

Orientação Espacial através do brincar: uma proposta de jogo físico-digital para noções de geografia e direcionalidade

Arthur Pereira Mazzoni Cintra
turcko.cintra@gmail.com
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Fernando Antonio Claudino
Palma
ferclaudinopalma@gmail.com
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Gabriel Andrea Carvalho
gwbrielandrea@gmail.com
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Gabriel Manzano Manoel
gabrielmanzanomanoel@hotmail.com
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Johanna Camilla Rey
johanna.rey@hotmail.com
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

William Seiki Ogido Hirata
williamhirataufsc@gmail.com
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Anelize Zomkowski Salvi
anelize.salvi@ufsc.br
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Benjamin Grando Moreira
benjamin.grando@ufsc.br
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

ABSTRACT

The development of laterality and spatial orientation skills in children aged 6 to 8 remains a pedagogical challenge, particularly due to the prevalence of low-interactivity teaching methods and the lack of tools capable of recording learning processes. This paper presents *Vrum! A Jornada*, a hybrid educational game that combines a sensor-embedded board, a low-cost microcontroller, and a gamified narrative to support children's understanding of spatial concepts. The system integrates tangible interaction, multisensory feedback, and automatic validation of player actions. A pilot study conducted in a controlled environment indicated high levels of engagement and concentration, with most errors occurring in laterality-related tasks. These preliminary results suggest the potential of hybrid physical-digital interfaces as platforms for investigating spatial learning in educational contexts.

KEYWORDS

Jogos Educacionais, Interface Tangível, Sistemas Físico-Digitais, Orientação Espacial, Lateralidade.

1 INTRODUÇÃO

A orientação espacial é apontada como um componente fundamental do desenvolvimento cognitivo infantil, influenciando a forma como a criança percebe, interpreta e interage com o ambiente [1]. Entre os elementos centrais dessa habilidade destacam-se a lateralidade, isto é, a capacidade de distinguir esquerda e direita a partir do próprio corpo, e a leitura cartográfica, que envolve compreender representações bidimensionais de espaços tridimensionais [2]. Evidências educacionais indicam que o domínio desses conceitos entre seis e oito anos favorece significativamente aprendizagens

posteriores em geometria, navegação e ciências, reforçando a importância de abordagens pedagógicas eficazes para esse período do desenvolvimento [3].

Os métodos pedagógicos tradicionais empregados para ensinar lateralidade incluem fichas impressas e dinâmicas orais, como o jogo "Chefinho Mandou" [4]. Embora amplamente utilizados, tais recursos apresentam três limitações principais: (1) oferecem *feedback* unissensorial (predominantemente visual ou auditivo), deixando de acionar múltiplos canais sensoriais que potencializam a formação de mapas mentais; (2) adotam um referencial egocêntrico, ancorado na posição corporal da criança, o que dificulta a transição para referenciais aloecêntricos necessários à leitura de mapas [2]; e (3) estudos de gamificação apontam queda de engajamento após interações repetitivas, reduzindo a eficácia no médio prazo [5].

Segundo [6, 7], métodos tradicionais, como o uso de diagramas bidimensionais e instrução expositiva, tendem a tornar os alunos passivos, dificultando o desenvolvimento de habilidades espaciais mais complexas e reduzindo a motivação. Trabalhos como [8] apresentam as dificuldades em avaliar habilidades espaciais devido à natureza mental e não observável desses processos, além da falta de ferramentas adequadas.

Para contornar essas limitações, diversas iniciativas vêm explorando interfaces tangíveis e jogos híbridos que combinam manipulação concreta a elementos digitais dinâmicos [9]. Resultados preliminares indicam aumento da motivação intrínseca e melhor retenção conceitual; entretanto, ainda faltam soluções focadas especificamente na lateralidade que sejam acessíveis, de baixo custo e fáceis de implementar em escolas brasileiras.

Segundo [7, 10], o uso de modelos 3D, realidade aumentada e atividades práticas demonstrou melhorar significativamente a compreensão e a motivação dos alunos, reduzindo a sobrecarga cognitiva e promovendo aprendizagem ativa. Além disso, [11, 12]

indicam que a integração de novas tecnologias é recomendada para superar as limitações dos métodos tradicionais.

Apesar dos avanços recentes em jogos educativos e em interfaces tangíveis, ainda há uma lacuna teórica importante na compreensão de como experiências físico-digitais multissensoriais — em especial para apoiar a transição do referencial egocêntrico para o aloccêntrico — podem contribuir para a formação de mapas mentais e para o desenvolvimento de competências cartográficas fundamentais.

