na tela quando as placas de contato são pressionadas que são comandos enviados pelo hardware. Já o disparo do laser acontece de forma automática, enquanto obstáculos representados por asteroides surgem de maneira progressiva, exigindo do usuário atenção, coordenação e tempo de resposta.

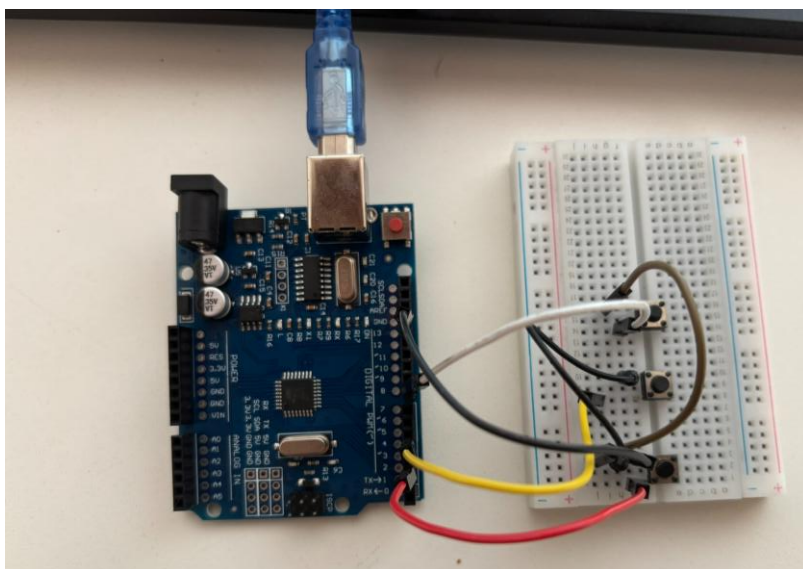
Em síntese, o sistema foi estruturado em diferentes estados de funcionamento, incluindo uma etapa inicial de teste dos contatos das mãos, responsável por verificar o funcionamento do dispositivo antes do início da aplicação, a fase principal de jogo e a tela de encerramento (Game Over), que permite voltar para o jogo novamente ao pressionar as placas de contato. Durante a

execução, o jogo fornece feedback visual por meio da pontuação exibida na tela e feedback sonoro, ajudando no engajamento do usuário. Essa estratégia permitiu a criação de uma experiência interativa e lúdica, na qual o jogo digital atua como elemento central de motivação, enquanto o hardware vestível possibilita a tradução dos movimentos dos membros superiores em ações dentro do ambiente virtual.

3 PROTÓTIPO VESTÍVEL GAMIFICADO PARA REABILITAÇÃO DOS MEMBROS SUPERIORES – VESTA

Para melhor descrição e fluidez do projeto, o protótipo foi denominado de VESTA (Vestível Terapêutico Gamificado). Foi utilizada uma placa microcontroladora Arduino com três *push buttons* conectados em uma *protoboard*. Eles foram ligados diretamente aos pinos digitais 2, 4 e 8, onde foram configurados como entradas, utilizando o *Ground (GND)* como referência. Em síntese, ao apertar o botão o pino era conectado ao nível lógico baixo. Essa alternativa foi adotada para manter a complexidade o mais baixa possível, já que não utilizamos resistores de *pull-up* ou *pull-down* externos. Assim, o funcionamento do circuito dependia do estado interno do pino: ele era lido como *high* quando estava “solto” e como *low* quando o botão era pressionado. E com isso, o circuito utilizou o *pull-up* interno do Arduino, eliminando assim a necessidade de resistores externos. Dessa forma, o pino permanece em *high* normalmente e, ao pressionar o botão, seu estado muda para *low*, conectando-se diretamente ao *GND* do Arduino.

Figura 6 – Primeiro Protótipo do circuito com Arduino



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A Figura 6, demonstra o Arduino conectado por meio de três fios, branco, amarelo e vermelho, aos seus respectivos pinos digitais 2, 4 e 8, todos configurados para atuarem como entrada de sinal. O fio preto está ligado diretamente ao *GND* do Arduino, e cada fio conectado à perna esquerda dos *push buttons* está ligado ao fio que leva diretamente ao *GND* da placa

microcontroladora. Os *push buttons* foram utilizados para validar a comunicação entre o *hardware* e o software, permitindo uma análise mais precisa durante a implementação do jogo.

Partindo desta análise, identificou-se a necessidade de criar um protótipo adaptável e de baixo custo, visto o objetivo do projeto: fornecer um dispositivo vestível e de baixo custo que ajude a estimular a fisioterapia, e consequentemente diminua a desistência ao tratamento. Com isso, optou-se por adaptar uma luva de tecido com placas de sensores. A luva foi escolhida devido a sua adaptabilidade a anatomia da mão, o que gera uma maior liberdade ao se jogar o jogo.

Durante a utilização da luva, são estimulados vários movimentos funcionais dos MS, descritos tecnicamente segundo a nomenclatura da fisioterapia. Em síntese, o principal movimento que se é exigido pelo jogo corresponde à flexão e extensão dos dedos, que é feita de forma repetitiva durante a abertura e o fechamento das mãos o que aciona as placas de contato. O mesmo está diretamente associado à preensão palmar, visto que o contato entre as superfícies condutoras vai de acordo com a capacidade do usuário de envolver e pressionar os dedos contra a palma da mão, habilidade fundamental para a execução de atividades funcionais do cotidiano (Lang et al., 2009).

