

Tradução automatizada de diagramas de banco de dados conceituais em texto acessível para pessoas com deficiência visual através de LLMs

Bruna Rafaela Böch¹, Alex Mulattieri Suarez Orozco¹

¹Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul) – Sapucaia do Sul – RS – Brasil

brunarboch@gmail.com, alexorozco@ifsul.edu.br

Abstract. *Educational accessibility is a right and an essential requirement for the inclusion of people with visual impairments in education. In the context of Computer Science, the interpretation of database diagrams poses a challenge for these students due to the inherently visual nature of this type of representation. In light of this, five large language models (LLMs) were analyzed with regard to their ability to translate conceptual database diagrams into accessible textual descriptions. The ChatGPT model demonstrated the best performance according to the criteria of accuracy, clarity, level of detail, and completeness. We concluded that integrating language models and accessibility represents a promising approach to inclusive education in Computer Science.*

Resumo. *A acessibilidade educacional é um direito e um requisito essencial para a inclusão de pessoas com deficiência visual no ensino. No contexto da Computação, a interpretação de diagramas de banco de dados representa um desafio para esses estudantes, devido ao caráter eminentemente visual desse tipo de representação. Diante disso, foram analisados cinco grandes modelos de linguagem (LLMs) na tradução de diagramas de banco de dados conceituais em texto acessível. O modelo ChatGPT apresentou o melhor desempenho nos critérios de acuracidade, clareza, detalhamento e completude. Conclui-se que a integração entre modelos de linguagem e acessibilidade representa uma abordagem promissora para o ensino inclusivo em Computação.*

1. Introdução

A acessibilidade consolidou-se, nas últimas décadas, como um elemento essencial para a construção de uma sociedade mais justa e inclusiva. No contexto educacional, garantir que pessoas com deficiência visual tenham acesso igualitário às informações é um desafio que envolve tanto questões pedagógicas quanto tecnológicas. Em cursos da área de Computação, esse desafio se torna ainda mais evidente, pois o aprendizado frequentemente depende da interpretação de representações visuais, como diagramas conceituais e lógicos de banco de dados.

Esses diagramas desempenham papel fundamental no ensino da modelagem de dados, permitindo visualizar estruturas, relacionamentos e dependências entre entidades. No entanto, para estudantes com deficiência visual, o caráter eminentemente gráfico dessas representações constitui uma barreira significativa à compreensão do conteúdo. Embora existam leitores de tela e tecnologias assistivas, grande parte das ferramentas de modelagem disponíveis ainda não oferece recursos adequados para interpretar e descrever elementos visuais de forma acessível.

De acordo com o Censo Demográfico 2022, conduzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estimou-se que, no Brasil, há 14,4 milhões de pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência relacionada a pelo menos uma de suas funções, o que representa 7,3% da população de dois anos ou mais de idade. Nesta população, cerca de 7,9 milhões de pessoas declararam ter muita dificuldade ou não conseguir de modo algum enxergar [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2025].

A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015), em seu Art. 28, atribui ao poder público a responsabilidade de garantir um sistema educacional inclusivo em todos os níveis, assegurando acesso, permanência, participação e aprendizagem por meio de serviços, recursos de acessibilidade, adaptações razoáveis, atendimento educacional especializado e práticas pedagógicas inclusivas. Na prática, essas diretrizes exigem o desenvolvimento e a adaptação de materiais didáticos, plataformas digitais, softwares educacionais e ambientes virtuais de aprendizagem que considerem diferentes formas de percepção e interação, garantindo que estudantes com deficiência, incluindo aqueles com deficiência visual, possam acessar, interpretar e produzir conhecimento em condições de igualdade [BRASIL 2015].

Nesse mesmo sentido, a Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva, publicada pelo Ministério da Educação em 2007, estabelece diretrizes para assegurar o direito à educação de todos os estudantes, com ou sem deficiência, em escolas regulares. Fundamentada nos princípios dos direitos humanos e da valorização da diversidade, a política rompe com modelos segregadores e propõe a reorganização do sistema educacional para garantir acesso, participação e aprendizagem em igualdade de condições. No caso das pessoas com deficiência visual, a política destaca a importância da disponibilização de materiais em formatos acessíveis, como o *Braille* e os recursos digitais adaptados, contribuindo para que esses estudantes possam acessar o currículo escolar de forma autônoma e significativa [Sá et al. 2007].