Considerando as lacunas identificadas e buscando abordar temas de orientação espacial, desenvolveu-se o jogo *Vrum! A Jornada*. Trata-se de um jogo educativo físico-digital composto por um tabuleiro sensorizado conectado a um microcontrolador ESP32 programado em MicroPython¹. O jogo conta ainda com uma narrativa interativa desenvolvida em Python/Pygame². Nele, o jogador conduz um carro por uma pequena cidade, cumprindo missões que envolvem interpretar instruções de esquerda/direita e pontos cardeais, enquanto recebe feedback multissensorial imediato, tanto visual quanto tátil.

O artigo segue a seguinte estrutura: a Seção 2 apresenta os fundamentos teóricos que sustentam a proposta; a Seção 3 examina os trabalhos relacionados; a Seção 4 descreve o design do jogo e a arquitetura de hardware e software; a Seção 5 detalha o protocolo experimental adotado; a Seção 6 expõe e discute os resultados obtidos; e a Seção 7 apresenta as conclusões e delinea perspectivas para investigações futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta os conceitos que fundamentam o design e a proposta do jogo. Inicialmente, discute-se o uso de jogos no contexto educacional, com ênfase em como seus elementos podem ampliar o engajamento e favorecer a retenção de conteúdo. Na sequência, examina-se a interação tangível mediada por hardware embarcado, destacando de que modo a manipulação de objetos físicos, aliada ao feedback digital, ativa múltiplos sentidos e apoia a compreensão de conceitos abstratos. Por fim, abordam-se aspectos específicos relacionados à orientação espacial e à direcionalidade.

2.1 Jogos educativos e Aprendizagem

Jogos educativos são ferramentas eficazes para promover aprendizagem, motivação e engajamento em diferentes contextos e faixas etárias. Meta-análises e revisões sistemáticas mostram que jogos educativos resultam em ganhos moderados a altos no desempenho acadêmico [13, 14].

Jogos educativos costumam empregar narrativa, pontos, níveis e recompensas para estimular o interesse do aluno. Estudos de revisão mostram que esses elementos aumentam o engajamento, além de melhorar a retenção do conteúdo do jogo quando há *feedback* em tempo real [5, 15]. Esse efeito é ainda mais forte em atividades práticas, nas quais o estudante precisa testar e corrigir suas ações [9].

Estudos com crianças do ensino fundamental mostram que programas baseados em jogos de orientação melhoram significativamente as habilidades de direcionalidade (como reconhecer direita/esquerda, frente/trás) e a capacidade de se localizar e se mover

no espaço. Crianças que participaram desses jogos apresentaram avanços de até 89% em testes de relações topológicas e direcionais, além de ganhos em funções executivas, como controle inibitório [16].

2.2 Jogos físico-digitais

Jogos físico-digitais, também chamados de híbridos, integram elementos físicos (como blocos, cartas, tabuleiros ou objetos manipuláveis) com componentes digitais (aplicativos, realidade aumentada, sensores etc.), criando experiências de aprendizagem mais ricas e interativas [17–19].

Integrações que permitem ao aluno manipular objetos físicos — botões, peças ou veículos em miniatura — enquanto observa a repercussão na tela ativam múltiplos sentidos e favorecem a compreensão conceitual [20, 21]. Placas de baixo custo como o ESP32, programáveis em MicroPython, oferecem Wi-Fi, pinos analógicos e digitais suficientes para criar protótipos híbridos acessíveis ao contexto escolar [22].

Pesquisas sobre jogos físico-digitais têm mostrado que a integração entre objetos físicos e elementos digitais pode potencializar o engajamento e a compreensão conceitual [23]. Em contextos educacionais, essas soluções híbridas têm se mostrado eficazes para promover aprendizagem ativa, colaboração entre pares e melhor retenção de conteúdo [21, 24, 25]. No entanto, tais abordagens ainda são pouco acessíveis em ambientes escolares, seja pelo custo elevado dos dispositivos, pela complexidade de montagem ou pela ausência de mecanismos automáticos de registro de desempenho [20, 21].

2.2.1 Interfaces físicas e tangíveis. Jogos educacionais físico-digitais são uma realidade crescente e oferecem vantagens como maior engajamento, feedback imediato e aprendizagem ativa. Eles são especialmente eficazes para crianças, para o ensino de ciências, matemática e para o desenvolvimento de habilidades colaborativas [17–19].

No contexto de jogos físico-digitais é importante diferenciar entre interface física e interface tangível. Embora no contexto de jogos digitais os termos sejam frequentemente usados de forma intercambiável, eles apresentam distinções conceituais importantes.

Interface física refere-se a qualquer meio material pelo qual o usuário interage com um sistema digital, como botões, teclados, mouses ou objetos manipuláveis. É um termo amplo que engloba qualquer elemento físico usado para entrada ou controle [26].

Interface tangível (Tangible User Interface, TUI) é um subtipo de interface física, caracterizada pela integração direta entre objetos físicos e informações digitais. Em TUIs, a manipulação de objetos físicos resulta em respostas digitais imediatas, promovendo uma experiência interativa e imersiva, na qual o usuário “toca” e manipula dados digitais por meio de objetos reais [26].