Ademais, o controle do personagem do jogo é feito por coordenação motora fina, relacionada ao ajuste preciso dos movimentos dos dedos, e coordenação motora grossa, associada ao controle global dos movimentos manuais e à resposta aos estímulos visuais apresentados na tela. Percebe-se também que o estímulo à dissociação de dedos, por que o acionamento eficaz do dispositivo necessita de controle seletivo dos movimentos digitais, evitando assim contrações excessivas ou descoordenadas, um aspecto amplamente trabalhado em programas de fisioterapia voltados à melhora do desempenho motor funcional (Urbina-Alarcón et al., 2025; Ambike et al., 2013).

Diante disso, as ações exigidas pelo jogo promovem o maior estímulo dessas capacidades motoras, o que contribui para o treinamento funcional dos MS como ferramenta complementar ao processo de reabilitação fisioterapêutica, por meio da repetição controlada de movimentos funcionais da mão e dos dedos.

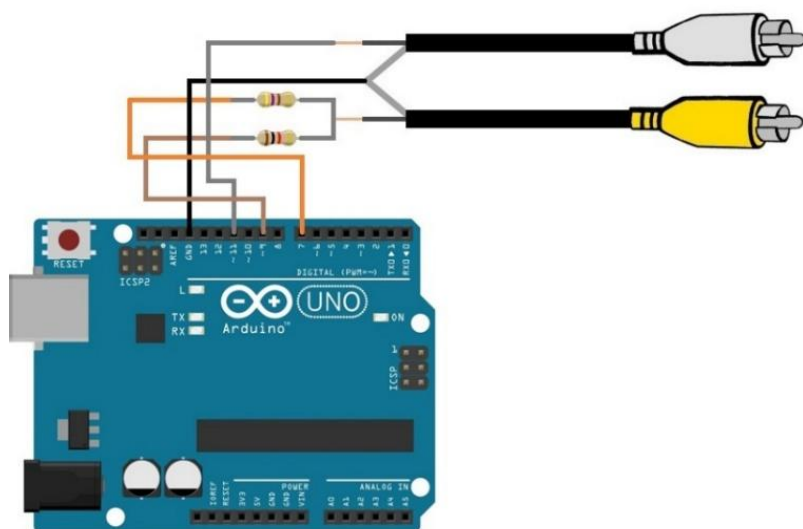
A proposta inicial consistia em desenvolver um molde em 3D para poder acoplar o protótipo com o Arduino de forma que se encaixasse ao braço de forma mais adequada, permitindo ao paciente maior mobilidade ao manuseá-lo. Contudo, verificou-se que o uso das placas de contato poderia ser aplicado de forma mais efetiva se utilizasse velcro fixadas na mão do paciente por meio de uma luva sensorizada, aumentando assim a liberdade de movimento ao abrir e fechar as mãos.

Diante da necessidade de tornar o projeto o mais adaptável e confortável possível, optou-se por embarcar o jogo microcontrolador Arduino, utilizando bibliotecas compatíveis para poder controlar a lógica, exibição e interação, dispensando assim a necessidade da utilização de periféricos externos, como computadores, o que torna o sistema mais compacto, autônomo e adequado para uso clínico.

Para permitir a exibição do jogo e a reprodução do áudio, foi desenvolvido um cabo de conexão que possibilitasse a transferências de informações do Arduino diretamente para o aparelho de televisão.

A Figura 7, exibe o diagrama elétrico das conexões dos cabos *RCA* de áudio e vídeo que serão conectados diretamente na protoboard com a televisão. O lado amarelo é a saída de vídeo que será conectado a televisão, nessa é feito uma ligação com dois resistores, como demonstrado na Tabela 2 enquanto a entrada branca é do áudio, nele foi apenas conectado um jumper e ligado na *protoboard*.

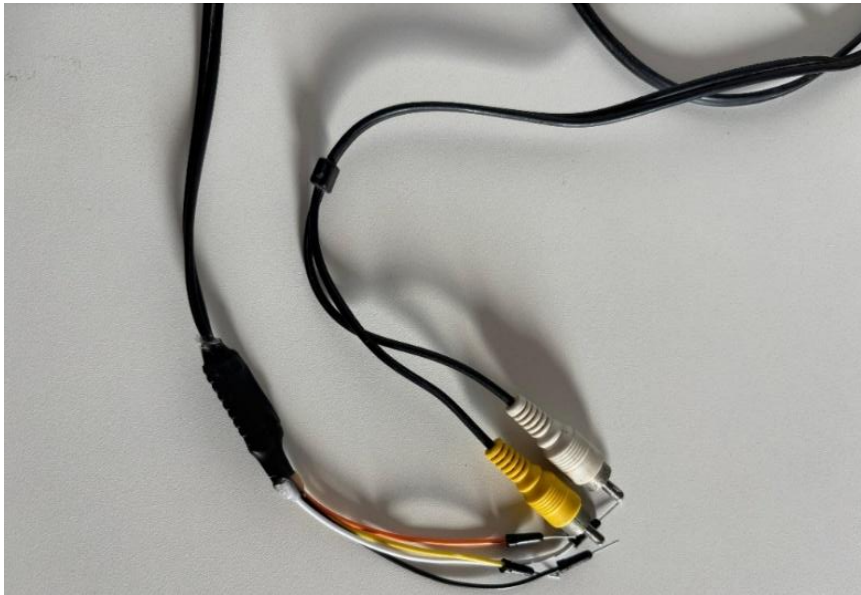
Figura 7 – Conexão do cabo RCA ao Arduino Uno.



