

TEA HelpBot – Avaliação de um Assistente Pedagógico Conversacional no Ensino de Matemática para Estudantes Autistas das Séries Finais do Ensino Fundamental

Delma A. S. Barboza, Programa de Pós-Graduação em Informática – Universidade Federal Espírito Santo, delma.santos@ufes.com.br, <<https://orcid.org/0009-0003-7268-9513>>

Lucia Catabriga, Programa de Pós-Graduação em Informática – Universidade Federal Espírito Santo, luciac@inf.ufes.br, <<https://orcid.org/0000-0001-8763-5188>>

Davidson Cury, Programa de Pós-Graduação em Informática – Universidade Federal Espírito Santo, dedecury@gmail.com, <<https://orcid.org/0000-0003-3575-6417>>

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento, implementação e avaliação do TEA HelpBot, um assistente pedagógico conversacional integrado ao Ambiente Virtual de Aprendizagem Moodle, projetado para auxiliar estudantes autistas na aprendizagem de matemática das séries finais do Ensino Fundamental. O assistente utiliza inteligência artificial para fornecer suporte individualizado, evitando fornecer respostas diretas. O estudo apresenta uma contextualização dos desafios educacionais enfrentados por estudantes com TEA e destaca a importância de tecnologias inclusivas no ensino. A metodologia inclui critérios de acessibilidade, uso de Inteligência Artificial com ajustes personalizados e testes com 13 estudantes autistas. O estudo também avaliou a precisão das respostas e sua eficácia nos diálogos. Resultados apontam que o TEA HelpBot melhorou o engajamento, aumentando a taxa de respostas corretas e reduzindo perguntas sem resposta. Eles também indicam que, mesmo em fase inicial, o potencial da ferramenta para promover a inclusão educacional e sugerem aprimoramentos futuros para expandir sua aplicação a outras disciplinas e contextos.

Palavras-chave: Assistente Pedagógico Conversacional, TEA, Inteligência Artificial, Educação Matemática, Ambiente Virtual de Aprendizagem.

TEA HelpBot – Evaluation of a Conversational Pedagogical Assistant in Teaching Mathematics to Autistic Students in the Middle School

Abstract: This article presents the development, implementation and evaluation of TEA HelpBot, a conversational pedagogical assistant integrated into the Moodle Virtual Learning Environment, designed to assist autistic students in learning mathematics in the Middle School. The assistant uses artificial intelligence to provide individualized support, avoiding providing direct answers. The study presents a contextualization of the educational challenges faced by students with ASD and highlights the importance of inclusive technologies in teaching. The methodology includes accessibility criteria, Artificial Intelligence training with personalized adjustments and tests with 13 autistic students. The study also evaluated the accuracy of responses and their effectiveness in dialogues. Results show that the TEA HelpBot improved engagement, increasing the rate of correct answers and reducing unanswered questions. The results indicate that, even in its initial phase, the potential of the tool to promote educational inclusion and suggest future improvements to expand its application to other disciplines and contexts.

Keywords: Conversational Pedagogical Assistant, ASD, Artificial Intelligence, Mathematics Education, Virtual Learning Environment.

1. Introdução

As tecnologias digitais estão cada vez mais presentes no ensino de matemática (Nascimento *et al.*, 2020) e o seu uso também pode favorecer a aprendizagem dos estudantes autistas quando adaptadas. Para apoiar o desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem de alunos com Transtorno do Espectro Autista (TEA), os professores podem contar uma variedade de estratégias, ferramentas, instrumentos pedagógicos e tecnologias.

O uso de tecnologias, que podem facilitar o processo de aprendizagem, especialmente para aqueles com deficiências. Quando utilizados de forma adequada, os recursos tecnológicos ajudam a potencializar as habilidades e melhorar o desempenho escolar dos estudantes com TEA (Carvalho, 2020). A Inteligência Artificial (IA) tem se destacado na educação por oferecer rapidez, praticidade e ferramentas que facilitam atividades cotidianas. Desempenhando um papel transformador, especialmente no contexto de estudantes autistas, que necessitam de estratégias específicas para o desenvolvimento do seu processo de ensino e aprendizagem, considerando suas características (Silva *et al.*, 2024).

A personalização do ensino é um dos principais benefícios da IA na educação (Silveira e Júnior, 2019). Ela pode monitorar o desempenho dos estudantes, identificar pontos fortes e fracos e fornecer *feedbacks* personalizados, além de desenvolver *chatbots* que respondem às dúvidas dos estudantes (Dores *et al.*, 2020).

Vanzeler *et al.* (2022) destaca a importância da adaptabilidade dos sistemas às necessidades dos usuários. A necessidade de interfaces de usuários mais adaptáveis e personalizáveis também é destacada por Melo *et al.* (2020). Desta forma, a utilização de tecnologia na educação, especialmente o uso de um assistente pedagógico conversacional (APC), pode oferecer suporte personalizado e constante, promovendo a independência e o engajamento dos estudantes.