Portanto, toda interface tangível é física, mas nem toda interface física é tangível. A interface tangível pressupõe uma correspondência direta e significativa entre o objeto físico e a ação digital, indo além do simples acionamento de comandos.

2.3 Orientação espacial e lateralidade

A orientação espacial constitui um componente essencial do desenvolvimento cognitivo infantil, pois influencia diretamente a forma

¹Disponível em <https://docs.micropython.org/en/latest/esp32/tutorial>

²Site <http://www.pygame.org>

como a criança percebe, interpreta e interage com o ambiente ao seu redor [1]. Entre seus pilares destaca-se a lateralidade, isto é, a capacidade de distinguir direita e esquerda a partir do próprio corpo, condição que antecede a leitura cartográfica e a formação de mapas mentais [2]. Estudos indicam que o domínio dessas habilidades entre seis e oito anos favorece aprendizagens posteriores em geometria, navegação e ciências [27, 28].

Embora tais competências sejam fundamentais, sua natureza abstrata gera desafios pedagógicos significativos. Crianças na faixa dos seis anos tendem a operar predominantemente sob referenciais egocêntricos, o que dificulta a compreensão de relações espaciais aloccêntricas presentes em mapas [2]. Além disso, métodos tradicionais, como fichas impressas e instrução expositiva, costumam induzir uma postura passiva no aluno, reduzindo o engajamento e limitando a construção ativa de noções espaciais [4, 5]. De acordo com [29, 30], também existem dificuldades na avaliação de habilidades espaciais, uma vez que envolvem processos mentais muitas vezes não observáveis diretamente e demandam instrumentos específicos.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção apresenta uma revisão de soluções voltadas ao ensino de lateralidade e orientação espacial por meio de jogos. São discutidas abordagens digitais, caracterizadas pela ampla acessibilidade, mas com limitações de engajamento e de feedback; jogos de tabuleiro, que favorecem a interação social, porém carecem de registro automático de desempenho; e propostas híbridas, que combinam elementos físicos e digitais. A seção encerra com uma comparação entre essas categorias, destacando como a solução aqui apresentada busca superar suas principais limitações.

Aplicativos em tablet comumente propõem minijogos que solicitam ao aluno identificar o lado correto da tela para treinar lateralidade. Um exemplo em português é o módulo *Lateralidade e Esquema Corporal* da *Nova Escola* [3]. Essas soluções são de baixo custo e de fácil acesso, mas fornecem apenas *feedback* visual, mantêm um referencial egocêntrico e tendem a perder engajamento após poucas sessões de uso.

O **Robot Turtles** utiliza cartas e peças para ensinar comandos de direção; porém, não registra automaticamente o desempenho nem oferece *feedback* multissensorial. Já o tabuleiro **MapTile** [31] incorpora ladrilhos RFID para detectar a posição do peão, permitindo a coleta de métricas de uso. Ambos favorecem a interação social, mas exigem observação do professor para avaliar acertos e erros.

Price & Rogers apresentaram um jogo de *mixed-reality* em que peças físicas movidas sobre uma mesa interativa alteram um mapa digital projetado [21]. O protótipo oferece *feedback* visual e tátil e utiliza um referencial aloccêntrico, mas depende de hardware proprietário de alto custo. De modo semelhante, o **TangiMap** [20] combina blocos magnéticos e uma câmera RGB-D; entretanto, exige ambiente escurecido e calibração constante, o que limita sua adoção em salas de aula.

3.1 Comparação dos Principais Trabalhos

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre diferentes sistemas educativos voltados ao ensino de lateralidade, considerando modalidade, faixa etária, tipo de feedback, referencial espacial e principais limitações. O aplicativo *Nova Escola*, classificado como digital, é voltado para crianças de 6 a 8 anos e oferece apenas *feedback* visual. Ele utiliza um referencial egocêntrico e apresenta como principal limitação a ausência de dados empíricos sobre sua eficácia.

Entre os jogos tangíveis, o **Robot Turtles** atende crianças de 4 a 8 anos, oferece *feedback* visual, utiliza referencial egocêntrico e não registra automaticamente o desempenho dos jogadores. O **MapTile**, voltado para crianças de 7 a 9 anos, também fornece *feedback* visual e adota um referencial egocêntrico, porém apresenta custo relativamente mais elevado.

Por fim, soluções híbridas, como o *Mixed-Reality Game* e o **TangiMap**, combinam elementos físicos e digitais. O *Mixed-Reality Game* é indicado para crianças de 8 a 10 anos, fornece *feedback* visual e tátil e utiliza referencial aloccêntrico, mas depende de equipamentos de alto custo. O **TangiMap**, voltado para a faixa etária de 6 a 9 anos, também oferece *feedback* visual e tátil e adota um referencial aloccêntrico; contudo, seu processo de instalação e calibração é complexo, o que dificulta sua utilização em salas de aula.