Contudo, apesar dos avanços legislativos e das diretrizes de políticas públicas, persistem desafios estruturais e pedagógicos que dificultam o acesso efetivo de estudantes com deficiência visual, especialmente em áreas técnicas como Engenharia, Ciência da Computação e Matemática, onde diagramas, gráficos e esquemas visuais desempenham papel central na transmissão do conhecimento. Muitas vezes, esses recursos não estão disponíveis em formatos acessíveis, como descrições textuais adequadas, representações táteis ou compatibilidade com leitores de tela, o que compromete a autonomia do estudante e pode limitar sua participação e desempenho acadêmico.

Embora existam iniciativas para promover a acessibilidade no ambiente educacional, as ferramentas atuais para modelagem de banco de dados frequentemente não são adequadas para atender às necessidades específicas de estudantes com deficiência visual. Uma pesquisa realizada com estudantes com deficiência visual (EDV) na área de computação destacou que mais de 40% dos participantes relataram pouca ou nenhuma acessibilidade quanto a materiais, aparelhos, utensílios e tecnologias. O grupo de participantes destacaram a falta de acessibilidade em sistemas operacionais, ferramentas para desenvolvimento e aplicações *Web*, sobretudo para aqueles que faziam uso de leitor de tela [Alves et al. 2022]. A falta de tecnologias e métodos acessíveis pode limitar o desempenho acadêmico desses estudantes, afetando sua motivação e participação em atividades curriculares importantes. Isso destaca a necessidade urgente de desenvolver soluções que

forneçam os recursos necessários para uma verdadeira igualdade de oportunidades educativas.

Diante desse cenário, este trabalho buscou investigar soluções tecnológicas capazes de tornar os diagramas de banco de dados acessíveis a estudantes com deficiência visual. Para isso, foram analisados grandes modelos de linguagem (LLMs) para converter automaticamente as informações contidas em diagramas conceituais em descrições textuais compreensíveis e compatíveis com leitores de tela. Dessa forma, a pesquisa teve como propósito reduzir barreiras educacionais, promover a inclusão digital e favorecer a autonomia no processo de aprendizagem. Assim, alinham-se os princípios da educação inclusiva e do uso ético da inteligência artificial, demonstrando como a tecnologia pode ser aplicada para promover equidade e ampliar oportunidades de aprendizado.

2. Trabalhos Relacionados

Este trabalho situa-se na interseção entre três domínios principais: inteligência artificial, acessibilidade e modelagem conceitual de banco de dados. Embora cada uma dessas áreas possua uma literatura consolidada, a combinação entre elas, com foco na geração de descrições acessíveis de diagramas conceituais para pessoas com deficiência visual, é recente e ainda pouco abordada de forma integrada. Dessa forma, esta pesquisa assume um caráter exploratório, sem um termo de busca único e consolidado, optando por uma seleção de trabalhos relacionados por afinidade técnica e temática.

Soluções tecnológicas voltadas à acessibilidade têm se expandido, com foco em tornar conteúdos visuais compreensíveis a pessoas cegas ou com baixa visão. O *Chart4Blind*, por exemplo, desenvolvido por [Moured et al. 2024], busca tornar gráficos de linha acessíveis por meio da conversão automatizada de imagens em descrições em texto, gráficos táteis e arquivos compatíveis com leitores de tela. Desenvolvido como uma aplicação gratuita, o *Chart4Blind* permite que usuários enviem gráficos em formato imagem (*bitmap*) e recebam como saída descrições textuais, gráficos SVG acessíveis e versões adaptadas para impressão em Braille. A ferramenta utiliza visão computacional para detectar padrões e elementos visuais, com o objetivo de oferecer uma representação compreensível a pessoas cegas. Embora eficiente na tradução de gráficos estatísticos, seu foco não se estende à estruturação lógica de dados, tampouco ao domínio de bancos de dados relacionais.