Observa-se que APCs, são vastamente utilizados para fins comerciais, mas ainda não têm sido amplamente explorados no contexto educacional. Eles são também titulados geralmente por *chatbots*, *chatterbots* ou *bots*. Um APC é caracterizado por um personagem, ou avatar, disponível na tela, tornando a interação mais atrativa e aumentando a proximidade com seus usuários (Júnior *et al.*, 2017; Procter; Lin e Heller, 2018). Sendo criados para dialogar com os aprendizes por meio de uma linguagem o mais natural possível, eles proveem um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) de uma melhor acessibilidade e de um melhor diálogo com os seus usuários.

Com sua presença nos AVAs é possível ainda verificar outros benefícios, tais como aprendizado personalizado além da capacidade de oferecer respostas imediatas às perguntas dos aprendizes (Bartelle e Medeiros, 2024). E, talvez, o mais importante, seja sua capacidade de permitir um diálogo de mão dupla, ou seja, um estudante pode também formular perguntas ou mesmo dar sugestões ao APC.

A empresa OpenAI lançou no final de 2022, o *ChatGPT* que é um *chatbot on-line*, que utiliza inteligência artificial, fornecendo aos usuários respostas imediatas (OpenAI, 2024). Para atuar como um assistente pedagógico construtivista, ele precisa ser devidamente treinado, como será mostrado no decorrer deste artigo.

Este artigo propõe o desenvolvimento e avaliação da eficiência de um assistente pedagógico conversacional como recurso pedagógico para estudantes autistas usando inteligência artificial com o auxílio do *ChatGPT*, para o ensino de matemática a estudantes de séries finais do Ensino Fundamental, adotando uma abordagem de questionamentos ao aprendiz, de forma a ajudá-lo a lembrar do que foi aprendido anteriormente. Com base nos desafios enfrentados por estudantes autistas no aprendizado de matemática e na necessidade de tecnologias inclusivas, o presente estudo busca responder à seguinte pergunta: Como a utilização do TEA HelpBot, integrado ao Moodle, pode melhorar o engajamento e o desempenho de estudantes autistas no aprendizado de matemática nas séries finais do Ensino Fundamental?

Para avaliar a eficácia do TEA HelpBot, foram analisadas variáveis de entrada, como o número de interações e a adequação das respostas geradas pelo assistente, e variáveis de saída, incluindo o desempenho acadêmico (respostas corretas, erradas e não respondidas) e o engajamento dos estudantes. Essa abordagem permitiu identificar como o uso do assistente

pedagógico integrado ao Moodle impacta a aprendizagem de matemática para estudantes autistas.

O restante deste artigo está estruturado como descrito a seguir. Na Seção 2, é apresentada a metodologia de desenvolvimento do assistente; a Seção 3 demonstra o desenvolvimento do assistente; a Seção 4 apresenta a avaliação e os resultados; por fim, na Seção 5, são apresentadas as conclusões.

2. Metodologia de Desenvolvimento do Assistente TEA HelpBot

A metodologia escolhida para o desenvolvimento deste trabalho iniciou-se com o Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), conforme proposto por Petersen *et al.* (2008), com o objetivo de analisar as abordagens sobre guias de recomendações e critérios de acessibilidade para o desenvolvimento de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) ou ambientes *web* acessíveis para autistas. Os resultados desta fase foram propostos e publicados em Barboza, Catabriga e Cury (2024). A partir desse levantamento, o desenvolvimento do APC envolveu as seguintes etapas:

- **Crítérios de Acessibilidade:** Instruções personalizadas, baseadas em critérios de acessibilidade para textos para pessoas com autismo, foram incorporadas ao assistente do *ChatGPT* com o objetivos de orientar as interações do APC. Essas instruções foram extraídas do estudo Barboza, Catabriga e Cury (2024), garantindo que o conteúdo gerado fosse acessível e compreensível para os estudantes que possuem TEA.
- **Criação de *Dataset* (Conjunto de Dados):** O APC foi inicialmente treinado com um conjunto de dados criado especialmente para atender às necessidades de estudantes autistas na aprendizagem de matemática, incluindo exemplos adaptados de problemas matemáticos.
- **Ajuste Fino (*Fine-Tuning*):** Após o treinamento inicial, o modelo passou por um processo de ajuste fino. O ajuste fino é essencial para melhorar a precisão e a relevância das interações do APC, personalizando as respostas para se adequarem ao tom, estrutura ou instruções específicas do domínio (OpenAI, 2024). Este processo refinou os parâmetros do modelo, garantindo que as respostas fossem corretas, pedagogicamente adequadas e adaptadas às necessidades dos estudantes autistas.
- **Conferência Manual:** Para assegurar a qualidade e eficácia das interações do APC, foi realizada uma revisão manual das respostas geradas durante os testes iniciais.
- **Engenharia de *Prompt*:** Também foi empregada a engenharia de *prompt*. A engenharia de *prompt* é fundamental para garantir que o APC possa ajustar a dificuldade dos problemas e fornecer suporte individualizado conforme a resposta de cada estudante (OpenAI, 2024). Isso envolveu a criação de *prompts* específicos e personalizados que orientam o comportamento do APC nas interações com os estudantes.