Soluções puramente digitais são fáceis de escalar, mas oferecem estimulação sensorial limitada. Jogos tangíveis promovem colaboração e manipulação concreta, porém carecem de mecanismos automáticos de registro de desempenho. Abordagens híbridas equilibram engajamento e coleta de métricas de aprendizagem, embora muitas dependam de hardware caro ou de montagem complexa. O *Vrum! A Jornada* busca superar essas barreiras ao combinar *feedback* visual e tátil, narrativa gamificada e hardware acessível (ESP32) para registrar acertos e erros em tempo real sob referencial aloccêntrico.

4 PROPOSTA

O *Vrum! A Jornada* é um jogo educativo físico-digital projetado para apoiar a aprendizagem de lateralidade e orientação espacial em crianças de 6 a 8 anos. O sistema integra um tabuleiro físico sensorizado a uma aplicação digital que conduz o jogador por meio de uma narrativa interativa, fornecendo instruções e *feedback* durante a execução das atividades.

O objetivo pedagógico do jogo é estimular a compreensão de conceitos de lateralidade (esquerda-direita) e de orientação espacial baseada em pontos cardeais, explorando a interação física com o tabuleiro e o acompanhamento visual por meio de uma interface digital.

4.1 Visão Geral do Sistema

O sistema é composto por três componentes principais:

- **Tabuleiro físico:** estrutura modular que representa uma pequena cidade e permite a movimentação de um veículo em trilhos.
- **Unidade de controle:** microcontrolador responsável por capturar eventos dos sensores distribuídos no tabuleiro.
- **Aplicação digital:** software executado em computador que apresenta a narrativa do jogo, fornece instruções ao jogador e processa os eventos recebidos do hardware.

Tabela 1: Comparação entre sistemas educativos de lateralidade

Sistema	Modalidade	Idade	Tipo de Feedback	Referencial	Limitação principal
Nova Escola [3]	Digital	6–8	Visual	Egocêntrico	Sem dados empíricos
Robot Turtles [32]	Tangível	4–8	Visual	Egocêntrico	Sem registro automático
MapTile [31]	Tangível	7–9	Visual	Egocêntrico	Custo médio
Mixed-Reality Game [21]	Físico-digital	8–10	Visual e tátil	Alocêntrico	Equipamento caro
TangiMap [20]	Físico-digital	6–9	Visual e tátil	Alocêntrico	Setup complexo



Figura 1: Tabuleiro físico do jogo (à esquerda) e interface digital executada no computador (à direita)



Figura 2: Exemplo de imagens utilizadas na composição dos módulos da cidade

A Figura 1 apresenta uma visão do tabuleiro físico e da interface digital do jogo.

O tabuleiro representa uma pequena cidade composta por módulos interligados. Cada módulo contém trilhos pelos quais o veículo pode se deslocar, permitindo a construção de diferentes trajetos no ambiente do jogo. A Figura 2 apresenta exemplos de imagens utilizadas na composição desses módulos.

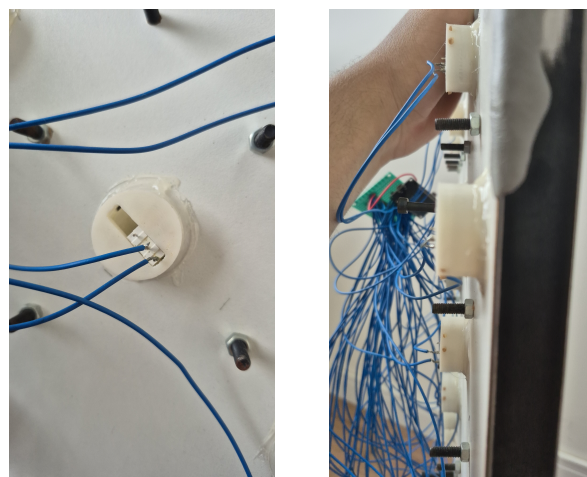


Figura 3: Instalação de sensores: vista de um sensor (à esquerda) e conjunto de sensores conectados (à direita)

4.2 Arquitetura de Hardware

O tabuleiro físico possui uma base de MDF de aproximadamente 50×80 cm, sobre a qual são posicionados módulos impressos em 3D que formam o trajeto do veículo. Ao longo desses trilhos são instalados sensores do tipo fim de curso, responsáveis por detectar a passagem do carro em pontos específicos do percurso.

Quando o veículo atravessa um desses pontos, o sensor correspondente é acionado e gera um sinal elétrico capturado pelo microcontrolador ESP32. O microcontrolador processa esse evento e o envia para o computador por meio de comunicação serial.

A Figura 3 apresenta a parte inferior do tabuleiro, destacando a instalação dos sensores e a estrutura de conexão.