O sistema TADA (*Touch-and-Audio-based Diagram Access*), proposto por [Zhao et al. 2024], adota uma abordagem sensorial híbrida, permitindo que usuários explorem diagramas de nós e ligações por meio do toque em telas sensíveis (como *tablets*) e obtenham respostas auditivas e sonoras sobre os elementos e suas conexões. TADA foi desenvolvido para apoiar a compreensão espacial de diagramas complexos como mapas conceituais, taxonomias ou fluxogramas. Os usuários interagem com a interface tocando em regiões da tela que representam nós ou relações, e o sistema fornece feedback por voz ou sinais sonoros distintos. Embora não utilize leitores de tela convencionais, TADA substitui essa funcionalidade com sua própria estrutura sensório-auditiva. Seu foco, no entanto, é centrado em diagramas relacionais genéricos e não cobre aspectos semânticos de bancos de dados.

Já o AUDiaL, apresentado por [Murillo-Morales e Miesenberger 2020], propõe uma abordagem distinta ao oferecer uma interface de linguagem natural que permite a

exploração de gráficos vetoriais com anotações semânticas. A ferramenta foi projetada para responder a perguntas como “qual categoria tem maior valor?” ou “quantos elementos estão conectados a X?”, possibilitando uma navegação interativa por meio de descrições geradas sob demanda. Sua arquitetura baseia-se em arquivos SVG enriquecidos com metadados RDF ¹, permitindo o uso de inferência semântica. O sistema é compatível com leitores de tela e foi validado com usuários cegos em ambientes educacionais. No entanto, sua aplicabilidade permanece restrita a gráficos vetoriais e não se estende a diagramas estruturados como os usados em modelagem de banco de dados. A Tabela 1 apresenta a comparação entre os trabalhos analisados, com base em critérios como tipo de diagrama, foco em banco de dados, tipo de acessibilidade, compatibilidade com leitores de tela, tipo de entrada e disponibilidade.

Tabela 1. Comparativo entre trabalhos relacionados

Trabalho	Gratuito	Tipo de Diagrama	BD	Acessibilidade	Leitor	Entrada
Chart4Blind	Sim	Gráficos de linha (line charts)	Não	Texto, Braille, gráficos táteis	Sim	Imagem bit-map
TADA	Sim	Diagramas de nós e ligações (node-link)	Não	Tátil, áudio	Não	Diagramas digitais em formato node-link
AUDial	Sim	Gráficos estatísticos	Não	Texto em linguagem natural	Sim	SVG

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Apesar dos avanços observados nas ferramentas analisadas, nota-se a ausência de soluções voltadas especificamente à interpretação e descrição de diagramas conceituais de banco de dados (ER). Nenhum dos trabalhos abordados contempla, simultaneamente, os seguintes aspectos: reconhecimento de elementos estruturais de diagramas ER, geração de descrições compatíveis com leitores de tela e foco na inclusão de pessoas com deficiência visual em contextos educacionais. Essa lacuna reforça a relevância e originalidade da proposta desenvolvida neste trabalho.

3. Metodologia

Foram selecionados cinco LLMs, amplamente utilizados e disponíveis em versões gratuitas, para conduzir a etapa de avaliação e identificar aquele que melhor se adequava à proposta deste trabalho:

- Grok 4;
- Gemini 2.5 Flash;
- ChatGPT GPT-5;
- DeepSeek²;

¹Metadados RDF (*Resource Description Framework*) são informações estruturadas que descrevem recursos na *web*, usando um modelo simples de triplas (sujeito-predicado-objeto) para criar descrições semânticas ricas, permitindo que máquinas entendam e compartilhem dados sobre páginas, imagens, pessoas, etc., facilitando a organização, busca e interoperabilidade de informações.

²A versão empregada no ambiente de chat online do DeepSeek não é publicamente divulgada pela empresa responsável.

- Claude Sonnet 4.5.