A arquitetura do APC segue o diagrama padrão do *Assistants API* da OpenAI, conforme descrito na documentação oficial disponível em (<https://platform.openai.com/docs/assistants/overview>) e ilustrado na Figura 1. O assistente interage com os estudantes fornecendo *feedback* personalizado com base nas perguntas e soluções apresentadas. Ele interpreta as entradas dos estudantes, isto é, suas dúvidas em formato de texto, analisa as perguntas e processa as respostas de forma a oferecer orientações claras e eficazes. O APC é ajustado para compreender e responder às entradas dos estudantes, utilizando sua base do conhecimento para fornecer *feedbacks* de forma clara, calma e sem ambiguidades. As respostas são adaptadas às ações do aprendiz, sob dois aspectos: textual, garantindo uma comunicação acessível e adequada ao estudante autista, e lógico, assegurando que o *feedback* seja coerente com a natureza do problema apresentado.

Adotam-se os princípios desenhados por Yin (2005) no contexto dos estudos de caso.

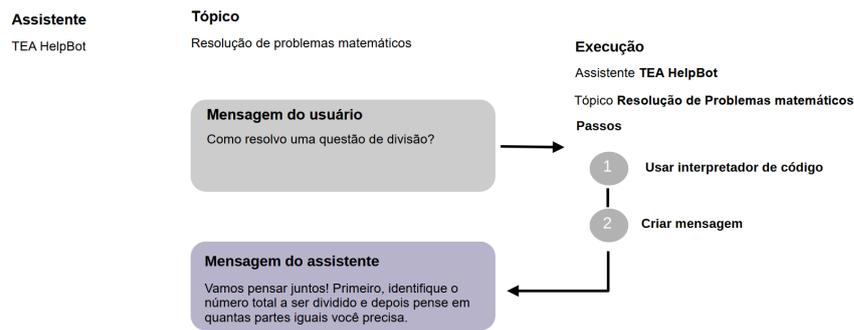


Figura 1. Arquitetura do assistente – Adaptado de (OpenAI, 2024).

Para a análise qualitativa e interpretativa da avaliação do uso do TEA HelpBot por estudantes autistas, realizada por meio da aplicação de questionários, seguem-se as diretrizes propostas por Gil (2010). Conforme demonstrado na Figura 2, as etapas metodológicas e a sequência do processo de desenvolvimento do assistente.



Figura 2. Etapas Metodológicas

3. Desenvolvimento do Assistente TEA HelpBot

O TEA HelpBot foi projetado para promover interações personalizadas com estudantes autistas, criando um ambiente de aprendizado acolhedor e motivador. O assistente utiliza uma abordagem baseada em perguntas guiadas, evitando fornecer respostas diretas, e segue critérios de acessibilidade e recomendações específicas para garantir que o conteúdo seja acessível e compreensível para estudantes com TEA. O principal objetivo do TEA HelpBot é melhorar o desempenho matemático dos estudantes, incentivar a autonomia e aumentar o engajamento no processo de aprendizagem. A fase de identificação das características do TEA HelpBot envolveu o estudo dos principais guias de acessibilidade para ambientes web e AVAs Barboza, Catabriga e Cury (2024). As principais referências do estudo incluíram os guias GAIA (Vanzeler *et al.*, 2022), *AustimGuide* (Aguiar *et al.*, 2022) e COGA (Eraslan *et al.*, 2021), além dos princípios do Desenho Universal (Beda *et al.*, 2022) e o *Design Patterns DP-Aut* (Gomes *et al.*, 2021). Esses estudos forneceram uma base sólida para identificar os principais critérios de acessibilidade que o TEA HelpBot deveria adotar, definindo seu comportamento em relação às instruções e interações.

Com base no estudo de Barboza, Catabriga e Cury (2024), foi possível definir critérios à linguagem textual do TEA HelpBot, garantindo acessibilidade. Esses critérios foram organizados e catalogados para consulta em um repositório disponível em (<https://github.com/delmabarboza/APC.git>). Após essa etapa, os critérios dos guias foram refinados e integrados nas instruções do assistente, eliminando duplicações e unificando-os em um texto único. Adaptações também foram realizadas para garantir uma organização clara e livre de repetições, facilitando a compreensão das instruções em formato sequencial.

Além de seguir os critérios de acessibilidade, as instruções do TEA HelpBot foram

elaboradas utilizando técnicas de *Prompt Engineering*. Isso permitiu a aplicação de estratégias para melhorar as respostas do modelo de linguagem, como a criação de instruções claras, a divisão de tarefas complexas em partes mais simples, e o desenvolvimento de uma persona que o modelo segue em suas respostas. O modelo também foi orientado a especificar as etapas necessárias para completar uma tarefa, utilizar sua própria análise ao gerar respostas, e incluir exemplos para maior clareza.

Após essa etapa de concepção, foi criado um conjunto de dados especializado, focado nas necessidades dos estudantes autistas e nas metas educacionais, especialmente na área de matemática. Esse conjunto de dados foi utilizado no processo de ajuste fino, que garantiu que o modelo estivesse treinado para responder adequadamente dentro do contexto específico do assistente, enquanto também possuía flexibilidade para lidar com questões não abordadas explicitamente durante o treinamento, caso fossem apresentadas pelos estudantes (Fishman, 2024).

