

Inteligência Artificial no Suporte à Adaptação de Atividades de Computação para Estudantes com Deficiência Visual

Esteic Janaina Santos Batista¹, Leandro Soares Guedes²,
Amaury Antônio de Castro Junior¹, Débora Maria Barroso Paiva¹

¹Faculdade de Computação – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
Caixa Postal 549 – 79.070-900 – Campo Grande – MS – Brasil

²Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) – Campus Aquidauana
Caixa Postal 116 – 79.200-000 – Aquidauana – MS – Brazil

{esteic.batista, amaury.junior, debora.paiva}@ufms.br, leandro.guedes@ifms.edu.br

Abstract. *This paper investigates the use of Generative Artificial Intelligence (AI) to support the design of accessible computing activities for students with visual impairments. An exploratory study was conducted across four pedagogical scenarios: block-based programming, debugging in development environments, systems modeling, and chart-based assessments. Through Thematic Analysis, AI-generated adaptations were examined, identifying four recurring strategies: linearization of visual structures, preservation of student agency, sensory independence, and cognitive accessibility. The results indicate that Generative AI can support the conversion of visual artifacts into accessible representations, but its effectiveness depends on teacher mediation to ensure conceptual rigor and meaningful learning.*

Resumo. *Este artigo investiga o uso da Inteligência Artificial Generativa (IA-Gen) no suporte ao design de atividades de computação acessíveis para estudantes com deficiência visual. Foi conduzido um estudo exploratório em quatro cenários pedagógicos: programação em blocos, depuração em ambientes de desenvolvimento, modelagem de sistemas e avaliações baseadas em gráficos. Por meio de Análise Temática, foram examinadas adaptações geradas por IA, identificando-se quatro grupos de estratégias: linearização de estruturas visuais, preservação da agência do estudante, independência sensorial e acessibilidade cognitiva. Os resultados indicam que a IA Generativa pode apoiar a conversão de artefatos visuais em representações acessíveis, mas sua efetividade depende da mediação docente para garantir rigor conceitual e aprendizagem significativa.*

1. Introdução

A educação em computação enfrenta o desafio de garantir que o ensino seja acessível e equitativo para estudantes com diferentes perfis e necessidades [Stefik et al. 2011]. Esse desafio torna-se particularmente evidente em disciplinas técnicas nas quais, conforme destacam [Torres and Barwaldt 2019], os conceitos são frequentemente representados por diagramas, estruturas espaciais e interfaces visuais. Para estudantes com deficiência visual, essa dependência de representações gráficas pode criar barreiras significativas de acesso ao conteúdo e à participação em atividades de aprendizagem [Stefik et al. 2011, Torres and Barwaldt 2019].

Estudos apontam que essas barreiras envolvem não apenas limitações perceptivas, mas também dificuldades de interação com ferramentas educacionais e atrasos na disponibilização de materiais acessíveis [dos Santos Soares et al. 2024, Tripathi 2025]. A adaptação manual de diagramas, exercícios e representações visuais exige tempo e conhecimento especializado, o que frequentemente gera um descompasso entre o ritmo da aula e a disponibilidade de recursos acessíveis. Estratégias multissensoriais e abordagens tangíveis demonstram potencial para reduzir a carga cognitiva, porém sua aplicação em larga escala ainda enfrenta limitações relacionadas a custo, infraestrutura e tempo de preparação [Morrison et al. 2021, Baker et al. 2020].

Paralelamente, diversos marcos legais e técnicos reforçam a acessibilidade como requisito essencial ao desenvolvimento de tecnologias educacionais. No plano internacional, normas como a ISO/IEC 25010 [ISO/IEC 2023] e a ISO 9241-171 [ISO 2023] estabelecem a acessibilidade como um componente indissociável da qualidade de software. No cenário brasileiro, diretrizes como a ABNT NBR 17225 [ABNT 2025] e a ABNT NBR ISO 24495-1 [ABNT 2024] regulamentam a produção de conteúdos digitais acessíveis e com clareza linguística. Tais orientações são corroboradas tanto pela Lei Brasileira de Inclusão [Brasil 2015] quanto por recomendações da UNESCO [UNESCO 2020, UNESCO 2023], as quais posicionam a inclusão como pilar fundamental para o avanço tecnológico e pedagógico.

Neste contexto, a Inteligência Artificial Generativa (IAGen) apresenta-se como uma tecnologia estratégica para a adaptação de materiais instrucionais. Conforme evidenciado por [dos Santos 2024], modelos de linguagem possuem a capacidade de realizar a transposição semântica de representações visuais para formatos textuais estruturados. Tal funcionalidade mitiga a elevada carga operacional demandada por métodos manuais [Baker et al. 2020], o que, segundo [Tripathi 2025], é fundamental para garantir a sincronia pedagógica e evitar o isolamento do estudante com deficiência visual durante as atividades de aprendizagem.