Inicialmente foi considerada também a utilização do Llama 4, por possuir suporte multimodal (texto e imagem). Entretanto, após análise de viabilidade, verificou-se que os recursos de *hardware* disponíveis não eram suficientes para executar o modelo localmente. Dessa forma, optou-se por restringir os experimentos a soluções online.

Os experimentos realizados tiveram como objetivo analisar o desempenho de diferentes LLMs na interpretação de diagramas conceituais de banco de dados. Para isso, foram submetidos três diagramas conceituais com diferentes níveis de complexidade, elaborados segundo o mesmo modelo de representação utilizado no BRModelo, *software* amplamente empregado para a modelagem de diagramas conceituais de banco de dados.

Os diagramas foram disponibilizados aos modelos em diferentes condições de qualidade visual, a fim de verificar o impacto da resolução na capacidade interpretativa dos LLMs. Foram utilizadas três variações:

- Diagrama extraído de um livro digital obtido na internet;
- Diagrama escaneado a partir de material impresso;
- Fotografia de um diagrama físico capturada com a câmera de um celular.

Cada LLM recebeu o mesmo estímulo inicial, utilizando o *prompt*: “Me explique essa imagem”. Contudo, observou-se que a formulação do *prompt* influenciava diretamente a qualidade das respostas obtidas. Assim, foi conduzido um processo de refinamento do *prompt*, com o objetivo de ajustar sua estrutura para maximizar a clareza e a completude das descrições geradas. Esse processo consistiu em sucessivos ajustes no texto do comando, realizados a partir da análise das respostas geradas, com o objetivo de aperfeiçoar a formulação do *prompt* e obter descrições mais satisfatórias. O *prompt* utilizado nos experimentos foi o seguinte:

“Descreva e explique este diagrama conceitual de banco de dados, incluindo a explicação das representações visuais das entidades apresentadas na imagem, seus atributos e relacionamentos. Foque na interpretação do diagrama da imagem exclusivamente, não sendo necessário explicar o que é um diagrama conceitual de banco de dados. Use uma linguagem simples para que uma pessoa que não tem muito conhecimento sobre banco de dados e/ou possui deficiência visual consiga entender.”

As respostas geradas foram analisadas com base em uma abordagem qualitativa comparativa. Cada resposta foi examinada individualmente, levando em consideração o contexto do *prompt* e o conteúdo efetivamente produzido pelo modelo. A avaliação das respostas foi realizada de forma sistemática, atribuindo notas segundo os critérios de desempenho definidos. Essa análise foi conduzida manualmente, por uma pesquisadora, com a leitura e comparação das respostas, de modo a assegurar consistência e imparcialidade na atribuição das pontuações. As respostas geradas foram analisadas de forma comparativa com base em cinco critérios de avaliação qualitativa, descritos a seguir:

1. Acuracidade: capacidade do modelo de interpretar corretamente os elementos e relacionamentos presentes no diagrama;
2. Detalhamento: nível de profundidade e especificidade das informações apresentadas na descrição gerada;

3. Clareza: uso de linguagem simples e compreensível, acessível inclusive a pessoas sem experiência prévia em modelagem de dados;
4. Grau de completude: extensão da cobertura descritiva, considerando se o modelo descreve o diagrama em sua totalidade.
5. Grau de tecnicidade: adequação da explicação ao vocabulário e conceitos próprios da área de banco de dados.

Esses critérios foram estabelecidos com o objetivo de identificar qual dos LLMs apresenta o melhor desempenho na interpretação de diagramas conceituais de banco de dados, de forma a orientar a escolha do modelo mais adequado. Para a análise, foi adotada uma escala qualitativa de 1 a 3 pontos, aplicada a cada critério de avaliação. Essa escala permitiu mensurar o grau de desempenho dos modelos em relação a cada aspecto observado, conforme descrito a seguir:

- 1 ponto: desempenho insatisfatório ou incorreto, com falhas evidentes na interpretação ou formulação da resposta;
- 2 pontos: desempenho intermediário, apresentando resultados parciais ou com pequenas imprecisões;
- 3 pontos: desempenho satisfatório, com respostas completas, corretas e adequadas ao propósito da análise.