Com todas essas fases concluídas, o TEA HelpBot foi testado para assegurar que as interações ocorriam de acordo com os critérios de acessibilidade definidos. Utilizando a API *Assistants* da OpenAI, as instruções baseadas nos guias de acessibilidade foram implementadas e o modelo ajustado foi incorporado ao assistente. O resultado final é um Assistente Pedagógico Conversacional que utiliza inteligência artificial generativa, proporcionando suporte personalizado e acessível a estudantes autistas, cumprindo os requisitos de acessibilidade e otimizando a experiência de aprendizagem.

4. Avaliação e Resultados

Nesta seção, apresentamos os testes realizados com o TEA HelpBot, cujo objetivo foi verificar se suas interações, seguindo as recomendações estabelecidas, poderiam auxiliar estudantes do ensino fundamental em questões de matemática. Na fase inicial, o APC passou por uma série de testes para identificar e corrigir falhas, buscando melhorar a qualidade de suas respostas. Durante os experimentos preliminares, realizados com o modelo GPT-3.5 Turbo foi observado que este apresentava inconsistências em suas respostas. Como relatado por Nunes *et al.* (2023), o GPT-3.5 Turbo ainda não se mostrou totalmente eficiente em questões matemáticas, com desempenho inferior a 82% dos participantes do ENEM 2022, resolvendo corretamente apenas 18% das questões.

Com a introdução do modelo GPT-4o mini, foi possível realizar ajustes mais finos no TEA HelpBot. O GPT-4o mini é um modelo menor, acessível e com desempenhos significativamente superior ao GPT-3.5 Turbo. Ele se destaca em tarefas textuais, mantendo baixo custo e alta velocidade, tornando-o ideal para aplicações de grande volume, como chatbots de suporte ao cliente (OpenAI, 2024). Esses atributos o tornaram uma escolha adequada para melhorar a precisão e a qualidade das respostas do TEA HelpBot.

A preparação dos dados começou com a adaptação das interações no formato de *chat*, estruturadas em perguntas e respostas. Esse processo foi dividido em duas partes: a entrada, que corresponde ao conteúdo que o modelo receberá, e o *prompt*, utilizado como guia para a geração das respostas. Para o pré-treinamento, utilizou-se um subconjunto do conjunto de dados GSM8K, que contém 8,5 mil problemas matemáticos formulados em linguagem de alta qualidade. Esse conjunto foi criado para auxiliar na resolução de questões relacionadas a problemas matemáticos básicos e simples. Foram selecionadas as 40 primeiras questões desse *dataset* (Hugging Face, 2024), que foram traduzidas do inglês para o português e adaptadas ao contexto brasileiro, ajustando unidades de moeda e medidas.

Além disso, questões adicionais envolvendo operações matemáticas básicas foram incluídas para simular interações mais assertivas. Durante a elaboração das respostas, foi dada ênfase às instruções do TEA HelpBot, que foram adaptadas para evitar a inclusão de respostas

finais nos problemas apresentados aos estudantes. Uma análise pedagógica minuciosa foi conduzida por uma especialista em educação especial, com o objetivo de aprimorar a precisão e a pedagogia das interações.

O refinamento dos parâmetros do modelo foi feito de maneira criteriosa, assegurando que as interações fossem não apenas satisfatórias em termos de qualidade, mas também pedagogicamente adequadas, atendendo às necessidades dos estudantes autistas que utilizam o TEA HelpBot. O resultado desse processo foi um aprimoramento contínuo na assertividade e utilidade das respostas, contribuindo para a criação de um ambiente de aprendizado mais eficiente e inclusivo.

Após a criação do *dataset*, os dados foram armazenados no formato *JSONL*, que permite a gravação de dados estruturados de forma processável linha por linha, com cada linha representando um exemplo de conversa de treinamento. Com esse conjunto de dados, foi possível ajustar o modelo para refletir o comportamento e as interações desejadas para o TEA HelpBot. O processo de ajuste fino com o *dataset* levou 10 minutos e 38 segundos para ser concluído.

O TEA HelpBot foi então integrado à arquitetura pedagógica da plataforma Moodle (*Modular Object Oriented Dynamic Learning Environment*) por meio do *plugin OpenAI Chat Block*. Esse *plugin* permite que os usuários do Moodle recebam suporte contínuo via chat, 24 horas por dia, utilizando a inteligência artificial GPT da OpenAI. A integração foi realizada configurando-se a chave API e ajustando os parâmetros necessários para garantir o funcionamento adequado do sistema (Yoder, 2024). A Figura 3 mostra a interface do TEA HelpBot e sua funcionalidade pode ser acessada em <http://moodle.ensin.ai/>.