Diante desse cenário, esta pesquisa investiga o uso da Inteligência Artificial Generativa (IAGen) como suporte ao design instrucional acessível no ensino de computação. O estudo examina como um modelo de linguagem baseado em IA generativa adapta artefatos pedagógicos predominantemente visuais em quatro cenários representativos do currículo: lógica de programação em blocos, depuração em ambientes de desenvolvimento, modelagem de sistemas e interpretação de gráficos. A investigação busca compreender de que maneira essas adaptações são produzidas e quais estratégias de acessibilidade emergem das recomendações geradas pela IA. Para examinar essas estratégias, as respostas produzidas pela IA foram analisadas por meio de Análise Temática, conforme o procedimento proposto por [Braun and Clarke 2006].

A análise revelou quatro padrões recorrentes nas adaptações propostas: linearização de estruturas visuo-espaciais, preservação da agência pedagógica, independência sensorial por meio de representações multimodais e acessibilidade cognitiva associada à organização textual da informação. A contribuição do estudo consiste em discutir essas estratégias à luz da literatura e de normas de acessibilidade, analisando seu potencial para apoiar a adaptação de atividades de computação e suas implicações para o design instrucional acessível.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o referencial teórico; a Seção 3 descreve o percurso metodológico; a Seção 4 discute os resultados da análise temática; e a Seção 5 apresenta as considerações finais.

2. Referencial Teórico

Esta seção apresenta três aspectos centrais para a inclusão no ensino de computação: as barreiras enfrentadas por estudantes com deficiência visual, as estratégias propostas na literatura para mitigá-las e os marcos normativos que orientam o desenvolvimento de soluções acessíveis. Esses elementos fundamentam a análise do uso da Inteligência Artificial Generativa como suporte ao design instrucional inclusivo.

2.1. Barreiras de Acessibilidade no Ensino de Computação

Pesquisas na área de educação em computação acessível indicam que estudantes com deficiência visual enfrentam barreiras relacionadas principalmente a três dimensões: perceptiva, interativa e temporal. No que se refere à dimensão perceptiva, Torres e Barwaldt [Torres and Barwaldt 2019] destacam que grande parte dos conceitos em computação é representada por diagramas, modelos e estruturas espaciais. Essas representações sintetizam relações complexas em artefatos visuais que nem sempre possuem equivalentes textuais capazes de preservar sua estrutura semântica. Como resultado, estudantes que utilizam leitores de tela podem ter dificuldade para construir modelos mentais dessas relações estruturais. De forma semelhante, [dos Santos Soares et al. 2024] observam que a ausência de descrições estruturadas para conteúdos visuais constitui uma das principais barreiras de acesso em ambientes de ensino digital.

A dimensão interativa refere-se às dificuldades de uso de ferramentas educacionais desenvolvidas com forte dependência de manipulação visual. [Hadwen-Bennett et al. 2018] mostram que linguagens de programação baseadas em blocos utilizam paradigmas de interação como “arrastar e soltar”, o que limita sua compatibilidade com tecnologias assistivas. Estudos conduzidos por [Van der Meulen et al. 2022] indicam que professores também percebem dificuldades significativas no uso dessas ferramentas por estudantes com deficiência visual. Mesmo em ambientes textuais, como ambientes de desenvolvimento integrado (IDEs), a interação apresenta desafios. Como apontam [Hadwen-Bennett et al. 2018], leitores de tela apresentam o código de forma sequencial, o que exige que o estudante reconstrua mentalmente a hierarquia estrutural do programa, aumentando a carga cognitiva durante atividades como depuração.

Além das dimensões perceptiva e interativa, estudos também apontam desafios relacionados ao tempo necessário para adaptar materiais didáticos para formatos acessíveis. [Tripathi 2025] observa que a conversão manual de diagramas, exercícios e representações visuais envolve etapas adicionais de produção e validação. Em contextos educacionais, essa demanda operacional pode atrasar a disponibilização de materiais acessíveis, dificultando que estudantes com deficiência visual acompanhem as atividades no mesmo ritmo da turma.