A Figura 4 apresenta detalhes adicionais do sistema físico, incluindo o trilho percorrido pelo carro, o encaixe dos módulos e o posicionamento dos sensores responsáveis pela detecção de movimento.

4.3 Interação e Fluxo de Funcionamento

Durante a execução do jogo, o jogador recebe instruções na interface digital indicando para qual local da cidade deve se deslocar. Essas instruções podem envolver direções relativas (por exemplo, virar à direita ou à esquerda) ou direções absolutas baseadas nos pontos cardeais.

Ao movimentar o carro no tabuleiro físico, os sensores detectam os pontos atravessados e enviam as coordenadas correspondentes

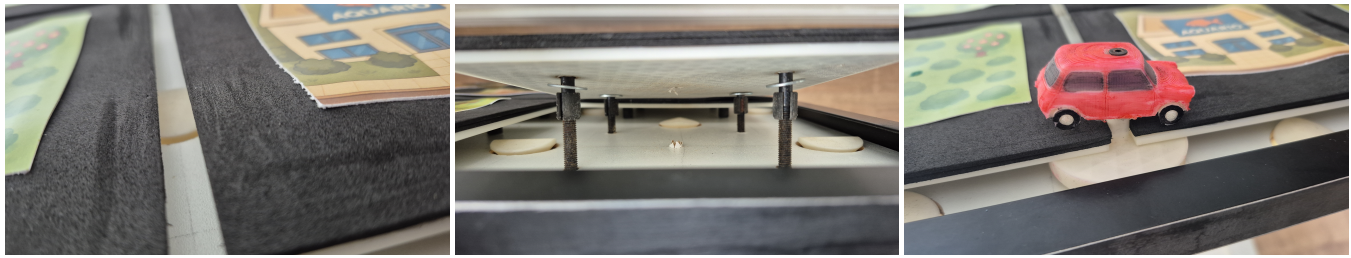


Figura 4: Detalhes do tabuleiro físico: trilho e sensor; estrutura de encaixe dos módulos; carro inserido no trilho



Figura 5: Personagens do jogo associados a locais da cidade

para a aplicação digital. O sistema então verifica se o movimento realizado corresponde à instrução fornecida na fase atual.

Caso o movimento esteja correto, o jogo avança para a próxima etapa da narrativa. Caso contrário, o sistema fornece feedback ao jogador, permitindo que ele tente novamente.

4.4 Mecânica do Jogo

O jogo é estruturado em fases que representam pequenas missões dentro da cidade. Em cada fase, o jogador recebe uma sequência de instruções que deve ser executada movendo o carro pelo tabuleiro.

Um exemplo de sequência de instruções é:

- Vá para a ponte, seguindo para oeste;
- Dobre à direita até a praça;
- Siga para o norte até o hospital.

Durante o jogo, personagens virtuais auxiliam o jogador na execução das tarefas. Cada personagem está associado a um local específico da cidade e fornece instruções relacionadas à narrativa do jogo. A Figura 5 apresenta dois desses personagens.

De maneira geral, o sistema é composto pelos seguintes elementos:

- (1) **Sensores:** sensores do tipo fim de curso instalados ao longo dos trilhos.
- (2) **Tabuleiro:** base de MDF com módulos impressos em 3D.
- (3) **Veículo:** carro produzido por impressão 3D que se desloca pelos trilhos.
- (4) **Controle:** microcontrolador ESP32 responsável pela leitura dos sensores.
- (5) **Interface:** aplicação digital executada em computador.
- (6) **Narrativa:** conjunto de missões armazenadas em arquivos CSV contendo os comandos da fase.

5 FUNCIONAMENTO TÉCNICO

Esta seção descreve o fluxo interno de funcionamento do sistema, desde a leitura dos sensores no tabuleiro físico até a validação dos movimentos na aplicação digital. O objetivo é apresentar como o hardware coleta eventos, como o microcontrolador os processa e de que forma o software interpreta esses dados para conduzir a narrativa do jogo.

O funcionamento do sistema pode ser dividido em duas etapas principais: (i) aquisição de eventos físicos provenientes do tabuleiro sensorizado; e (ii) interpretação desses eventos pela aplicação digital responsável pela execução da lógica do jogo.

5.1 Aquisição de Sinais dos Sensores

O tabuleiro possui sensores distribuídos ao longo dos trilhos para detectar a passagem do carro. Cada ativação gera uma leitura analógica capturada pelo ESP32. Para reduzir ruídos e evitar transmissões redundantes, o microcontrolador realiza uma varredura sequencial nos sensores, identifica o sinal de maior intensidade (v_{\max}) e transmite apenas eventos acima de um limiar V_{limiar} .

Nesse contexto, N representa o número total de sensores conectados ao sistema. Cada sensor corresponde a uma entrada analógica do microcontrolador, identificada como A_i .