Fonte: Bit a Bit (2018).

A Figura 8, exibe a montagem final dos cabos *RCA* de áudio e vídeo que serão conectados diretamente na protoboard com a televisão.

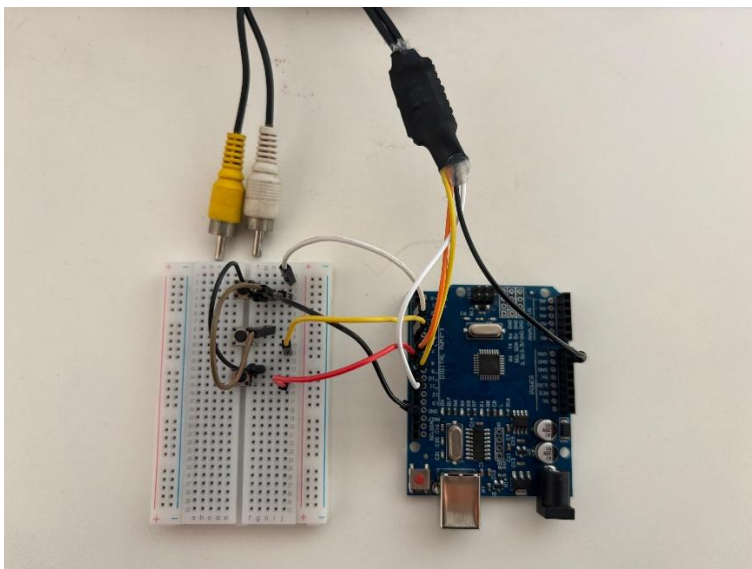
Figura 8 – Esquemático da ligação do cabo RCA ao Arduino Uno.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Após isso, os cabos de áudio e vídeo foram soldados a *jumpers* e conectados ao pino digital 7, 9, 11 e *GND* do Arduino. Na Figura 9, visualiza-se o cabo finalizado conectado ao Arduino.

Figura 9 – Cabo de RCA finalizado com o Arduino.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

As placas de contato foram aplicadas as luvas com seis tiras de velcro em cada para melhor movimentação dos pacientes, para poder ativar o jogo de forma mais rápida e precisa, conforme Figura 10.

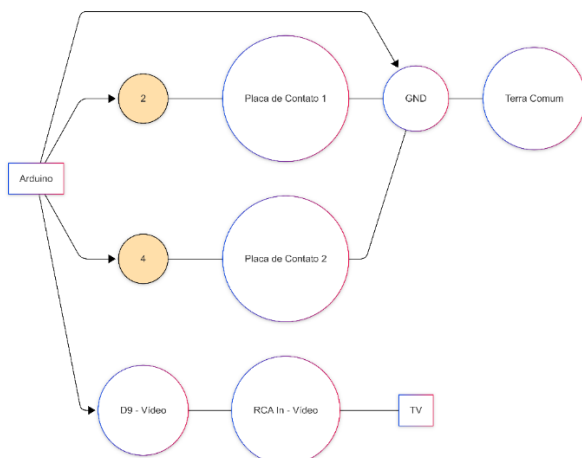
Figura 10 – Luva inicial.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A Figura 11, demonstra as ligações feitas durante o projeto. Onde a placa da luva direita e esquerda estão diretamente ligadas aos pinos digitais 2 e 4. Eles são responsáveis pela movimentação do jogo. Está demonstrando também a conexão feita entre os pinos do cabo *RCA* e a televisão.

Figura 11 – Diagrama das conexões entre o Arduino e a televisão.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

O desenvolvimento da aplicação foi feito no *Integrated Development Environment* (IDE) do Arduino. Basicamente foram usadas as bibliotecas *TVout.h* e uma extensão dela, a *fontALL.h*, a biblioteca foi criada para gerar saídas de vídeo *PAL* e *NTSC* usando microcontroladores *AVR*, como os que são encontrados nos Arduino uno, Mega e Leonardo (Arduino, 2022).

A lógica do jogo foi implementada inicialmente em C/C++, usando a *IDE* do Arduino. O código desenvolvido teve finalidade de integrar os movimentos do *hardware* com a interface gráfica do jogo exibida na televisão, foi usada primordialmente a biblioteca *TVout* que possibilita ao microcontrolador criar sinais de vídeo. Basicamente, o programa foi criado de forma modular, ou seja, com as definições dos pinos de entrada que são responsáveis por captar comandos das placas de contatos que estão posicionadas nas luvas em que o usuário está usando. Esses pinos foram configurados com a função *INPUT_PULLUP*, que permitiu reduzir a complexidade do circuito, dispensando assim o uso de resistores externos, assegurando que os sinais possam ser interpretados pelo Arduino.

Além disso, foram definidos parâmetros gráficos essenciais para a funcionalidade da aplicação, como a resolução horizontal e vertical que foram usadas para a projeção do jogo, além da declaração de variáveis que foram associadas à pontuação e ao estado inicial do jogo. O sistema usa duas instancias da biblioteca *TVout*, que são responsáveis pelo desenho dos elementos visuais e pela reprodução dos efeitos sonoros simples, criado assim uma maior imersão tanto visual quando auditiva por meio do usuário.