2.2. Estratégias de Mitigação e Lacunas na Literatura

Diversas estratégias têm sido propostas para reduzir barreiras de acessibilidade no ensino de computação. Entre elas, destacam-se abordagens multimodais baseadas

em representações táteis, que permitem explorar conceitos abstratos por meio da manipulação física de estruturas que representam comandos ou relações algorítmicas. [Morrison et al. 2021] demonstram que esse tipo de abordagem favorece a compreensão de conceitos de programação por estudantes com deficiência visual ao possibilitar a exploração espacial das relações lógicas. De forma complementar, [Van der Meulen et al. 2022] observam que representações tangíveis podem contribuir para a construção de modelos mentais mais estáveis durante o processo de aprendizagem.

Apesar dos benefícios, tais abordagens apresentam desafios de escalabilidade. A produção de materiais tangíveis demanda recursos financeiros, tempo de preparação e infraestrutura específica. Além disso, [Torres and Barwaldt 2019] observam que soluções baseadas em objetos físicos nem sempre suportam colaboração síncrona entre estudantes videntes e não videntes, uma vez que alterações realizadas em ambientes digitais podem não possuir correspondentes acessíveis imediatos em representações táteis. No contexto brasileiro, [dos Santos 2024] também destaca dificuldades operacionais associadas à produção e manutenção desses recursos em ambientes educacionais.

Outro desafio recorrente refere-se à comunicação pedagógica durante a apresentação de conteúdos técnicos. [dos Santos Soares et al. 2024] apontam que o uso de termos dêiticos, como “isto” ou “aqui”, e a ausência de descrições estruturadas podem gerar ambiguidades significativas para usuários de leitores de tela. Por essa razão, recomenda-se que instruções e explicações adotem descrições explícitas e hierárquicas, reduzindo a carga cognitiva associada à interpretação do conteúdo. Embora o Desenho Universal para Aprendizagem proponha a produção de materiais acessíveis desde sua concepção, [Tripathi 2025] argumentam que sua implementação em disciplinas técnicas ainda enfrenta limitações relacionadas à complexidade de adaptação de artefatos visuais.

2.3. Fundamentação Normativa e Padrões de Qualidade

A análise da acessibilidade no ensino de computação também pode ser orientada por referenciais normativos que estabelecem critérios para o desenvolvimento de tecnologias e conteúdos digitais inclusivos. No contexto brasileiro, a Lei Brasileira de Inclusão [Brasil 2015] define a acessibilidade como um direito fundamental e atribui às instituições educacionais a responsabilidade de garantir condições equitativas de acesso à informação e às tecnologias educacionais. Esse marco legal estabelece a base normativa para a adoção de práticas pedagógicas e tecnológicas voltadas à inclusão.

No campo da engenharia de software, a norma ISO/IEC 25010 [ISO/IEC 2023] incorpora a acessibilidade como uma subcaracterística da usabilidade, destacando que sistemas digitais devem atender a uma ampla diversidade de usuários. De forma complementar, a norma ISO 9241-171 [ISO 2023] apresenta diretrizes ergonômicas para o desenvolvimento de interfaces acessíveis, enfatizando requisitos de perceptibilidade, operabilidade e compatibilidade com tecnologias assistivas.

No contexto brasileiro, as normas ABNT NBR 17225 [ABNT 2025] e ABNT NBR 17060 [ABNT 2022] estabelecem requisitos específicos para a acessibilidade de conteúdos web e aplicativos móveis. Essas normas detalham critérios técnicos para garantir que interfaces digitais possam ser utilizadas por pessoas com diferentes necessidades de acesso. Complementarmente, a norma ABNT NBR ISO 24495-1 [ABNT 2024] introduz princípios de Linguagem Simples voltados à clareza informacional, recomendando a

produção de textos estruturados e livres de ambiguidades, aspecto particularmente relevante em contextos de interação mediada por leitores de tela.

2.4. IA Generativa no Suporte ao Design Instrucional Acessível

A Inteligência Artificial Generativa tem sido explorada como ferramenta de apoio ao design instrucional inclusivo, especialmente na adaptação de materiais educacionais visuais. Diferentemente de processos manuais de transcrição, sistemas de IA podem converter rapidamente diagramas e representações gráficas em descrições textuais estruturadas, favorecendo a participação síncrona de estudantes com deficiência visual nas atividades da disciplina [dos Santos 2024, Torres and Barwaldt 2019].

Esse processo ocorre principalmente por meio da engenharia de prompts, na qual o docente estrutura instruções que incorporam diretrizes pedagógicas e normativas. Ao incluir princípios das normas de acessibilidade como restrições de saída, é possível orientar o modelo a produzir adaptações que preservem a equivalência semântica entre o artefato visual original e sua representação textual [Baker et al. 2020, dos Santos et al. 2025].