A estratégia empregada reduz o tráfego na comunicação serial (*debounce* digital) e elimina oscilações de contato, pois apenas o sensor dominante e significativo é reportado. O Algoritmo 1 descreve o procedimento adotado.

Algoritmo 1 Varredura e transmissão de eventos de sensor

Require: Conjunto de entradas $\{A_1, \dots, A_N\}$, limiar V_{limiar}

```

1: Inicializar comunicação serial a 115 200 baud
2: while verdadeiro do
3:    $v_{\max} \leftarrow 0$ ;  $i_{\max} \leftarrow -1$ 
4:   for  $i \leftarrow 1$  to  $N$  do
5:      $v \leftarrow \text{ANALOGREAD}(A_i)$ 
6:     if  $v > v_{\max}$  then
7:        $v_{\max} \leftarrow v$ ;  $i_{\max} \leftarrow i$ 
8:     end if
9:   end for
10:  if  $v_{\max} > V_{\text{limiar}}$  and  $i_{\max} \neq -1$  then
11:     $\text{TRANSMITIR}(S\#i_{\max} : v_{\max})$ 
12:  end if
13:   $\text{SLEEP}(300 \text{ ms})$ 
14: end while

```

A função *AnalogRead* (linha 5) representa a leitura do valor analógico presente em um dos pinos de entrada do microcontrolador. Essa função retorna um valor proporcional à tensão detectada no sensor conectado ao canal A_i . No caso do ESP32, essa leitura é obtida por meio do conversor analógico-digital (ADC) do microcontrolador, que converte o sinal elétrico proveniente do sensor em um valor numérico discreto. Esse valor é então utilizado pelo algoritmo para identificar qual sensor apresenta a maior intensidade de sinal, permitindo determinar a posição mais provável do veículo no tabuleiro.

Na Linha 11 do Algoritmo 1, a função *Transmitir* envia pela interface serial a identificação do sensor ativado (i_{\max}) e o valor da leitura analógica (v_{\max}). A mensagem segue o formato `S#id:valor`, permitindo que a aplicação digital identifique qual sensor foi acionado e utilize essa informação para atualizar o estado do jogo.

5.2 Processamento na Interface Digital

Ao receber um evento do microcontrolador, a aplicação verifica se o sensor corresponde ao próximo ponto esperado do percurso da fase. A validação ocorre por meio da comparação entre o identificador recebido e a sequência planejada da narrativa.

O caminho da fase é representado pelo vetor ordenado $\mathcal{P} = \langle p_1, \dots, p_k \rangle$, no qual cada elemento representa um sensor esperado no percurso correto. Nesse contexto, k representa o número total de etapas ou pontos do trajeto que o jogador deve percorrer para completar a fase. Caso o movimento esteja correto, a interface avança para a próxima instrução da fase. Caso contrário, um erro é registrado e o jogador recebe feedback imediato. O procedimento é descrito no Algoritmo 2.

Algoritmo 2 Validação de comandos na interface

Require: Caminho $\mathcal{P} = \langle p_1, \dots, p_k \rangle$, grafo M

```

1:  $i \leftarrow 1$ 
2: while  $i \leq k$  do
3:    $c \leftarrow \text{RECEBER}(\text{sensor\_atual})$ 
4:   if  $c = p_i$  then
5:     FEEDBACKACERTO
6:      $i \leftarrow i + 1$ 
7:   else if  $c \in \text{ADJACENTESERRADAS}(p_i, M)$  then
8:     FEEDBACKERRO
9:   end if
10: end while
11: MOSTRAR("Fase concluída")
```

No Algoritmo 2, a função *Receber* representa a leitura de um evento proveniente da interface serial, correspondente à ativação de um sensor no tabuleiro físico. Essa função extrai da mensagem recebida o identificador do sensor ativado e o associa ao ponto atual do percurso do jogador, representado pela variável *sensor_atual*. Dessa forma, cada chamada da função corresponde à detecção de um novo movimento do veículo no tabuleiro.

Já a função *AdjacentesErradas* retorna o conjunto de sensores adjacentes ao ponto esperado p_i no grafo do mapa M que não fazem parte do caminho correto da fase. Essa verificação permite identificar movimentos incorretos do jogador que ainda são espacialmente possíveis no tabuleiro, como seguir por uma rua diferente



Figura 6: Testes do jogo

da indicada na instrução. Caso o sensor recebido pertença a esse conjunto, o sistema registra um erro e fornece feedback ao jogador, sem avançar para a próxima etapa da fase.

5.3 Resultados

O estudo piloto foi conduzido em ambiente controlado com estudantes universitários, com o objetivo de avaliar a usabilidade geral do protótipo, identificar dificuldades iniciais de uso e levantar pontos de melhoria. Ao longo das sessões, foram coletadas métricas relativas ao tempo médio de jogo, à frequência e à localização dos erros, além de relatos qualitativos sobre a experiência. Os testes foram realizados seguindo as seguintes etapas:

- Explicação das regras do jogo ao participante;
- Monitoramento da partida, evitando interferências;
- Coleta de dados como o tempo necessário para concluir a atividade, se o participante chegou ao final da história, quantas vezes errou e em quais pontos ocorreram os erros;
- Coleta de opiniões dos participantes sobre a experiência de uso do jogo e possíveis melhorias.