De modo geral, para uma melhor funcionalidade do jogo, foram organizadas rotinas que permitissem o controle de cada etapa do seu funcionamento. A atualização de tela, por exemplo, foi estruturada em ciclos curtos em que o Arduino redesenha apenas os elementos que são necessários para seu funcionamento, evitando assim desperdício de processamento. Outro exemplo seria a leitura dos sensores, que foi feito por meio de varreduras periódicas dos pinos que foram configurados como *INPUT_PULLUP*, permitindo uma detecção mais rápida quando o usuário fizer contato com as placas acopladas as mãos. Por exemplo, cada leitura vai alterar as variáveis internas que representam os estados do jogo, como o início, acerto, erro ou o fim de uma partida, e são essas variáveis que irão determinar qual a tela a biblioteca *TVout* deverá renderizar em seguida.

É importante ainda salientar a reprodução do áudio, onde uma segunda instancia da biblioteca é acionada somente quando um evento dispara, como pontuar ou perder, e isso consequentemente diminui o uso de memória. Em resumo, todo esse fluxo foi penado para

manter o sistema funcional, mesmo com as limitações de memória do Arduino, garantindo assim que a lógica, o vídeo e o som funcionem de forma adequada ao que foi proposto.

A integração entre o jogo e o microcontrolador acabou eliminando a dependência de um equipamento externo, como um computador, o que facilitou a sua aplicação, visto que o VESTA é voltado para o ambiente clínico. Na Figura 12, pode-se visualizar o protótipo finalizado.

Figura 12 – Tela inicial.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

O uso da luva ofereceu uma melhor movimentação, visto que ela se adapta anatomicamente as mãos e permitiu explorar de forma mais eficiente os movimentos relacionados a determinados exercícios utilizados no apoio ao processo terapêutico dos pacientes, com o movimento de abrir e fechar as mãos e que consequentemente vai controlar diretamente o jogo embarcado, visto que elas exercem movimentos essenciais para possibilitar as ações dentro do jogo.

Cada dedo da luva passou a receber uma pequena tira de velcro, permitindo assim que o contato entre as superfícies atue como um gatilho para as placas de contato que é responsável por enviar o comando ao Arduino. Dessa forma, a interação e movimentação tornou-se mais intuitiva e tecnicamente mais perto de um gesto funcional, o que de certa forma amplia o

potencial terapêutico de sua aplicação. O VESTA foi configurado para que a mão direita ficasse diretamente responsável pelo movimento para direita e a mão esquerda para a esquerda a partir do movimento de abrir e fechar os dedos.

Diante disso, o VESTA se consolidou como um protótipo fundamental para o projeto, pois demonstrou maior capacidade de adaptação às limitações estruturais e funcionais identificadas ao longo do desenvolvimento. A integração entre o jogo e o microcontrolador eliminou a dependência de um equipamento externo, dispensando assim o uso de um computador, o que tornou sua aplicação mais simples no ambiente clínico. Logo, o protótipo demonstrou um grande potencial de uso prático na fisioterapia, devido à sua mobilidade e facilidade de aplicação, permitindo ao paciente uma experiência mais intuitiva e funcional dos movimentos necessários para a terapia. Dessa forma, o VESTA oferece uma solução mais prática, acessível e capaz de promover maior engajamento por meio da gamificação, atendendo ao objetivo proposto na pesquisa. As especificações técnicas do projeto estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Componentes do protótipo.

Item	Descrição Ajustada
Microcontrolador	Arduino Uno.
Alimentação	5V fornecidos pela porta USB.
Entradas digitais	Inicialmente utilizados os pinos 2, 4 e 8; posteriormente, apenas os pinos 2 e 4 permaneceram em uso.
Componentes de entrada	Três push buttons (botões táteis) utilizados na fase inicial; depois reduzidos para dois.
Lógica de leitura para validação	Utilização do recurso Input Pull-Up interno do Arduino.
Lógica de leitura final	Substituição dos botões por quatro placas de contato de cobre, funcionando como sensores de toque.
Modo de acionamento	O pino digital é conectado ao GND quando o botão ou as placas de cobre são pressionados.
Base de montagem	Uso de protoboard para as conexões dos botões na primeira versão do circuito.

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 2 – Componentes do protótipo.

Item	Descrição
Cabo RCA	Um cabo RCA para conexão com a TV (um para imagem e um para áudio)
Preparação do cabo de áudio	Desencapar o cabo, expor a malha, torcer e ligar a um jumper conectado à protoboard
Preparação do cabo de vídeo	Desencapar, separar e torcer a malha; soldar dois resistores em paralelo (1 k Ω e 470 Ω) ao fio central
Resistores utilizados	Um resistor de 1 k Ω e 1 resistor de 470 Ω , ligados em paralelo
Conexão do fio comum (malha)	Juntar as malhas dos dois cabos (áudio e vídeo) e soldar em um jumper conectado ao GND do Arduino
Jumpers rígidos	Três jumpers rígidos (para ligações diretas)
Jumpers flexíveis	Quatro jumpers flexíveis (para controle do jogo)
Jumpers para protoboard	Quatro jumpers para interligar os componentes ao Arduino
Botões	Três botões de pressão táteis para interação
Protoboard	Utilizada como base de montagem para as conexões elétricas

Fonte: Autoria própria (2025).