Assim, a IA Generativa pode atuar como assistente no planejamento instrucional inclusivo, automatizando a criação de múltiplos meios de representação e reduzindo a carga operacional associada à adaptação manual de materiais, contribuindo para práticas alinhadas ao Desenho Universal para Aprendizagem [Tripathi 2025].

3. Metodologia

Este estudo adotou uma abordagem qualitativa de natureza exploratório-descritiva para investigar o uso da Inteligência Artificial Generativa (IAGen) como suporte ao design instrucional acessível no ensino de Computação. A pesquisa buscou compreender como um modelo de IAGen adapta atividades de computação predominantemente visuais para formatos acessíveis a estudantes com deficiência visual. O procedimento metodológico seguiu três etapas principais: (i) definição de cenários educacionais representativos, (ii) geração de recomendações por meio de um protocolo estruturado de *prompting* e (iii) análise interpretativa das respostas da IAGen por meio de Análise Temática realizada pelos pesquisadores deste trabalho, conforme o método proposto por Braun e Clarke [Braun and Clarke 2006].

3.1. Cenários de Estudo e Critérios de Avaliação

Foram selecionados quatro cenários representativos do currículo de computação: (1) lógica de programação em blocos, (2) depuração em ambientes de desenvolvimento (IDE), (3) modelagem de sistemas com diagramas UML/ER e (4) avaliações baseadas em gráficos. Esses contextos foram escolhidos por apresentarem barreiras de acessibilidade recorrentes na literatura, especialmente relacionadas à dependência de representações visuais [Stefik et al. 2011, Torres and Barwaldt 2019].

As adaptações geradas pela IA foram analisadas a partir de três dimensões avaliativas. A dimensão técnica baseou-se nas normas WCAG 2.2, ABNT NBR 17060:2022 e ISO 9241-171:2023, considerando aspectos como compatibilidade com tecnologias assistivas e equivalência semântica das conversões. A dimensão linguística foi orientada pela ABNT NBR ISO 24495-1:2024 (Linguagem Simples), avaliando a clareza textual e a ausência de referências visuais ambíguas, como expressões do tipo “veja este

laço” [ABNT 2024]. Por fim, a dimensão de qualidade foi analisada à luz da ISO/IEC 25010:2023, verificando se as adaptações preservavam o rigor conceitual e a agência do estudante durante o processo de aprendizagem [ISO/IEC 2023].

3.2. Protocolo de Geração do Prompt

As recomendações instrucionais foram geradas por meio do modelo ChatGPT (versão 5.3), buscando assegurar a reprodutibilidade do procedimento e sua viabilidade em contextos educacionais com recursos limitados. O protocolo de geração baseou-se em três padrões descritos na literatura de engenharia de prompts.

O prompt incorporou o padrão de persona (*Persona Pattern*), no qual o modelo foi instruído a assumir o papel de especialista em acessibilidade no ensino de computação. Segundo [Reynolds and McDonell 2021] e [White et al. 2023], a definição de uma persona orienta o modelo a produzir respostas alinhadas a um domínio específico de conhecimento, neste caso o design pedagógico inclusivo.

Adicionalmente, foram incorporadas restrições (*Constraint Pattern*) ao prompt, que representaram diretrizes normativas derivadas das normas ISO/IEC 25010 [ISO/IEC 2023], ISO 9241-171 [ISO 2023], ABNT NBR ISO 24495-1 [ABNT 2024] e recomendações WCAG. A inclusão dessas restrições orientou o modelo a considerar requisitos de acessibilidade, evitando dependências sensoriais excessivas e ambiguidades linguísticas na geração das adaptações.

E ainda, aplicou-se a técnica de raciocínio em cadeia (*Chain-of-Thought*), proposta por [Wei et al. 2022], incentivando o modelo a decompor o problema em etapas analíticas. O prompt solicitou explicitamente a identificação de barreiras, a discussão de seus impactos na aprendizagem e a justificativa das estratégias de adaptação sugeridas, em consonância com desafios descritos na literatura sobre acessibilidade em computação [Tripathi 2025, Hadwen-Bennett et al. 2018].

Todos os prompts utilizados e exemplos das respostas geradas foram documentados e disponibilizados no repositório do projeto¹, garantindo transparência e reprodutibilidade metodológica.

3.3. Análise Temática

Os dados gerados foram analisados por meio de Análise Temática (AT), seguindo as seis fases propostas por [Braun and Clarke 2006]. O método foi adotado pela flexibilidade interpretativa e pela capacidade de identificar padrões de significado em conjuntos complexos de dados qualitativos.