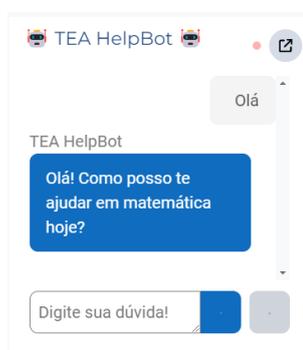


Figura 3. Protótipo TEA HelpBot

Após a aprovação do projeto de pesquisa pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Espírito Santo foram conduzidos testes com um grupo de estudantes da Escola Municipal de Ensino Fundamental Manoel Mello Sobrinho, localizada em Cariacica, Espírito Santo. A pesquisa contou com a participação de 13 estudantes autistas, com o objetivo de analisar a eficácia das interações com o TEA HelpBot e verificar se o uso do assistente influenciava positivamente no desempenho dos estudantes nas questões matemáticas. Os convites para participação no estudo foram direcionados exclusivamente a alunos com TEA, com o apoio das professoras de educação especial da escola. Foram enviados 22 convites aos pais, dos quais 13 consentiram com a participação de seus filhos no estudo, preenchendo o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). É importante ressaltar que esses alunos estão matriculados no ensino regular e possuem diagnóstico de TEA de nível 1 e 2. No dia da coleta de dados, os estudantes também assinaram o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE). A coleta ocorreu nos dias 23/09/2024 e 25/09/2024, com 13 estudantes presentes no primeiro dia e 10 no segundo. Os testes consistiram em sete atividades de matemática, abrangendo conteúdos do quinto ao nono ano, baseados nas habilidades definidas pela Base

Nacional Comum Curricular (BNCC).

Os estudantes foram reunidos na biblioteca da escola, onde utilizaram chromebooks para acessar o Moodle. Receberam orientações sobre como acessar a plataforma e realizar as atividades, além de instruções específicas para o uso do TEA HelpBot. Durante a sessão, os alunos foram incentivados a interagir com o TEA HelpBot sempre que tivessem dúvidas ao resolver as atividades de matemática. O assistente foi utilizado por 60 minutos no primeiro dia, enquanto no segundo dia, as atividades foram realizadas sem o uso do assistente. Ao final de cada sessão, os estudantes preencheram um formulário para relatar suas percepções sobre a experiência com o TEA HelpBot.

A análise dos questionários revelou que, entre os 13 estudantes participantes, 23,1% (3) tinham idades de 12, 13 e 14 anos, enquanto 15,4% (2) tinham 11 e 15 anos. Do total de participantes, 30,8% (4) se identificaram como do gênero feminino e 69,2% (9) como do gênero masculino. Quanto a série escolar, 15,4% (2) dos estudantes estavam no 5º ano, 1,7% (1) no 6º ano, 30,8% (4) no 7º ano, 38,5% (5) no 8º ano, e 7,7% (1) no 9º ano.

A eficiência das interações do TEA HelpBot foi avaliada por meio dos logs coletados durante as sessões. Ao todo, 250 interações foram analisadas e classificadas com base nos seguintes critérios: (i) a resposta foi adequada à pergunta do estudante; (ii) a resposta não foi adequada à pergunta. Foram excluídas 3 interações relacionadas a saudações iniciais, restando 247 interações válidas. Destas, 92,4% (231) foram consideradas adequadas e 6,4% (16) foram consideradas inadequadas, conforme demonstrado na Figura 4. Destaca-se que, entre as

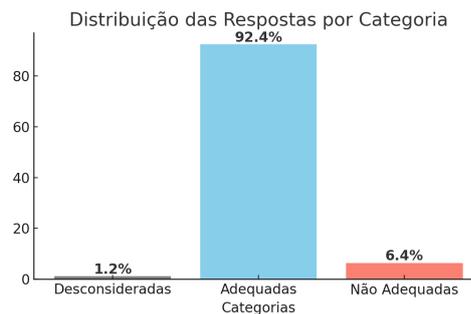


Figura 4. Distribuição de respostas por categoria

interações inadequadas, 15 ocorreram devido a erros ortográficos nas perguntas dos estudantes, o que provavelmente contribuiu para a confusão nas respostas fornecidas pelo assistente. Esse fator ressalta a importância de uma revisão ortográfica ou de mecanismos que permitam ao TEA HelpBot lidar melhor com entradas que contenham erros de digitação, de modo a melhorar a precisão das respostas. Apenas uma interação foi classificada como inadequada sem estar relacionada a erros ortográficos, indicando que, em geral, o assistente conseguiu interpretar corretamente as entradas dos estudantes quando a escrita estava adequada.

Uma avaliação qualitativa do experimento foi conduzida utilizando a Matriz de Confusão – uma ferramenta amplamente usada para avaliar classificadores em problemas de aprendizado supervisionado. Essa matriz detalha os resultados de classificação ao comparar as previsões do modelo com os valores reais dos dados (Hossin e Sulaiman, 2015). As interações foram classificadas em quatro categorias: (i) Verdadeiro Positivo (*VP*): quando a interação deveria corresponder à intenção “X”(confirmação correta da resposta do usuário) e o TEA HelpBot forneceu a confirmação correta; (ii) Verdadeiro Negativo (*VN*): quando a interação não deveria corresponder à intenção “X”(porque a resposta do usuário estava incorreta) e o TEA HelpBot corretamente não a confirmou como correta; (iii) Falso Positivo (*FP*): quando a interação não deveria corresponder à intenção “X”(a resposta do usuário estava errada), mas o

TEA HelpBot a confirmou incorretamente como correta; e (iv) Falso Negativo (FN): quando a interação deveria corresponder à intenção “X”(a resposta do usuário estava correta), mas o TEA HelpBot não a confirmou como correta.