Neste Capítulo, foi descrito todo o desenvolvimento do projeto, no Capítulo 4, serão apresentados os resultados e discussões.

Em relação com a abordagem metodológica, o trabalho é caracterizado como uma pesquisa de natureza exploratória e qualitativa. O objetivo principal não se resumiu em determinar ganhos funcionais objetivos dos MS, mas em investigar a aceitação, engajamento e viabilidade do uso de um dispositivo gamificado vestível como um recurso que poderá ser aplicado ao apoio no processo terapêutico. Assim, não foram aplicadas avaliações fisioterapêuticas padronizadas pré e pós-intervenção, visto que o foco do trabalho se situou na observação do comportamento dos usuários, na interação com o dispositivo e na análise quantitativa da experiência que foi proporcionada pelo jogo.

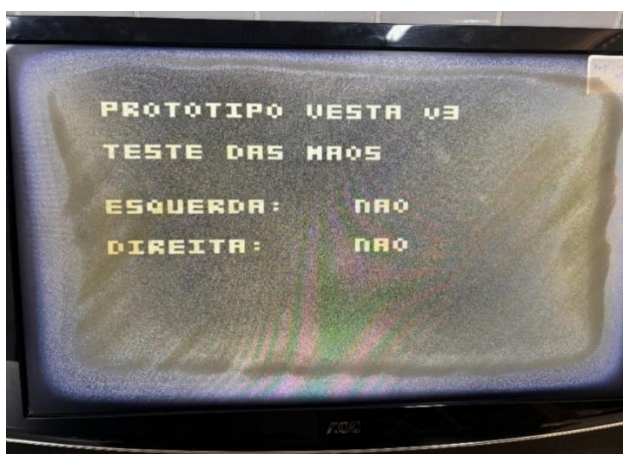
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados que foram apresentados nesse capítulo devem ser considerados pelo caráter exploratório e qualitativo do estudo ao interpretar estes resultados. A análise que foi realizada não teve como propósito avaliar ganhos funcionais específicos dos MS, mas sim identificar os aspectos que estão relacionados à aceitação do dispositivo, como o engajamento dos usuários e ao potencial terapêutico da proposta no contexto da fisioterapia. Assim, o estudo reflete as observações qualitativas e percepções que foram alcançadas durante a aplicação prática do VESTA. Destaca-se que não foram realizadas avaliações fisioterapêuticas padronizadas, nem acompanhamento formal por profissional da área da fisioterapia, o que impossibilita a mensuração de ganhos funcionais objetivos.

Salienta-se que essa delimitação do público avaliado foi escolhida com o objetivo de garantir uma maior coerência metodológica entre a aplicação prática do dispositivo, a análise dos resultados e as conclusões do estudo. Apesar do VESTA apresentar potencial de aplicação em cenários clínicos, esta análise limitou-se à observação de usuários com Síndrome de Down, respeitando as especificidades motoras e funcionais desse grupo. Estudos futuros poderão expandir a avaliação para outros perfis de usuários, o que possibilita comparações e validações extras do dispositivo.

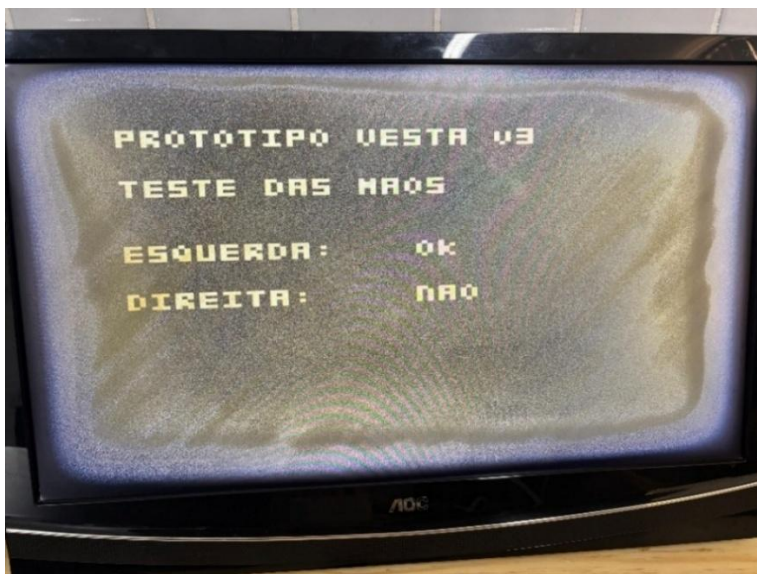
Neste Capítulo, serão apresentados os resultados e discussões do trabalho. Antes de entrar na discussão do trabalho, será apresentado o passo a passo para realização do jogo. Primeiramente, é feito o teste dos contatos das mãos, conforme Figura 13 e 14. É um passo obrigatório antes de iniciar o jogo para garantir o pleno funcionamento do mesmo.

Figura 13 – Tela inicial do jogo – Teste das mãos 1.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Figura 14 – Tela inicial do jogo – Teste das mãos 2.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Na Figura 15, pode-se visualizar o jogo que consiste em um foguete que se desloca para direita e esquerda e tenta destruir asteroides que surgem na tela.