A adoção dessa escala possibilitou comparar de maneira sistemática o comportamento dos diferentes modelos frente aos cinco critérios de avaliação definidos, fornecendo uma base objetiva para a seleção do modelo mais apropriado.

4. Análise dos resultados das interpretações dos diagramas pelos LLMs

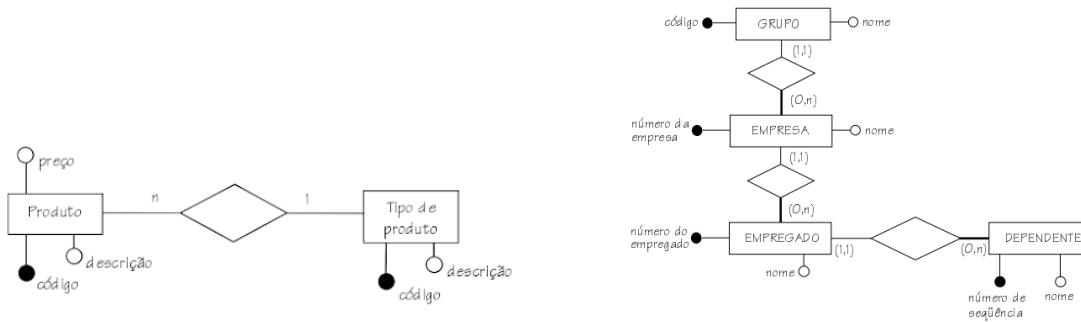
Durante a pesquisa, foram analisadas as respostas de cinco modelos, onde cada modelo foi aplicado a três diagramas conceituais de banco de dados, considerando três formatos de imagem (livro digital, escaneado e fotografado). No total, foram gerados 45 *outputs* textuais, correspondentes às combinações entre modelo, diagrama e formato.

Os resultados completos, contendo todas as respostas integrais dos cinco modelos em cada um dos cenários avaliados, estão disponíveis publicamente no repositório digital do projeto, acessível no link: <https://github.com/brunaboch/tcc-outputs>.

No repositório, os arquivos estão organizados hierarquicamente por modelo, diagrama e formato de imagem. Cada modelo de linguagem possui uma pasta principal (por exemplo, /chatGPT/, /gemini/, /grok/, /deepseek/ e /claude/), dentro da qual estão as subpastas correspondentes aos três diagramas utilizados no experimento (diagrama1, diagrama2 e diagrama3).

Em cada diagrama, há três subpastas que representam os formatos de entrada avaliados (livro_digital, escaneado e foto). Os resultados foram sintetizados em tabelas, organizadas por diagrama.

A Figura 1 apresenta os três diagramas conceituais utilizados nos testes realizados com os LLMs. Já a Tabela 2 apresenta os resultados obtidos a partir da análise das interpretações geradas pelos cinco LLMs: Grok, Gemini, ChatGPT, DeepSeek e Claude; considerando três formatos distintos do mesmo diagrama (livro digital, escaneado e foto).

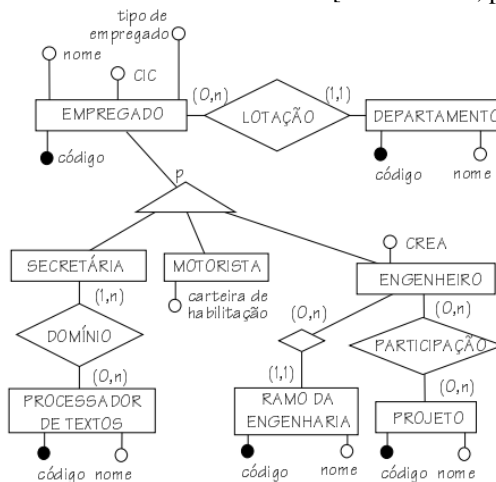


(a) Diagrama conceitual 1

Fonte: [Heuser 2009, p. 26].

(b) Diagrama conceitual 2

Fonte: [Heuser 2009, p. 144].