Para avaliar o desempenho do TEA HelpBot, foram utilizados os principais métodos de avaliação de agentes conversacionais descritos na literatura (Hossin e Sulaiman, 2015). A matriz de confusão resultante apresentou 224 interações classificadas como VP , enquanto as demais foram distribuídas da seguinte forma: $VN = 7$, $FP = 16$ e $FN = 9$. A partir desses dados, os seguintes índices de desempenho foram calculados:

- **Acurácia:** Representa o percentual das interações do assistente que foram corretamente classificadas em relação ao total de interações coletadas, sendo calculada como: $ACC = \frac{VP+VN}{VP+VN+FP+FN} = 90,23\%$.
- **Taxa de Erro:** Indica o percentual de interações que foram classificadas incorretamente em relação ao total de interações coletadas, sendo calculada como: $TXE = \frac{FP+FN}{VP+VN+FP+FN} = 9,76\%$.
- **Precisão:** Mede a proporção de interações positivas corretamente classificadas em relação ao total de interações positivas (verdadeiras e falsas) e é calculada como: $PREC = \frac{VP}{VP+FP} = 93,33\%$.
- **Recall:** Refere-se à fração de interações verdadeiramente positivas que foram corretamente classificadas, sendo calculada como: $REC = \frac{VP}{VP+FN} = 96,13\%$.
- **F1 Score:** Representa a média harmônica entre precisão e recall, fornecendo um único valor que reflete a qualidade geral do assistente, sendo calculada como: $F1 = \frac{2 \times PREC \times REC}{PREC + REC} = 94,71\%$.

Outra análise foi conduzida para avaliar a eficiência dos diálogos entre os usuários e o TEA HelpBot. Cada interação foi avaliada de acordo com os seguintes níveis de qualidade: (i) Nível 0 – O TEA HelpBot forneceu respostas que, na maioria das vezes, não atendiam à consulta do estudante; (ii) Nível 1 – O TEA HelpBot forneceu respostas que atenderam parcialmente à consulta do estudante, sendo necessário solicitar mais explicações; (iii) Nível 2 – Todas as respostas do TEA HelpBot responderam adequadamente à consulta do estudante. A maior parte dos diálogos foi classificada no Nível 2, em que o TEA HelpBot ofereceu respostas que atenderam adequadamente às consultas dos alunos, representando 61.5% do total das 13 conversas. Já 38.5% dos diálogos foram classificados como Nível 1, conforme mostrado no diálogo da Figura 6 e na Figura 5.

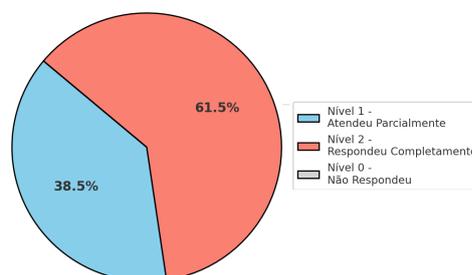


Figura 5. Eficiência dos diálogos a partir dos registros de logs

Adicionalmente, foi realizada uma análise do número total de respostas corretas, erradas e não respondidas pelos estudantes, com e sem o uso do TEA HelpBot, para avaliar seu impacto no desempenho acadêmico. Observou-se um aumento no número de respostas corretas quando o assistente foi utilizado, com 28,8% de acertos (27 respostas corretas) em comparação a 24,1% de acertos (13 respostas corretas) sem o assistente. Esses dados sugerem que o chatbot ajudou os estudantes a encontrar respostas corretas com maior frequência, demonstrando um impacto positivo no desempenho acadêmico.

User Name	User Message	AI Response
Aluno	como determina a e b ponto	Para determinar a e b em uma reta, precisamos de dois pontos. Os pontos são representados como coordenadas, por exemplo, (x_1, y_1) e (x_2, y_2) . Quer tentar um exemplo?
Aluno	3-2	Isso mesmo! Ao subtrair 2 de 3, qual é o resultado?
Aluno	1	Parabéns, isso mesmo! Excelente trabalho! Vamos continuar? Tem mais alguma questão?
Aluno	4-1	Ótimo! Se começarmos com 4 e dermos um passo para trás, em que número chegamos?
Aluno	3	Isso mesmo! O resultado de $4 - 1$ é 3. Parabéns! Vamos continuar! Quando você subtrai 2 de 4, qual é o resultado?
Aluno	2	Exatamente! $4 - 2$ é igual a 2. Ótimo trabalho! Tem mais alguma questão ou gostaria de continuar?

Figura 6. Diálogo de um aluno com o TEA Helpbot

No entanto, o número de respostas incorretas também foi maior com o uso do TEA HelpBot, correspondendo a 68,8% (64 respostas erradas), em comparação a 60% (42 respostas erradas) sem o uso do assistente. Esse resultado pode indicar que o uso do TEA HelpBot incentivou os estudantes a tentar resolver os problemas, mesmo que isso resultasse em erros, demonstrando uma maior participação e disposição para enfrentar os desafios. De fato, observa-se que o número de perguntas não respondidas foi significativamente menor com o uso do TEA HelpBot: apenas 2 perguntas (2,2%) ficaram sem resposta, enquanto sem o assistente, 15 perguntas (21,4%) não foram respondidas. Esses dados indicam que o *chatbot* estimulou o estudante a participar mais ativamente e a tentar responder mais questões, reduzindo o número de perguntas deixadas sem resposta. Os resultados sugerem que o uso do TEA HelpBot