Figura 15 – Tela inicial do jogo.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A Figura 15, apresenta a tela principal do jogo, no qual o usuário controla o foguete destruindo os asteroides, que são representados pelos quadrados 9x9 *pixels*, por meio de um sistema automático de disparos. Observa-se também a presença de uma borda que delimita o espaço do jogo, o que impede que qualquer elemento, como foguetes, asteroides e laser,

ultrapassem a área demarcada. O foguete, que está posicionado na região inferior da tela e está sendo representado por pequenos retângulos brancos, pode ser movimentado horizontalmente, o que permite ao paciente ajustar sua posição com o objetivo de atingir os asteroides ao mesmo tempo que evitam colidir com eles para não perderem o jogo.

Adicionalmente, nota-se a presença de um indicador de pontuação localizado ao canto superior esquerdo, no qual exibe a quantidade de pontos feita pelo jogador. Além disso também foi adicionado um recorde que funciona como um contador que armazena a maior pontuação do jogo, basicamente ele vai comparar a pontuação atual com o maior valor registrado e armazena na memória EEPROM, que diferente da memória RAM, os dados são armazenados mesmo sem energia, ou seja, o jogo armazena o valor máximo obtido pelo jogador na partida e recupera esse dado sempre que é iniciado. Por fim, localizado à esquerda da tela, observa-se uma barra de progresso que cresce em proporcionalmente a pontuação exercida pelo usuário.

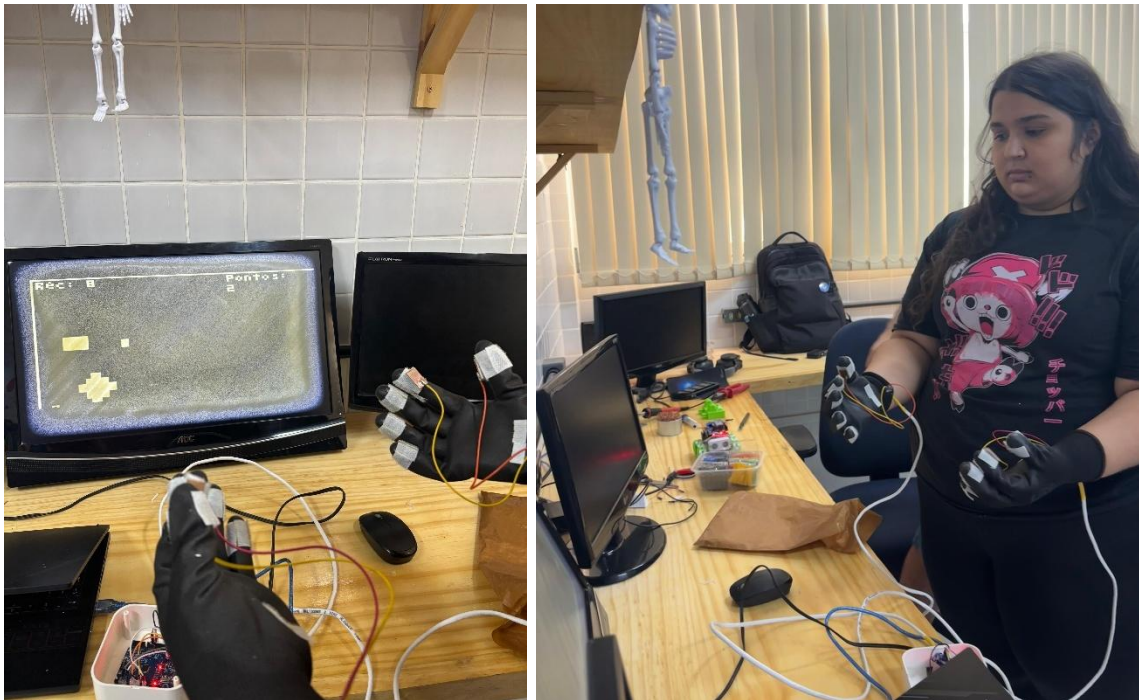
Figura 16 – Tela de Game Over jogo.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A Figura 16, corresponde à tela final do jogo. Quando o asteroide colide com o foguete, a tela muda para a mensagem *Game Over*. O jogo aguarda o jogador apertar o botão para esquerda para reiniciá-lo e, ao reiniciar, os pontos voltam para 0 e o recorde continua o maior feito na partida, o foguete retorna ao centro inferior e os lasers são resetados. Além disso, há a parte do sonora, que foi configurada para emitir os sons programados a 120Hz e 80Hz no momento da colisão. Após vários testes em laboratório, conforme Figura 17, o VESTA foi testado no dia 10 de dezembro com os usuários da Associação dos Pais e Amigos dos Excepcionais de Pau dos Ferros (APAE).

Figura 17 – Luvas finalizadas – Testes finais.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A APAE é uma associação sem fins lucrativos que atende a vários usuários com diagnósticos variados, como: síndrome de down, transtorno do espectro do autismo, deficiência intelectual etc. A Figura 18 ilustra dois usuários da APAE com síndrome de down testando o jogo desenvolvido.

Figura 18 – Aplicação no ambiente terapêutico da APAE – 1.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Foi constatada a plena funcionalidade do jogo. A luva opera conforme o esperado, além de proporcionar maior liberdade ao processo terapêutico e, consequentemente, mais diversão.