(c) Diagrama conceitual 3

Fonte: [Heuser 2009, p. 158].

Figura 1. Diagramas conceituais utilizados nos testes.

4.1. Comparação geral entre os diagramas

A partir da análise dos três diagramas conceituais, foi possível observar padrões consistentes no comportamento dos LLMs em relação aos formatos de entrada. De modo geral, os resultados indicam uma hierarquia clara de desempenho entre os modelos, com destaque para o ChatGPT, seguido por Gemini e Claude, que mantiveram alta consistência e qualidade nas interpretações realizadas.

O modelo ChatGPT apresentou o melhor desempenho geral nos três diagramas, atingindo as maiores pontuações médias em acuracidade, clareza e completude. O modelo mostrou-se capaz de adaptar o estilo de resposta ao tipo de *prompt*, mantendo precisão e coerência mesmo em condições de entrada mais desafiadoras, como imagens escaneadas ou fotografadas. Além disso, destacou-se pela capacidade de gerar descrições acessíveis e tecnicamente adequadas.

O Gemini apresentou resultados muito próximos aos do ChatGPT, com desempenho igualmente alto nos critérios avaliados. Destacou-se principalmente pela clareza e tecnicidade, demonstrando boa adaptação linguística e sensibilidade ao contexto do *prompt*. Em alguns casos, suas respostas foram mais sucintas que as do ChatGPT, o que, embora reduza o detalhamento, manteve a objetividade e a consistência do conteúdo.

Tabela 2. Resultados obtidos, considerando a Acuracidade (AC), Detalhamento (DT), Clareza (CZ), Completude (CD) e Tecnicidade (TD).

Diagrama 1															
LLM	Livro Digital					Escaneado					Foto				
	AC	DT	CZ	CD	TD	AC	DT	CZ	CD	TD	AC	DT	CZ	CD	TD
Grok	1	2	2	1	2	2	3	3	3	2	2	3	2	3	2
Gemini	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2
ChatGPT	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
DeepSeek	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1
Claude	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Diagrama 2															
LLM	Livro Digital					Escaneado					Foto				
	AC	DT	CZ	CD	TD	AC	DT	CZ	CD	TD	AC	DT	CZ	CD	TD
Grok	2	2	1	1	1	3	2	3	3	1	1	1	2	2	1
Gemini	3	3	2	3	3	3	3	1	3	2	3	3	1	3	2
ChatGPT	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
DeepSeek	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	3	3	3	3	2
Claude	1	2	1	1	2	1	2	2	3	2	2	2	2	3	2

Diagrama 3															
LLM	Livro Digital					Escaneado					Foto				
	AC	DT	CZ	CD	TD	AC	DT	CZ	CD	TD	AC	DT	CZ	CD	TD
Grok	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gemini	1	3	2	2	3	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2
ChatGPT	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	2
DeepSeek	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2
Claude	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O Claude mostrou desempenho estável e coerente, com resultados próximos aos dos dois modelos anteriores. Destacou-se pela robustez frente às variações de formato do diagrama, apresentando pouca perda de qualidade entre os arquivos digitais, escaneados e fotografados. Suas respostas demonstraram equilíbrio entre linguagem natural e precisão conceitual, tornando-o adequado tanto para descrições acessíveis quanto técnicas.

Os modelos Grok e DeepSeek, por outro lado, obtiveram os menores desempenhos nos três diagramas. O Grok apresentou limitações consistentes em acuracidade, clareza e completude, com descrições mais superficiais e pouco detalhadas. Já o DeepSeek, embora tenha apresentado pontuações significativas em alguns casos, demonstrou falta de consistência, com variações acentuadas entre os critérios e dificuldade em interpretar corretamente os elementos visuais dos diagramas, muitas vezes alucinando alguns elementos.

Em relação aos diferentes formatos de entrada dos diagramas (livro digital, escaneado e foto), constatou-se que os modelos mais avançados (ChatGPT, Gemini e Claude) apresentaram desempenho estável, com variações mínimas entre os formatos. Mesmo com ruído visual, perda de nitidez ou distorções, esses modelos mantiveram a capacidade de extrair corretamente as entidades, atributos e relacionamentos, demonstrando boa tolerância a imperfeições visuais.