Os resultados indicaram um nível adequado de engajamento, com tempo médio de interação próximo ao previsto e manutenção da atenção dos participantes ao longo das fases. Verificou-se que a maior parte dos erros concentrou-se nas instruções relacionadas à lateralidade utilizando o carro como referencial de orientação, enquanto não foram observadas dificuldades significativas nas etapas que exigiam seguir pontos cardeais. Esses achados sugerem que a transição entre referenciais egocêntrico e aloccêntrico permanece um desafio central para os usuários.

Do ponto de vista técnico, o hardware demonstrou funcionamento estável, embora tenham sido observados ocasionais travamentos de sensores e pequenas dificuldades de movimentação do carro em trechos específicos do tabuleiro. No software, foram registrados casos isolados de interrupção prematura da aplicação e falhas na sincronização de diálogos narrativos. A Figura 6 registra o uso do jogo por dois participantes.

Em conjunto, os resultados confirmam a viabilidade do protótipo e evidenciam pontos críticos a serem aprimorados antes da experimentação com o público-alvo, especialmente no que se refere à clareza das instruções e à robustez física dos módulos.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o *Vrum! A Jornada*, um jogo físico-digital que integra um tabuleiro sensorizado, uma unidade de controle de

baixo custo e uma narrativa gamificada para apoiar o ensino de lateralidade e pontos cardeais a crianças de 6 a 8 anos.

Os resultados do estudo piloto, conduzido em ambiente controlado e ainda não aplicado ao público-alvo, indicam que o protótipo é funcional e mantém o engajamento dos participantes ao longo da atividade. Observou-se que os erros se concentraram na compreensão da lateralidade a partir da perspectiva do carro, enquanto as tarefas baseadas em pontos cardeais apresentaram maior taxa de acerto. Esses achados reforçam o potencial da abordagem para apoiar a transição entre referenciais espaciais e evidenciam oportunidades de aprimoramento na experiência pedagógica.

Apesar dos avanços, o estudo apresenta algumas limitações: (i) amostra reduzida e restrita a uma única instituição; (ii) tempo de interação insuficiente para avaliar a aprendizagem de longo prazo; e (iii) narrativas estáticas que não se ajustam ao desempenho individual dos jogadores. Estudos futuros devem incluir grupos de controle, diferentes faixas etárias e métricas cognitivas mais robustas, além de investigar algoritmos de adaptação de dificuldade e a integração do jogo com plataformas de avaliação formativa on-line.

Em síntese, o protótipo demonstra que é possível conceber uma solução físico-digital acessível e multissensorial para apoiar o desenvolvimento de habilidades de orientação espacial. Os resultados apontam caminhos promissores tanto para pesquisas futuras quanto para aplicações educacionais em contextos escolares.