O primeiro contato dos alunos com a luva interativa foi marcado pela curiosidade e interesse de aprender algo novo. Os testes foram feitos com doze usuários. Em geral, observou-se que alguns dos participantes tiveram dificuldades para movimentar os dedos ao tentar abrir e fechar as mãos, mas que persistiram e obtiveram um ótimo desempenho e demonstra que o VESTA atende ao seu propósito, pois os mesmos tiveram que se esforçar para realizar o contato entre as placas para movimentar o foguete. Na Figura 19, são apresentados outros usuários realizando o teste do VESTA.

Figura 19 – Aplicação no ambiente terapêutico da APAE – 2.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Após os testes com todos os usuários, foi perguntado a todos sobre o jogo, se gostaram. Todos informaram que foi muito legal e divertido. Diante desse cenário foi possível confirmar que o jogo proporcionou maior diversão ao ambiente terapêutico. Os testes confirmaram a proposta do projeto: desenvolver um protótipo vestível capaz de auxiliar o processo terapêutico de pessoas com comprometimento motor nos membros superiores.

Mesmo com a aceitação positiva da luva, que foi observada durante a aplicação do sistema na APAE, também foram identificadas algumas limitações relacionadas às

características motoras e cognitivas dos usuários. Entre elas, destacou-se a necessidade de maior tempo para compreensão das regras do jogo e também uma inclusão de variação no tempo de resposta aos estímulos visuais e sonoros. Alguns alunos demonstraram limitações na coordenação motora fina, necessitando assim de auxílio inicial para o posicionamento pôr as luvas nas mãos e adaptação ao uso do dispositivo. Notou-se ainda variação no nível de atenção sustentada ao longo da atividade, influenciando o desempenho durante a interação com o jogo.

Além da análise qualitativa da aplicação do sistema, foi feito um levantamento estimado dos custos envolvidos na construção do protótipo, com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica da proposta.

Tabela 3 – Custo estimado do sistema vestível VESTA.

Item	Descrição	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
1	Luva de pano	2	10,00	20,00
2	Arduino	1	35,00	35,00
3	Jumpers macho-fêmea	7	1,00	7,00
4	Cabo de rede reaproveitado (doador)	1	0,00	0,00
5	Placas de contato em cobre (doação)	2	0,00	0,00
6	Caixa plástica para acondicionamento (doação)	1	0,00	0,00
7	Solda estanho (já disponível)	—	0,00	0,00
8	Velcro (já disponível)	—	0,00	0,00
9	Cola quente (já disponível)	—	0,00	0,00
—	Total estimado			62,00

Fonte: Autoria própria (2025).

O baixo custo do sistema foi alcançado pelo uso de uma placa microcontroladora Arduino e pelo reaproveitamento de materiais doados, como caixa plástica, placas de cobre e cabo de rede. A disponibilidade de itens como velcro e cola quente também contribuiu para a redução do custo final. Tais fatores destacam o potencial da proposta como uma solução acessível, sustentável e aplicável em ambientes terapêuticos e institucionais de poucos recursos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um dispositivo vestível que integra conceitos de gamificação aplicados como recurso de apoio ao processo terapêutico dos membros superiores, buscando tornar o processo fisioterapêutico mais lúdico, acessível e motivador. A proposta pretende contribuir para o aumento da adesão ao tratamento, reduzindo desistências ao oferecer uma experiência mais interativa e alinhada às necessidades dos pacientes.

A luva gamificada se mostrou uma ferramenta relevante nesse contexto, pois possibilita que métodos tradicionais de fisioterapia se tornem mais dinâmicos e atrativos. Com isso, o paciente passa a realizar os movimentos terapêuticos de maneira mais leve e envolvente, muitas vezes percebendo menos a repetitividade dos exercícios. Essa característica favorece a continuidade do tratamento e amplia o engajamento.

Além disso, o desenvolvimento do jogo buscou criar um ambiente seguro, divertido e de baixo custo para a execução dos exercícios. A solução proposta mostra potencial de aplicação para diferentes faixas etárias, tornando-se uma alternativa acessível e capaz de complementar práticas já utilizadas no processo terapêutico motor.

Como melhorias para o projeto, pretende-se desenvolver luvas que atendam a todos os públicos, utilizar os contatos em outros membros do corpo e desenvolver outras propostas de jogos além de otimizações e melhorias no *hardware* desenvolvido para utilização em outras entradas da televisão, por exemplo.

Ressalta-se que os testes realizados envolveram majoritariamente pessoas com Síndrome de Down, o que delimita o escopo dos resultados apresentados. Assim, futuras investigações poderão ampliar a aplicação do VESTA para outros públicos, avaliando sua eficácia em diferentes condições clínicas.

Como continuidade deste trabalho, sugere-se a ampliação do sistema com a adição de sensoriamento nos demais dedos, possibilitando a estimulação de movimentos mais específicos e detalhados dos membros superiores. Além disso, propõe-se a investigação da utilização de sensores de movimento dos membros, com o objetivo de captar informações mais precisas sobre a execução dos gestos motores durante a interação com o jogo.

Adicionalmente, recomenda-se a expansão do banco de dados do sistema com informações individuais de cada usuário, permitindo o acompanhamento da evolução motora

ao longo do tempo, bem como a realização de análises comparativas e validações futuras do dispositivo em diferentes contextos terapêuticos.