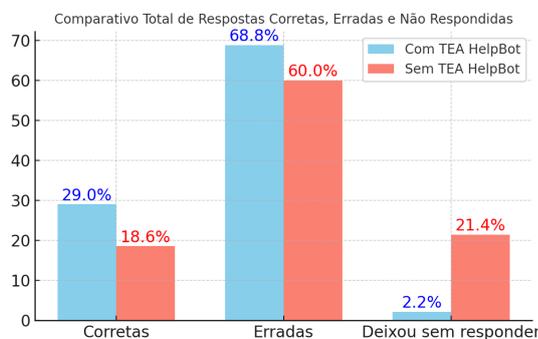


Figura 7. Comparativo total de respostas corretas, erradas e não respondidas (com e sem TEA HelpBot)

promoveu maior engajamento dos estudantes, levando a um aumento no número de respostas corretas e uma redução significativa no número de perguntas não respondidas. Embora o número de erros também tenha aumentado, isso pode ser visto como um indicador positivo, pois demonstra que os alunos se sentiram mais confiantes para tentar responder, mesmo com o risco de errar, o que é um comportamento benéfico no processo de aprendizagem.

Em relação às percepções dos estudantes, os resultados do questionário revelaram que 100% dos participantes afirmaram que recomendariam o TEA HelpBot a outros colegas de sua idade. Além disso, 92,3% dos alunos (12 estudantes) expressaram o desejo de que o suporte do assistente fosse expandido para outras disciplinas, como Português, Geografia ou Ciências. Apenas 7,7% (1 estudante) não foi favorável à ampliação. Embora os resultados tenham sido amplamente favoráveis, indicando que o assistente pedagógico foi bem aceito pelos estudantes, foram identificadas áreas de melhoria, de acordo com as sugestões fornecidas pelos estudantes

nos questionários.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e avaliação da eficiência do assistente pedagógico conversacional TEA HelpBot como recurso pedagógico para estudantes autistas usando inteligência artificial com o auxílio do ChatGPT, para o ensino de matemática a estudantes de séries finais do Ensino Fundamental. A avaliação da eficiência do assistente foi realizada utilizando métricas de Acurácia, Taxa de Erro, Precisão, *Recall* e *F1 Score*.

O TEA HelpBot foi construído com a tecnologia dos assistentes da OpenAI e integrado ao AVA Moodle através do *plugin OpenAI Chat Block*. Os resultados demonstraram uma Acurácia superior a 93,52% e Taxa de Erro inferior a 9,76%, indicando que a maioria das interações foram corretamente classificadas, com respostas que atenderam às consultas dos estudantes de maneira satisfatória.

No entanto, uma limitação deste estudo está na avaliação das interações, que foi realizada por meio de análise humana, sujeita à interpretação individual do avaliador. Para mitigar essa limitação, propõe-se que pesquisas futuras envolvam a colaboração de especialistas da área de educação especial, o que permitirá uma avaliação mais robusta e refinada da eficácia pedagógica do assistente nas interações com os estudantes. Essa colaboração trará insights valiosos para aprimorar tanto o conteúdo quanto a abordagem pedagógica do TEA HelpBot, beneficiando não apenas estudantes autistas, mas também outros públicos com diferentes necessidades de aprendizagem.

Destaca-se que, o tamanho reduzido da amostra deve-se à colaboração limitada dos responsáveis em permitir a participação de seus filhos no estudo. Apesar do convite a quase o dobro de participantes, apenas um número reduzido de pais aderiu à proposta de participação. Além disso, como o estudo foi realizado em dias alternados, a ausência de alguns alunos que participaram no primeiro dia contribuiu para a redução do tamanho da amostra. Apesar de o TEA HelpBot ainda estar em sua fase inicial de implementação, os resultados indicam um impacto positivo em termos de eficiência nas interações e engajamento dos alunos. O estudo sugere que o assistente tem potencial para ser uma ferramenta valiosa no apoio educacional, especialmente quando seu desenvolvimento for aprimorado com base no feedback de especialistas e usuários.

Futuras pesquisas devem focar em melhorias no desempenho do agente conversacional, com uma atenção especial às necessidades e expectativas dos estudantes, de modo a promover uma experiência de aprendizado ainda mais personalizada e eficaz. Buscando atuar com uma equipe multidisciplinar composta por especialistas na área. O treinamento do assistente será expandido para outras disciplinas, tornando-se um agente capaz de atuar em diferentes áreas do conhecimento, mas preservando suas características de acessibilidade conforme os critérios voltados para estudantes autistas. Além disso, recomenda-se que o TEA HelpBot seja disponibilizado em uma interface web independente, sem a obrigatoriedade de uso em um AVA, possibilitando o acesso em qualquer dispositivo, seja *Android* ou *iOS*, o que ampliaria sua acessibilidade e usabilidade. Tornando-se independente de ambientes virtuais ou arquiteturas pedagógicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à professora Dra. Emilene Coco, bem como à direção e equipe pedagógica da Escola Municipal de Ensino Fundamental Manoel Mello Sobrinho, pelo apoio concedido durante o desenvolvimento deste estudo.