De forma abrangente, a análise comparativa entre os três diagramas evidencia que os modelos ChatGPT, Gemini e Claude possuem melhor capacidade de interpretação conceitual e geração textual coerente, destacando-se pela precisão e estabilidade dos re-

sultados. O modelo ChatGPT, em especial, apresentou o desempenho mais equilibrado e consistente, demonstrando versatilidade tanto em contextos educacionais quanto profissionais.

Os resultados gerais sugerem que modelos de linguagem de maior porte e com treinamento mais avançado são mais adequados para a tarefa de conversão de diagramas conceituais em descrições textuais acessíveis, especialmente em cenários que exigem clareza e tecnicidade. Já os modelos com desempenho inferior mostraram limitações importantes, o que restringe seu uso em aplicações voltadas à acessibilidade e à compreensão de estruturas visuais complexas.

5. Conclusões Finais e Trabalhos Futuros

O presente trabalho teve como propósito principal promover a acessibilidade de diagramas de banco de dados, com foco em atender pessoas com deficiência visual que buscam formas alternativas de compreender representações visuais complexas. Ao comparar os resultados alcançados com os trabalhos relacionados apresentados anteriormente, observa-se que a proposta deste estudo avança em relação às soluções existentes, como o Chart4Blind, o TADA e o AUDiaL. Enquanto essas ferramentas abordam a acessibilidade de representações visuais em domínios específicos, como gráficos estatísticos, diagramas genéricos ou representações vetoriais, este trabalho foca diretamente na acessibilidade de diagramas conceituais de banco de dados, um tipo de diagrama ainda pouco explorado na literatura de acessibilidade.

Diferentemente das soluções analisadas, que se limitam à conversão visual ou à interação tátil e sonora, este trabalho utiliza LLMs para gerar descrições textuais semânticas e contextualizadas. Essa abordagem permite que os usuários compreendam não apenas os elementos gráficos isolados, mas também o significado relacional entre entidades, atributos e associações, o que constitui uma característica fundamental em diagramas de banco de dados. Assim, o trabalho apresentado complementa e expande as iniciativas existentes ao integrar técnicas de inteligência artificial, visão computacional e acessibilidade em uma solução única. Essa integração tem como propósito promover a inclusão de pessoas com deficiência visual em atividades de ensino e aprendizagem relacionadas à modelagem de dados.

Os resultados obtidos confirmaram que modelos de linguagem como o ChatGPT podem desempenhar um papel significativo na promoção da acessibilidade. A análise comparativa realizada entre cinco LLMs (Grok, Gemini, ChatGPT, DeepSeek e Claude) demonstrou que o ChatGPT apresentou o desempenho mais consistente nos critérios de acuracidade, clareza, detalhamento, completude e tecnicidade.

No aspecto pedagógico, este estudo mostrou potencial para apoiar estudantes com deficiência visual e também para auxiliar alunos iniciantes na área de modelagem, oferecendo uma nova forma de compreender as estruturas dos diagramas. Além disso, o estudo apresenta uma demonstração prática de como os LLMs podem gerar descrições textuais compreensíveis a partir de conteúdos visuais complexos, evidenciando o potencial dessas tecnologias para ampliar o acesso à informação. Desta forma, propõe-se uma abordagem que pode ser expandida para outras áreas do conhecimento que utilizam diagramas ou representações gráficas, contribuindo para o avanço da inclusão digital e educacional.

Algumas limitações foram observadas durante o desenvolvimento do trabalho.

Embora o modelo ChatGPT apresente alta capacidade de generalização, sua interpretação pode ser afetada por diagramas de baixa qualidade ou com elementos visuais excessivamente complexos. Outra limitação refere-se à ausência, nesta etapa, de uma avaliação empírica com usuários reais com deficiência visual. A validação realizada foi de natureza técnica e funcional, de modo que a análise da experiência do usuário e o impacto pedagógico permanecem como etapas futuras essenciais para consolidar sua eficácia prática.