REFERÊNCIAS

- ALI, A. S.; ARUMUGAM, A.; GURURAJ, S. Effects of game-based rehabilitation on upper limb motor function following acute and sub-acute stroke: a systematic review, meta-analyses, and GRADE evidence synthesis. **Virtual Reality**, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-025-01155-8>. Acesso em: 11 set. 2025.
- AMBAR, R.; RADZI, R. S. M.; AHMAD, F. Arduino based arm rehabilitation assistive device. **Journal of Engineering Technology**, v. 1, p. 5–13, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320407516>. Acesso em: 21 set. 2025.
- AMBIKE, S. S.; PACLET, F.; LATASH, M. L.; ZATSIORSKY, V. M. Grip-force modulation in multi-finger prehension during wrist flexion and extension. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 227, n. 4, p. 509–522, 2013. DOI: 10.1007/s00221-013-3527-z. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23625077/>. Acesso em: 18 dez. 2025.
- BANZI, M.; SHILOH, M. **Getting started with Arduino: the open-source electronics prototyping platform**. 3. ed. Sebastopol: Maker Media, 2014. Disponível em: <https://archive.org/details/gettingstartedwi0003edbanz>. Acesso em: 21 set. 2025.
- BIRDWISTELL, R. **Kinesics and context: essays on body motion communication**. 1970.
- BLOG DA ROBÓTICA. Como utilizar botão push button para ligar LED com Arduino. **Blog da Robótica**, 2022. Disponível em: <https://www.blogdarobotica.com/2022/10/18/como-utilizar-botao-push-button-para-ligar-led-com-arduino/>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- BRASIL. Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002. **Lei nº 10.436/2002**. Disponível em: https://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10436.htm. Acesso em: 17 ago. 2025.
- CHARLEAUX, L.; LIMA, L. O que é cabo RCA? Entenda para que serve o conector de áudio e vídeo. **Tecnoblog**, 2024. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-rca-cabo-av-e-conectores/>. Acesso em: 09 dez. 2025.
- DETERDING, S. Beyond classical definition: the non-definition of gamification. **SN Computer Science**, v. 2, n. 3, p. 1–9, 2021. DOI: 10.1007/s42979-021-00472-4.
- DOUMAS, I. et al. Serious games for upper limb rehabilitation after stroke: a meta-analysis. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 18, n. 100, 2021. DOI: 10.1186/s12984-021-00889-1.
- GÓMEZ-PORTES, C.; LACAVE, C. Home rehabilitation based on gamification and serious games for young people: a systematic mapping study. **Applied Sciences**, v. 10, n. 24, p. 8849, 2020. DOI: 10.3390/app10248849.
- GUIMARÃES, E. L. et al. Características motoras e cognitivas na síndrome de Down: desafios e possibilidades na educação inclusiva. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 25, n. 4, p. 653–670, 2019.

IEEE SPECTRUM. The Making of Arduino. **IEEE Spectrum**, 2011. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/the-making-of-arduino>. Acesso em: 21 set. 2025.

KIM, J. et al. A Smart Glove Digital System Promotes Restoration of Upper Limb Motor Function... **Journal of Clinical Medicine**, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0383/11/24/7343>. Acesso em: 04 dez. 2025.

LANG, C. E.; DEJONG, S. L.; BEEBE, J. A. Recovery of thumb and finger extension and its relation to grasp performance after stroke. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 102, n. 1, p. 451–459, 2009. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2712280/>. Acesso em: 18 dez. 2025.

MALVINO, A. **Eletrônica: volume 1**. 9. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

MARIZ, G. do C.; SILVA, K. M. da S. R.; MORAES, A. G. Efeitos da equoterapia na reabilitação de praticantes com Síndrome de Down. **REAL – Revista de Educação e Letras**, v. 3, n. 1, 2024.

McNEILL, D. **Hand and mind: what gestures reveal about thought**. 1992.

NOROUZI-GHAZBI, S.; MIRBAHA, S.; LI, Y. Gamification-based tele-rehabilitation for physical therapy in Parkinson's disease: a scoping review. **PLOS One**, v. 20, n. 8, e0326705, 2025.

SANTOS, G. A.; OLIVEIRA, R. S.; FERREIRA, L. M. A gesture-based serious game for upper limb motor rehabilitation. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, 2022.

SANTOS, M. L.; LAMB, P. P. Efeitos da intervenção fisioterapêutica no desenvolvimento motor de crianças com Down Syndrome: a literature review. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 12, 2023.

UNIVERSITY OF THE CUMBERLANDS. 7 ways technology is changing physical therapy. **University of the Cumberlands**, 2023. Disponível em: <https://www.ucumberland.edu/blog/technology-is-changing-physical-therapy>. Acesso em: 01 nov. 2025.

URBINA-ALARCÓN, J.; ANGULO, A.; ABARCA, V. E.; ELIAS, D. A. Evaluation of wrist and finger function in healthy children through music-based video game therapy. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, London, v. 22, n. 1, p. 198, 2025. DOI: 10.1186/s12984-025-01742-5. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41023708/>. Acesso em: 18 dez. 2025.

YOUTUBE – BIT A BIT CANAL. Arduino – Conectando na TV (criando jogos). **YouTube**, 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5sFxURFBmtA>. Acesso em: 10 out. 2025.