O processo analítico ocorreu de forma híbrida, combinando a interpretação dos autores do estudo com o suporte analítico da própria IA Generativa, utilizada como parceiro de codificação (*coding partner*), conforme discutido por [Gamielien et al. 2023]. A etapa de familiarização com os dados (Fase 1) consistiu na leitura integral dos registros produzidos nos quatro cenários investigados, com anotações iniciais sobre padrões observados, seguida da geração de códigos iniciais (Fase 2) que descreviam padrões de adaptação presentes nas respostas da IAGen.

¹<https://github.com/profesteicefacom/IA-Acessibilidade>

Os códigos foram agrupados em temas candidatos associados às barreiras técnicas de cada cenário (Fase 3 - busca por temas). A revisão dos temas (Fase 4) ocorreu em dois níveis: primeiro, dentro de cada cenário descrito em 3.1; depois, por análise transversal entre os cenários, identificando padrões recorrentes de adaptação acessível no ensino de computação.

O refinamento analítico (Fase 5 - definição e nomeação dos temas) resultou na consolidação de quatro categorias que sintetizam as principais estratégias identificadas no estudo. A interpretação final (Fase 6 - produção do relatório) foi conduzida pelos autores da pesquisa, discutindo implicações para o design instrucional acessível no ensino de computação.

4. Resultados e Discussão

Nesta seção, apresentam-se e discutem-se os achados derivados da análise das respostas geradas pela Inteligência Artificial Generativa (IAGen), confrontando-os com barreiras de acessibilidade documentadas na literatura e com critérios estabelecidos por normas técnicas de qualidade e acessibilidade. A Figura 1 apresenta o Mapa Temático Global resultante da análise qualitativa, sintetizando as principais estratégias de acessibilidade assistidas por IA identificadas nos diferentes cenários pedagógicos investigados.

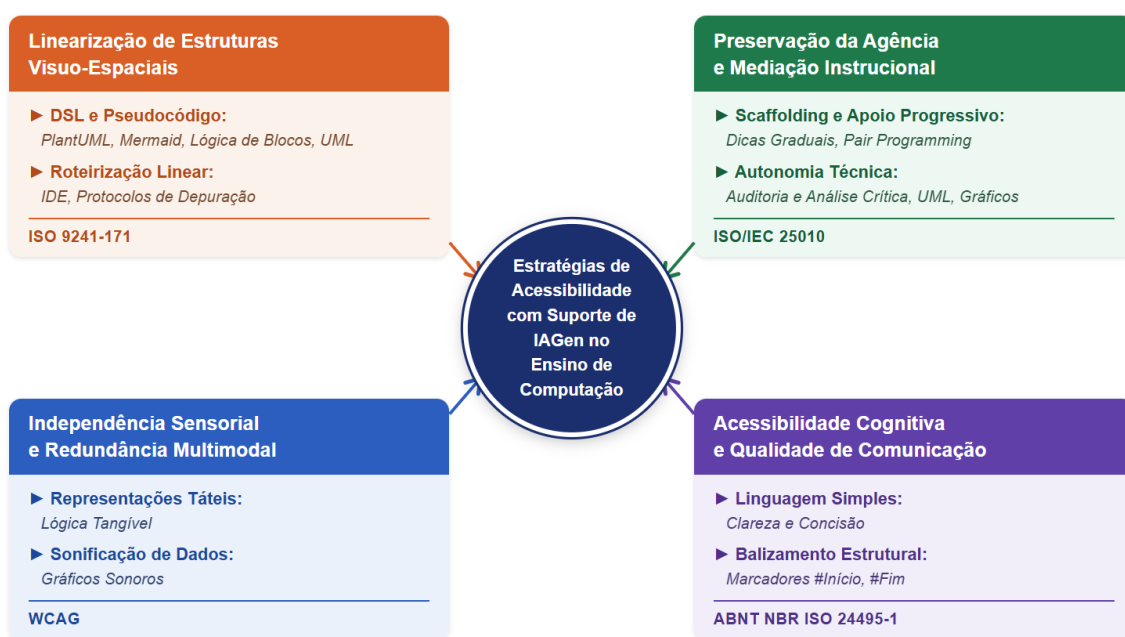


Figura 1. Mapa Temático Global: Estratégias de Acessibilidade com Suporte de IAGen no Ensino de Computação

A análise temática identificou quatro estratégias recorrentes nas adaptações propostas pelo modelo ao converter artefatos visuais em formatos acessíveis. Esses temas correspondem a: (i) linearização de estruturas visuo-espaciais, na qual representações gráficas são transformadas em sequências textuais ou lógicas; (ii) preservação da agência e mediação instrucional, associada à manutenção do protagonismo cognitivo do estudante; (iii) independência sensorial e redundância multimodal, envolvendo o uso de diferentes canais perceptivos para representar informações; e (iv) acessibilidade cognitiva e qualidade da comunicação, voltadas à organização textual clara e à redução de ambiguidades

linguísticas. Os pilares emergiram de forma recorrente nos quatro cenários analisados, indicando padrões transversais nas recomendações geradas pela IAGen.