REFERÊNCIAS

- [1] Ana Lúcia Goulart Ferreira. *Psicomotricidade e desenvolvimento infantil*. Cortez, São Paulo, 7 edição, 2010.
- [2] C. C. Teixeira and A. C. Castrogiovanni. Orientação e lateralidade: uma proposta à luz da epistemologia genética. In *Encontro de Práticas de Ensino de Geografia da Região Sul*, 2014.
- [3] Nova Escola. Lateralidade e esquema corporal. Disponível em <https://novaescola.org.br/planos-de-aula/fundamental/1ano/geografia/lateralidade-e-esquema-corporal/4991>, 2025.
- [4] Tizuko Morchida Kishimoto. *Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação*. Pioneira, 1996.
- [5] Karl M. Kapp. *The Gamification of Learning and Instruction*. Pfeiffer, 2012.
- [6] Tien-Chi Huang and Chun-Yu Lin. From 3d modeling to 3d printing: Development of a differentiated spatial ability teaching model. *Telematics Informatics*, 34:604–613, 2017. doi: 10.1016/j.tele.2016.10.005.
- [7] Antonio-José Moreno-Guerrero, Santiago Alonso García, Magdalena Ramos Navas-Parejo, M. Campos-Soto, and G. Gómez García. Augmented reality as a resource for improving learning in the physical education classroom. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 2020. doi: 10.3390/ijerph17103637.
- [8] R. Johar, C. M. Zubainur, C. Khairunnisak, E. Elizar, Suhartati, and M. Syukri. The teachers ability and response concerning spatial orientation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1460, 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1460/1/012013.
- [9] José Armando Valente. *Tecnologia Educacional: novas práticas de ensinar e aprender*. Unicamp/NIED, Campinas, 2002.
- [10] Nazlee Sharmin, Ava K. Chow, and S. King. Effect of teaching tools in spatial understanding in health science education: a systematic review. *Canadian Medical Education Journal*, 14:70 – 88, 2023. doi: 10.36834/cmej.74978.
- [11] Yusuf Koç and K. Koç. Kindergarten teachers' experiences in a spatial orientation skills professional development program. *SAGE Open*, 13, 2023. doi: 10.1177/21582440231180668.
- [12] Ergi Bufasi, Ildze Čakāne, Karlis Greitāns, Inese Dudareva, and D. Namsone. Lesson study as a professional development model for teaching spatial ability in primary stem. *Education Sciences*, 2024. doi: 10.3390/educsci14050512.
- [13] Nathalie Barz, Manuela Benick, Laura Dörrenbächer-Ulrich, and F. Perels. The effect of digital game-based learning interventions on cognitive, metacognitive, and affective-motivational learning outcomes in school: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 94:193 – 227, 2023. doi: 10.3102/00346543231167795.
- [14] Mahmood H. Hussein, S. H. Ow, Loh Sau Cheong, M. Thong, and Nader ale Ebrahim. Effects of digital game-based learning on elementary science learning: A systematic review. *IEEE Access*, 7:62465–62478, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2916324.
- [15] Juho Hamari, Jonna Koivisto, and Harri Sarsa. Does gamification work? a literature review of empirical studies on gamification. In *Hawaii International Conference on System Sciences*, pages 3025–3034, 2014.
- [16] Anis ben Chikha, Aymen Hawani, and Ghazwa Ben Maouia. Effects of orientating game on directional relationships and inhibitory control in children 7-8 aged. *Journal of Sports Research*, 2021. doi: 10.18488/journal.90.2021.82.64.74.
- [17] R. Hebecker and Kolja Bopp. Live learning games: Insights from the application of a collaborative hybrid game environment for staff training. *Interaction Design and Architecture(s)*, 2023. doi: 10.55612/s-5002-056-001.
- [18] S. Arnab. Game science in hybrid learning spaces. *Game Science in Hybrid Learning Spaces*, 2020. doi: 10.4324/9781315295053-5.
- [19] O. Miglino, A. Ferdinando, R. D. Fuccio, Angelo Rega, and C. Ricci. Bridging digital and physical educational games using rfid/nfc technologies. *Journal of e-learning and knowledge society*, 10, 2014. doi: 10.20368/1971-8829/959.
- [20] Caroline Hummels and Joep Frens. Designing tangible interaction: From incident to insight. In *Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '11)*, pages 137–144, 2011.
- [21] Sara Price and Yvonne Rogers. Mixed reality games for learning: A framework and practice guide. *Educational Technology & Society*, 16(2):136–150, 2013.
- [22] MicroPython. Esp32: Tutorial – introduction. <https://docs.micropython.org/en/latest/esp32/tutorial>, 2025.
- [23] Sylvester Arnab. *Game Science in Hybrid Learning Spaces*. Routledge, 2020.
- [24] O. Miglino, A. Ferdinando, R. D. Fuccio, Angelo Rega, and C. Ricci. Bridging digital and physical educational games using rfid/nfc technologies. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 10, 2014.
- [25] Antonio-José Moreno-Guerrero et al. Augmented reality as a resource for improving learning in the physical education classroom. *IJERPH*, 17, 2020.
- [26] Alice Krestanova, M. Cerný, and M. Augustynek. Review: Development and technical design of tangible user interfaces in wide-field areas of application. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21, 2021. doi: 10.3390/s21134258.
- [27] Anis ben Chikha, Aymen Hawani, and Ghazwa Ben Maouia. Effects of orientating game on directional relationships and inhibitory control in children 7-8 aged. *Journal of Sports Research*, 2021.
- [28] Nathalie Barz, Manuela Benick, Laura Dörrenbächer-Ulrich, and F. Perels. The effect of digital game-based learning interventions on cognitive, metacognitive, and affective-motivational learning outcomes in school. *Review of Educational Research*, 94:193–227, 2023.
- [29] R. Johar, C. M. Zubainur, C. Khairunnisak, E. Elizar, et al. The teachers ability and response concerning spatial orientation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1460, 2020.
- [30] Nazlee Sharmin, Ava K. Chow, and S. King. Effect of teaching tools in spatial understanding in health science education: a systematic review. *Canadian Medical Education Journal*, 14:70–88, 2023.
- [31] Marcos A. Garcia and Clara M. Hernandez. Maptile: Rfid-enhanced board game for teaching map navigation. *Journal of Tangible Interaction in Education*, 7(2): 88–104, 2021. URL <https://doi.org/10.5555/maptile2021>.
- [32] Dan Shapiro. Robot turtles board game (educational edition). Board game, ThinkFun, 2016. Versão educacional destinada ao ensino de conceitos básicos de programação e orientação espacial.