

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL · UNIFOR · 23 DE ABRIL DE 2026

Educational Middleware Architecture for Explainable Feedback in Braille Learning: Interaction Logs and Large Language Models (LLMs)

Por Carlos Wagner Costa Vieira e João Batista Furlan Duarte

Fonte: OpenAlex · Unifor · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO

7/10

APLICABILIDADE

8/10

POTENCIAL
ECONÔMICO

6/10

MATURIDADE

Baixa

Arquitetura de middleware que combina captura de logs de interação de dispositivos Braille com LLMs para gerar feedback pedagógico explicável e análise do processo de aprendizagem, indo além da simples verificação de erros.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Plataforma SaaS B2B focada em 'Learning Analytics para Deficiência Visual'. A solução integra-se a displays Braille existentes para fornecer dashboards de progresso e sugestões pedagógicas automáticas geradas por IA para escolas e clínicas de reabilitação.

Aplicações práticas

Ferramenta de suporte para professores de AEE (Atendimento Educacional Especializado) para identificar padrões de dificuldade dos alunos; personalização do currículo com base em dados táteis; treinamento de novos professores baseado em casos reais de interação.

Potencial de mercado

Alto potencial no nicho de EdTech Inclusiva. Existe uma demanda reprimida por ferramentas que qualifiquem o ensino de Braille e reduzam a alta taxa de abandono no aprendizado do sistema leitura por deficientes visuais.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

Tecnologias assistivas atuais focam apenas na validação final (correção), ignorando dados comportamentais do processo de aprendizado (hesitação, tempo) que são cruciais para a intervenção pedagógica personalizada no ensino de Braille.

Metodologia

Desenvolvimento de middleware que trata o dispositivo Braille como sensor, captura dados comportamentais, computa indicadores pedagógicos e utiliza um LLM para gerar interpretações para professores. Avaliação técnica preliminar em bancada (bench testing), com aprovação ética pendente para testes com humanos.

Principais descobertas

Viabilidade técnica da separação entre análise determinística (middleware) e interpretação probabilística (LLM). O sistema permite rastreabilidade e transparência (XAI), transformando dados brutos de interação em insights pedagógicos acionáveis.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Implementação em redes municipais e estaduais de ensino para fortalecer o Atendimento Educacional Especializado (AEE), permitindo alocação mais eficiente de recursos e monitoramento objetivo da eficácia do ensino inclusivo.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Parceria com fabricantes de display Braille e regletes eletrônicas para incorporar a camada de software da UNIFOR como diferencial competitivo de hardware (valor agregado via dados e analytics).

OPORTUNIDADES DERIVADAS

3 direções estratégicas identificadas

STARTUP · IMPACTO ALTO · EDTECH

EdTech de Analytics Inclusivo

Criação de uma spin-off para comercializar a plataforma de análise de dados Braille como serviço para instituições de ensino especializado.

PARCERIA · IMPACTO MÉDIO · SOFTWARE

Integração com Ecosystem Assistivo

Colaboração com empresas de hardware assistivo para pré-instalar o middleware em novos dispositivos Braille.

Qualificação do AEE Público

Adoção da tecnologia pela Secretaria de Educação do Ceará para modernizar as salas de recursos multifuncionais.

ABSTRACT ORIGINAL

This manuscript presents a preprint of an educational middleware architecture for Braille learning based on interaction log capture and explainable feedback generation using large language models (LLMs). The proposed approach addresses a gap in assistive and educational technologies by focusing on the analysis of the learning process rather than only correctness evaluation. The system treats a bidirectional Braille device as a sensor of the learning process, enabling non-intrusive capture of behavioral data such as time per cell, hesitation, and interaction patterns. A middleware layer structures interaction events, computes pedagogical indicators, and provides them as input to a large language model responsible for generating interpretive feedback for teachers. The architecture explicitly separates deterministic analysis from LLM-based interpretation, ensuring transparency, traceability, and alignment with principles of Explainable Artificial Intelligence (XAI). The current results correspond to preliminary technical evaluation and bench testing in controlled conditions, without the collection of data from human participants. A user-based evaluation involving visually impaired students and teachers has been submitted to a Research Ethics Committee (CEP) and will be conducted after approval. This preprint contributes to the integration of assistive technology, learning analytics, and explainable AI in Braille education.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: Arquitetura Inteligente para o Ensino de Braille

O cenário atual

As tecnologias assistivas e educacionais atuais para o aprendizado de Braille geralmente se concentram apenas em avaliar se o aluno acertou ou errou a resposta. O paper não detalha o mercado atual, mas aponta que existe uma lacuna: a falta de foco na análise do processo de aprendizagem em si, em vez de apenas no resultado final.

O que os pesquisadores fizeram

Os pesquisadores desenvolveram uma arquitetura de software, chamada de "middleware" educacional, para preencher essa lacuna. O objetivo foi criar um sistema que captura registros de interação do aluno e usa modelos de linguagem grandes (LLMs, a tecnologia por trás de IAs como o ChatGPT) para gerar feedbacks explicáveis para os professores.

Como funciona na prática

O sistema trata um dispositivo de Braille bidirecional como um sensor do processo de aprendizagem. Ele captura dados comportamentais de forma não invasiva, como o tempo gasto em cada célula, a hesitação do aluno e os padrões de interação.

Esses dados passam por uma camada de middleware, que organiza os eventos e calcula indicadores pedagógicos. Essas informações processadas são enviadas para uma Inteligência Artificial (LLM). A função da IA é interpretar esses dados e gerar explicações claras para os professores sobre como o aluno está aprendendo. A arquitetura separa a análise determinística (os dados brutos) da interpretação pela IA, garantindo transparência.

Resultados e evidência

Os resultados apresentados no paper correspondem a uma avaliação técnica preliminar e testes de bancada em condições controladas. O paper não detalha números específicos de performance, mas confirma que a arquitetura técnica proposta funciona conforme o planejado.

Implicações práticas

Esta tecnologia pode ajudar professores a entenderem melhor as dificuldades específicas dos alunos durante o processo de aprendizado do Braille, indo além do simples "certo ou errado". O alinhamento com os princípios de Inteligência Artificial Explicável (XAI) garante que os professores possam confiar e entender as sugestões do sistema. A proposta une tecnologia assistiva, análise de aprendizagem e IA.

Limitações e próximos passos

O estudo é um pré-print (versão preliminar) e, até o momento, não coletou dados de participantes humanos. A avaliação com usuários envolvendo alunos com deficiência visual e professores foi enviada para um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). Esses testes práticos só serão realizados após a aprovação ética.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

O estudo foi conduzido por Carlos Wagner Costa Vieira e João Batista Furlan Duarte, ambos afiliados à UNIFOR (Universidade de Fortaleza). O paper não detalha a formação acadêmica específica, outras afiliações, trajetória profissional ou papéis anteriores dos autores além do desenvolvimento desta arquitetura de middleware.

PALAVRAS-CHAVE

Correctness · Braille · Middleware (distributed applications) · Process (computing) · Architecture · Preprint · Data collection