A organização desses pilares dialoga diretamente com princípios consolidados na engenharia de acessibilidade digital. A linearização responde ao princípio de equivalência semântica presente na ISO 9241-171 [ISO 2023]; a preservação da agência relaciona-se à dimensão de eficácia em uso da ISO/IEC 25010 [ISO/IEC 2023]; a independência sensorial alinha-se aos princípios de perceptibilidade e operabilidade presentes em padrões de acessibilidade digital [ABNT 2025]; e a acessibilidade cognitiva relaciona-se às diretrizes de clareza informativa da norma de Linguagem Simples [ABNT 2024].

Todos os dados brutos utilizados na análise estão disponíveis publicamente no repositório GitHub do projeto, garantindo transparência e reprodutibilidade metodológica.

4.1. Linearização e a Barreira da Sintaxe Secundária

Nas respostas geradas para o Cenário 3 (modelagem UML), observou-se a recorrência de estratégias que transformavam diagramas visuais em representações textuais estruturadas. Em vários casos, sugeriu-se o uso de linguagens de modelagem textual, como PlantUML, para representar relações estruturais originalmente expressas em diagramas gráficos.

A prática caracteriza o processo de linearização de estruturas visuo-espaciais descrito no Pilar 1 da Figura 1. Do ponto de vista técnico, tal conversão está alinhada às recomendações da ISO 9241-171 [ISO 2023], que orienta que interfaces dependentes de representação espacial devem oferecer equivalentes estruturados compatíveis com tecnologias assistivas. A conversão de diagramas em código navegável tende a ampliar a compatibilidade com leitores de tela e reduzir a dependência de interfaces gráficas inacessíveis.

A análise crítica, contudo, revela um efeito colateral relevante: a introdução de uma barreira de sintaxe secundária. A substituição do diagrama visual por uma linguagem de modelagem exige que o estudante lide simultaneamente com dois domínios conceituais distintos: a lógica de modelagem e a sintaxe da linguagem textual. A literatura sobre acessibilidade em programação indica que a introdução de camadas sintáticas adicionais pode aumentar a carga cognitiva e dificultar o processo inicial de aprendizagem [Hadwen-Bennett et al. 2018, Aljarallah and Dutta 2024].

Surge, portanto, uma tensão entre conformidade normativa e viabilidade pedagógica. Embora a conversão para representação textual atenda a critérios técnicos de acessibilidade, a estratégia pode introduzir novas barreiras cognitivas quando aplicada sem mediação pedagógica adequada.

4.2. Agência Pedagógica e a Lacuna do Processo de Inferência

No Cenário 4, relacionado à interpretação de gráficos, observou-se que a IA frequentemente propôs substituir representações gráficas por tabelas de valores ou descrições textuais das relações matemáticas representadas. Essa abordagem permite que estudantes cegos tenham acesso aos dados originalmente apresentados de forma visual.

Essa estratégia relaciona-se ao Pilar 2 do modelo proposto, associado à preservação da agência pedagógica. Diferentemente de adaptações que simplificam o conteúdo, as respostas da IAGen mantiveram o desafio conceitual das atividades, alinhando-se à dimensão de eficácia em uso definida pela ISO/IEC 25010

[ISO/IEC 2023]. Essa norma enfatiza que sistemas devem permitir que usuários alcancem seus objetivos de forma eficiente e autônoma.

No entanto, a análise revelou uma lacuna importante no processo de inferência pedagógica. Embora a IAGen forneça os dados necessários para compreender as relações representadas no gráfico, ela raramente orienta o estudante sobre como interpretar essas relações conceitualmente. A literatura sobre ensino de computação para pessoas com deficiência visual indica que a compreensão de tendências algorítmicas depende de estratégias de comparação e abstração, e não apenas da disponibilização de dados [Torres and Barwaldt 2019, dos Santos Soares et al. 2024].

Esse resultado evidencia uma limitação frequente nas recomendações de sistemas de IAGen aplicados à educação. Embora a IAGen demonstre capacidade de sugerir a representação de informações visuais em formatos textuais acessíveis, as respostas analisadas apresentaram dificuldades em estruturar orientações pedagógicas que apoiem a construção conceitual do estudante [UNESCO 2023].