Referências

- Aguiar, Y. P. C.; Cardins, D. V. A.; Saraiva, J. A. G.; Maritan, T.; Araújo, J. A. a. Towards accessibility for users with autism: A comparative analysis of guidelines. In: **Proceedings of the 21st Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: ACM, 2022.
- Barboza, D.; Catabriga, L.; Cury, D. Acessibilidade em ambientes virtuais para estudantes do espectro autista: Mapeamento de critérios de acessibilidade. In: **Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2024. p. 1071–1083.
- Bartelle, L. B.; Medeiros, L. F. d. Os assistentes virtuais nos ambientes virtuais de aprendizagem: uma revisão sistemática de literatura. **EaD em Foco**, v. 14, n. 1, p. e2128, abr. 2024.
- Beda, J.; Ferreira, P.; Belarmino, G.; Goya, D. Acessibilidade sob desenho universal para ambientes virtuais de aprendizagem: um mapeamento de critérios e desafios. In: **Anais do XXXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2022. p. 680–693.
- Carvalho, C. d. S. Estratégias pedagógicas para facilitar a aprendizagem de estudantes com transtorno do espectro autista. **Humana Res**, v. 1, n. 2, p. 20 a 29, 2020. ISSN 2675-3901.
- Dores, A. R. das; Oliveira, G. F. de; Espitti, L. B.; Franco, R. Aplicação da ia na educação: proposta de um projeto ou utilização de chatbot como sistema de tutorial aplicado em um ava. **Revista InovaEduc**, n. 7, p. 1–16, 2020.
- Eraslan, S.; Yesilada, Y.; Yaneva, V.; Ha, L. A. “keep it simple!”: an eye-tracking study for exploring complexity and distinguishability of web pages for people with autism. **Universal Access in the Information Society**, v. 20, n. 1, p. 69 – 84, 2021.
- Fishman, S. **How to fine-tune chat models**. 2024. Disponível em: https://cookbook.openai.com/examples/how_to_finetune_chat_models. Acesso em: 12 de junho 2024.
- Gil, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2010.
- Gomes, D.; Pinto, N.; Melo, A.; Maia, I.; Paiva, A.; Barreto, R.; Viana, D.; Rivero, L. Developing a set of design patterns specific for the design of user interfaces for autistic users. In: **Proceedings of the XX Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: ACM, 2021. (IHC '21).
- Hossin, M.; Sulaiman, M. A review on evaluation metrics for data classification evaluations. **International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process**, v. 5, p. 01–11, 2015.
- Hugging Face. **DataSets: openai/gsm8k**. 2024. Disponível em: <https://huggingface.co/datasets/openai/gsm8k/blob/main/README.md>. Acesso em: 06 de junho 2024.
- Júnior, C. X. P.; Francisco, R. E.; Silva, L. de F.; Veiga, E. F.; Fernandes, M. A. M.; Dorça, F. A. Uso de ontologias para agentes conversacionais no contexto de ensino-aprendizagem: Uma

revisão sistemática da literatura. In: **Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2017)**. Fortaleza, CE, Brasil: SBC, 2017. p. 183–192.

Melo, A. H. d. S.; Rivero, L.; Santos, J. S. d.; Barreto, R. d. S. Personaut: A personas model for people with autism spectrum disorder. In: **Proceedings of the 19th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (IHC '20).

Nascimento, A. G. Cardoso do; Luna, J. M. Oliveira de; Esquinca, A. d. C.; Santos, R. G. Campos dos. Educação matemática para estudantes autistas: conteúdos e recursos mais explorados na literatura de pesquisa. **Boletim GEPEN**, n. 76, p. 63–78, jan. 2020.

Nunes, D.; Primi, R.; Pires, R.; Lotufo, R.; Nogueira, R. **Evaluating GPT-3.5 and GPT-4 Models on Brazilian University Admission Exams**. 2023.

OpenAI. **OpenAI Documentation**. 2024. Disponível em: <https://platform.openai.com/docs>. Acesso em: 06 de junho 2024.

Petersen, K.; Feldt, R.; Mujtaba, S.; Mattsson, M. Systematic mapping studies in software engineering. **Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering**, v. 17, p. 1–10, 2008.

Procter, M.; Lin, F. O.; Heller, B. Intelligent intervention by conversational agent through chatlog analysis. **Smart Learning Environments**, v. 5, p. 1–15, 2018.

Silva, E. D. d.; Milan, D.; Soares, T. d. S.; Bidô, Â. B. Educação inclusiva: Processo de ensino e aprendizagem do estudante com tea por meio da inteligência artificial. **Anais do V CINTEDI**, 2024.

Silveira, A. d.; Júnior, N. V. A inteligência artificial na educação: utilizações e possibilidades. **Revista Interterritórios**, Caruaru, PE, Brasil, v. 5, n. 8, 2019.

Vanzeler, J.; Freitas, G.; Ferreira, J.; Santos, I.; Farias, F.; Portela, C. Interaction paths between users on the autistic spectrum and technologies: Scope review of the brazilian symposium IHC. **ACM International Conference Proceeding Series**, 2022.

Yin, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

Yoder, B. **OpenAI Chat Block**. 2024. Disponível em: https://moodle.org/plugins/block_openai_chat. Acesso em: 06 de junho 2024.