Com base nas limitações identificadas, propõem-se algumas direções para a continuidade desta pesquisa. A primeira refere-se ao desenvolvimento de uma ferramenta que converta diagramas de banco de dados em descrições textuais compatíveis com leitores de tela, que permitirá que pessoas com deficiência visual compreendam os diagramas de forma acessível, enquanto também oferece a estudantes sem deficiência visual uma alternativa eficaz de aprendizado e interpretação dos diagramas. Além disso, é necessária a validação empírica com usuários reais, por meio da realização de testes com pessoas com deficiência visual para avaliar a clareza, a utilidade e a usabilidade da ferramenta em contextos educacionais autênticos. Também se destaca o aprimoramento do reconhecimento visual, com a integração de técnicas de visão computacional capazes de realizar a segmentação automática de elementos e a identificação das relações entre entidades antes do envio ao LLM.

Outra direção promissora envolve a exploração de modelos multimodais, utilizando versões mais recentes de LLMs com capacidade nativa de processamento conjunto de imagens e texto, a fim de otimizar a precisão e a coerência das descrições geradas. Além disso, pretende-se realizar a integração educacional da ferramenta em ambientes virtuais de aprendizagem, como o Moodle, possibilitando a geração automática de conteúdos acessíveis. Por fim, a personalização das descrições pode ser acrescentada, com a implementação de diferentes níveis de detalhamento textual de acordo com o perfil e as necessidades específicas de cada usuário. Essas ações visam ampliar o alcance e a aplicabilidade da ferramenta.

Em resumo, os resultados demonstraram que a integração entre modelos de linguagem, acessibilidade e educação inclusiva é não apenas viável, mas também promissora. Este trabalho possibilita um avanço na criação de soluções voltadas à inclusão, permitindo que estudantes com deficiência visual compreendam e interajam com diagramas conceituais de forma autônoma. Conclui-se que a inteligência artificial, quando aplicada com foco em acessibilidade, pode ser uma aliada poderosa na construção de uma educação mais justa, equitativa e participativa. Este trabalho contribui, portanto, para o fortalecimento de práticas pedagógicas inclusivas e para a disseminação de tecnologias que promovem o direito universal ao aprendizado e ao acesso à informação.

6. Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas algumas ferramentas de inteligência artificial. A ferramenta Grammarly foi utilizada para a revisão gramatical do Abstract, assim como as ferramentas Grok, Gemini, ChatGPT, DeepSeek e Claude foram utilizadas para a tradução textual dos diagramas conceituais de banco de dados, objetos desta pesquisa. O ChatGPT também foi utilizado para a formatação das tabelas apresentadas no trabalho.

Referências

- Alves, L., Rocha, L., Pereira, C., Machado, I., Viana, W., e Junior, N. A. (2022). Estudantes com deficiência visual em computação: participação, perspectivas e desafios enfrentados. In *Anais do II Simpósio Brasileiro de Educação em Computação*, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- BRASIL (2015). Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 21 jan. 2026.
- Heuser, C. A. (2009). *Projeto de Banco de Dados*. Bookman, Porto Alegre, 6 edition.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025). Censo demográfico 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- Moured, O., Baumgarten-Egemole, M., Müller, K., Roitberg, A., Schwarz, T., e Stiefelhaugen, R. (2024). Chart4blind: An intelligent interface for chart accessibility conversion. In *Proceedings of the 29th International Conference on Intelligent User Interfaces*, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Murillo-Morales, T. e Miesenberger, K. (2020). Audial: A natural language interface to make statistical charts accessible to blind persons. In *Computers Helping People with Special Needs*, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
- Sá, E., Campos, I., e Silva, M. (2007). Atendimento educacional especializado: deficiência visual. Disponível em: https://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/aee_dv.pdf. Acesso em: 21 jan. 2026.
- Zhao, Y., Nacenta, M. A., Sukhai, M. A., e Somanath, S. (2024). Tada: Making node-link diagrams accessible to blind and low-vision people. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.