4.3. Independência Sensorial e Redundância Multimodal

No Cenário 1 (programação em blocos), diversas respostas da IAGen sugeriram o uso de estratégias baseadas em representações tangíveis, como a utilização de peças físicas para representar comandos e estruturas de controle. Essas recomendações indicam uma tentativa de reduzir a dependência exclusiva de representações visuais.

Essa estratégia corresponde ao Pilar 3 do modelo identificado na análise temática, relacionado à promoção da independência sensorial por meio de abordagens multimodais. A literatura aponta que representações táteis podem facilitar a compreensão de estruturas algorítmicas ao permitir que estudantes cegos explorem relações espaciais por meio da manipulação física de objetos [Morrison et al. 2021].

Contudo, a análise revelou uma limitação recorrente nas recomendações da IA: a ausência de orientações operacionais para implementação dessas estratégias. Embora a tecnologia identifique a relevância de abordagens tangíveis, ela raramente fornece especificações práticas para sua construção, como modelos de peças, parâmetros de impressão 3D ou instruções para produção de materiais táteis.

Essa lacuna evidencia a diferença entre suporte conceitual e suporte operacional. Enquanto a IAGen demonstra capacidade para identificar estratégias pedagógicas alinhadas à literatura, sua aplicação prática ainda depende da mediação do professor e de recursos institucionais disponíveis [Luque et al. 2018, Baker et al. 2020].

4.4. Acessibilidade Cognitiva e a Complexidade da Usabilidade Auditiva

No Cenário 2, relacionado ao uso de ambientes de desenvolvimento, observou-se que a IAGen frequentemente sugeriu a inclusão de marcadores textuais adicionais para explicitar a estrutura hierárquica do código, como #Início e #Fim.

Tal estratégia busca substituir pistas visuais de organização espacial, como indentação ou delimitação de blocos; e está associada ao Pilar 4 da análise temática, voltado à acessibilidade cognitiva e à qualidade da comunicação. As recomendações demonstram aderência às diretrizes da norma ABNT NBR ISO 24495-1 [ABNT 2024], que orienta a produção de textos claros e livres de ambiguidades linguísticas.

Entretanto, a análise revelou limitações relacionadas à usabilidade auditiva. Como leitores de tela apresentam informações de forma sequencial, a inclusão de múltiplos marcadores estruturais pode gerar sobrecarga auditiva, especialmente em códigos extensos. Nesses casos, o estudante precisa processar uma grande quantidade de metadados antes de acessar o conteúdo lógico principal.

Estudos sobre programação acessível indicam que essa sobrecarga auditiva pode comprometer a construção de modelos mentais do programa, dificultando atividades de compreensão estrutural e depuração [Hadwen-Bennett et al. 2018, Van der Meulen et al. 2022]. Esse resultado sugere que a aplicação de princípios de linguagem simples em contextos de programação deve considerar também a densidade informacional do fluxo auditivo, equilibrando clareza textual e eficiência cognitiva.

5. Considerações Finais

O presente trabalho investigou o uso da Inteligência Artificial Generativa como suporte ao design instrucional acessível no ensino de Computação para estudantes com deficiência visual. A análise de quatro cenários pedagógicos indicou que sistemas de IAGen podem gerar adaptações textuais de artefatos visuais, alinhadas a princípios das normas ISO 9241-171 e ABNT NBR 17225 [ISO 2023, ABNT 2025]. A análise temática revelou quatro pilares recorrentes nas adaptações: linearização de estruturas visuais, preservação da agência pedagógica, independência sensorial e acessibilidade cognitiva.

Como limitações, a investigação foi conduzida em cenários controlados e baseada em um único modelo de linguagem, sem estudo comparativo entre diferentes sistemas de IAGen, o que restringe a generalização dos resultados. As recomendações geradas apresentam ainda caráter predominantemente conceitual, carecendo de orientações operacionais para implementação prática. Estudos futuros devem avaliar essas estratégias em ambientes reais, com participação de estudantes com deficiência visual desde as fases iniciais de validação, e conduzir comparações entre diferentes modelos de IA para ampliar o uso da inteligência artificial no design instrucional inclusivo.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo número 189094/2025-7, e da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect), processo número 83/043.875/2025.

Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Além do uso de IA explicitado na pesquisa por fazer parte do estudo, utilizou-se também os modelos ChatGPT e Gemini como apoio na revisão linguística e na geração da imagem do mapa da análise temática, a partir de uma estrutura conceitual previamente definida e descrita pelas pessoas autoras.

Referências

ABNT (2022). *ABNT NBR 17060:2022 - Acessibilidade em aplicativos de dispositivos móveis — Requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.abntcolegao.com.br/>. Acesso em: 5 mar. 2026.

- ABNT (2024). *ABNT NBR ISO 24495-1:2024 - Linguagem Simples — Parte 1: Princípios e diretrizes norteadoras*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.abntcolegao.com.br/>. Acesso em: 5 mar. 2026.
- ABNT (2025). *ABNT NBR 17225:2025 - Acessibilidade em conteúdo e aplicações web - Requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 5 mar. 2026.
- Aljarallah, N. A. and Dutta, A. K. (2024). A systematic review on developing computer programming skills for visually impaired students. *Journal of Disability Research*, 3(2):20240018.
- Baker, C. M., El-Glaly, Y. N., and Shinohara, K. (2020). A systematic analysis of accessibility in computing education research. In *Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, pages 107–113.
- Brasil (2015). Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Diário Oficial da União, Brasília, 7 de julho de 2015.
- Braun, V. and Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2):77–101.
- dos Santos, N. S. (2024). Acessibilidade no ensino de computação para estudantes com deficiência visual. Dissertação (mestrado em computação aplicada), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, MS. Acesso em: 7 mar. 2026.
- dos Santos, N. S., de Oliveira Santana, D., and Pereira, C. P. (2025). Inteligência artificial e acessibilidade: Uma experiência de inclusão para programadores cegos em ambientes de desenvolvimento. In *Simpósio Brasileiro de Educação em Computação (EDUCOMP)*, pages 502–515. SBC.
- dos Santos Soares, M., Furukawa, Cássio Andrade e Cagnin, M. I., and Paiva, D. M. B. (2024). Accessibility barriers for blind students in teaching-learning systems. *Journal of Universal Computer Science*, 30(10):1342.
- Gamiendien, Y., Case, J. M., and Katz, A. (2023). Advancing qualitative analysis: An exploration of the potential of generative ai and nlp in thematic coding. *Available at SSRN 4487768*.
- Hadwen-Bennett, A., Sentance, S., and Morrison, C. (2018). Making programming accessible to learners with visual impairments: a literature review. *International Journal of Computer Science Education in Schools*, 2(2):3–13.
- ISO (2023). *ISO 9241-171:2023: Ergonomics of human-system interaction — Part 171: Guidance on software accessibility*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO/IEC (2023). *ISO/IEC 25010:2023: Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Product quality model*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Luque, L., Brandão, L. O., Kira, E., and Brandão, A. A. (2018). On the inclusion of learners with visual impairment in computing education programs in brazil: practices

- of educators and perceptions of visually impaired learners. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 24(1):4.
- Morrison, C., Villar, N., Hadwen-Bennett, A., Regan, T., Cletheroe, D., Thieme, A., and Sentance, S. (2021). Physical programming for blind and low vision children at scale. *Human-Computer Interaction*, 36(5-6):535–569.
- Reynolds, L. and McDonell, K. (2021). Prompt programming for large language models: Beyond the few-shot paradigm. In *Extended abstracts of the 2021 CHI conference on human factors in computing systems*, pages 1–7.
- Stefik, A. M., Hundhausen, C., and Smith, D. (2011). On the design of an educational infrastructure for the blind and visually impaired in computer science. In *Proceedings of the 42nd ACM technical symposium on Computer science education*, pages 571–576.
- Torres, M. J. R. and Barwaldt, R. (2019). Approaches for diagrams accessibility for blind people: a systematic review. In *2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, pages 1–7. IEEE.
- Tripathi, Vaanee e Thakkar, A. (2025). Accessibility beyond accommodations: A systematic redesign of introduction to computer science for students with visual impairments. *arXiv preprint arXiv:2508.05056*.
- UNESCO (2020). Draft recommendation on the ethics of artificial intelligence. Technical report, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France. SHS/IGBC-AD HOC/2020/1.
- UNESCO (2023). Global education monitoring report 2023: Technology in education: A tool on whose terms? Technical report, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France.
- Van der Meulen, A., Hartendorp, M., Voorn, W., and Hermans, F. (2022). The perception of teachers on usability and accessibility of programming materials for children with visual impairments. *ACM Transactions on Computing Education*, 23(1):1–21.
- Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Xia, F., Chi, E., Le, Q. V., Zhou, D., et al. (2022). Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models. *Advances in neural information processing systems*, 35:24824–24837.
- White, J., Fu, Q., Hays, S., Sandborn, M., Olea, C., Gilbert, H., Elnashar, A., Spencer-Smith, J., and Schmidt, D. C. (2023). A prompt pattern catalog to enhance prompt engineering with chatgpt. *arXiv preprint arXiv:2302.11382*.