

SISTEMA MULTIAGENTE COM SUPERVISÃO HUMANA PARA A CRIAÇÃO DE ANIMAÇÕES MULTIMODAIS DE PROBLEMAS OLÍMPICOS COM MANIM E IA GENERATIVA

Jefferson Barbosa de Lima 

Universidade Federal de Ouro Preto - jefferson.barbosa.mat@gmail.com

Resumo: A criação de animações matemáticas educativas a partir de problemas de olimpíadas apresenta desafios pedagógicos e computacionais, especialmente no alinhamento entre clareza visual e narrativa multimodal. Este trabalho apresenta o **Olympianim**, um sistema multiagente baseado em Inteligência Artificial Generativa e na biblioteca Manim, projetado sob a perspectiva da autoria supervisionada pelo professor. A arquitetura divide o processo de criação entre agentes especializados em planejamento pedagógico, resolução, geração e correção de código, possibilitando a produção de dois vídeos distintos por problema: um focado na apresentação e investigação do desafio e outro na sua resolução. A metodologia, de natureza aplicada e exploratória, analisou qualitativamente 20 vídeos produzidos a partir de 10 problemas de olimpíadas brasileiras de matemática. Os resultados mostram que a automação apoiou a construção dos elementos visuais e que, no corpus analisado, a supervisão humana iterativa foi necessária para corrigir falhas de sobreposição, erros de notação e problemas de sincronização temporal. Conclui-se que, no corpus analisado, a combinação do fluxo multiagente com a revisão do professor-autor favoreceu a preservação da fidelidade matemática e da coerência pedagógica das animações, oferecendo uma contribuição para o ensino e a visualização em matemática.

Palavras-chave: Inteligência artificial generativa; Sistemas multiagentes; Animação matemática.

A MULTI-AGENT SYSTEM WITH HUMAN SUPERVISION FOR CREATING MULTIMODAL ANIMATIONS OF OLYMPIAD PROBLEMS WITH MANIM AND GENERATIVE AI

Abstract: Creating educational mathematical animations based on olympiad problems poses pedagogical and computational challenges, particularly in aligning visual clarity with multimodal narrative. This study presents **Olympianim**, a multi-agent system based on Generative Artificial Intelligence and the Manim library, designed from the perspective of teacher-supervised authorship. Its architecture divides the creation process among agents specialized in pedagogical planning, problem solving, code generation, and code correction, enabling the production of two distinct videos for each problem: one focused on presenting and exploring the challenge and the other on its solution. Using an applied and exploratory approach, the study qualitatively analyzed 20 videos produced from 10 Brazilian mathematics olympiad problems. The results show that automation supported the construction of visual elements and that, within the analyzed corpus, iterative human supervision was necessary to correct overlapping elements, notation errors, and temporal synchronization problems. It is concluded that, within the analyzed corpus, combining the multi-agent workflow with teacher-author review helped preserve the mathematical accuracy and pedagogical coherence of the animations, offering a contribution to mathematics teaching and visualization.

Keywords: Generative artificial intelligence; Multi-agent systems; Mathematical animation.

1. Introdução

Problemas de olimpíadas de matemática ocupam uma posição particular entre avaliação e formação, pois, embora sejam propostos em um contexto competitivo, também constituem um acervo de situações desafiadoras e não rotineiras que pode ser retomado em aulas, círculos e clubes de matemática, além de atividades extracurriculares e de aprofundamento (Falk de Losada; Taylor, 2022). Em vez de exigir somente a aplicação direta de procedimentos previamente conhecidos, muitas dessas questões requerem a interpretação de dados e condições, a escolha de representações adequadas, a formulação e o teste de conjecturas, o monitoramento das decisões e a justificativa do caminho adotado, aproximando a atividade olímpica de uma concepção de resolução de problemas na qual compreender, planejar, executar e examinar a solução não correspondem a etapas rígidas e lineares, mas a movimentos interdependentes que podem ser retomados e reformulados ao longo do processo (Mason; Burton; Stacey, 2010; Pólya, 1995; Schoenfeld, 1985).

No Brasil, a Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas (OBMEP) ampliou a circulação social desse tipo de problema ao reunir provas, bancos de questões, programas de iniciação científica, materiais de formação e recursos digitais, sendo promovida pelo Instituto de Matemática Pura e Aplicada desde 2005 com o objetivo de estimular o estudo da matemática e identificar e desenvolver estudantes com interesse e potencial na área (Instituto de Matemática Pura e Aplicada, 2026). A disponibilidade pública desse acervo permite retomar as questões em discussões coletivas e incorporá-las a diferentes contextos de formação matemática.

Uma dificuldade importante na produção desses materiais está em tornar o raciocínio matemático visualmente compreensível, já que uma solução escrita pode condensar em poucas linhas mudanças de representação que o leitor precisa reconstruir mentalmente, como a decomposição de uma figura, o deslocamento de um objeto, a atualização de uma tabela ou a comparação entre diferentes casos. A animação pode tornar esse processo mais visível ao manter referências na tela, destacar relações e apresentar transformações ao longo do tempo, mas isso exige mais do que simplesmente movimentar símbolos, pois é preciso decidir o que o estudante deve visualizar em cada momento, quais elementos devem surgir

durante a explicação, quanto tempo deve ser reservado para a observação e quando um resultado pode ser apresentado sem comprometer o caráter investigativo do problema.

O *Manim Community Edition* é uma biblioteca de código aberto baseada em Python, desenvolvida para a criação programática de animações matemáticas, permitindo controlar objetos, fórmulas, transformações, movimentos e o tempo de cada cena (Manim Community Developers, 2026). Embora ofereça grande liberdade de criação, seu uso exige que quem produz o material transforme a solução matemática em um roteiro visual, escreva o código, distribua os elementos na tela e corrija eventuais falhas de execução ou renderização, o que torna o processo trabalhoso e interdisciplinar. A Inteligência Artificial Generativa (IA Gen) pode auxiliar nessas tarefas ao produzir soluções, planos de apresentação, roteiros e trechos de código, mas os modelos de linguagem ainda podem gerar argumentos incompletos, utilizar comandos incompatíveis com a biblioteca, criar cenas tecnicamente executáveis, porém visualmente inadequadas, ou apresentar elementos antes do momento indicado pela narração. Estudos recentes sobre a geração automática de animações com Manim destacam justamente que essa atividade exige a combinação de raciocínio matemático e espacial, organização temporal das cenas e conhecimento de uma API pouco representada nos dados gerais de treinamento dos modelos (Silva et al., 2026).

Diante desse problema, a pesquisa parte da seguinte questão: *como organizar, em um sistema multiagente com supervisão humana por etapas, a produção de animações de problemas olímpicos matematicamente fiéis e audiovisualmente coerentes, preservando as funções distintas de apresentação e resolução?* Para discutir essa questão, o artigo apresenta o desenvolvimento do **Olympianim**, no qual agentes especializados assumem tarefas específicas e o professor-autor intervém em pontos definidos para avaliar e validar o material produzido. Ao longo do texto, a expressão professor-autor designa a pessoa responsável pelas decisões matemáticas, pedagógicas e audiovisuais no sistema.

Para cada problema, o *software* gera dois vídeos complementares: o primeiro organiza e apresenta visualmente o enunciado, estimulando a observação sem antecipar a estratégia de resolução, enquanto o segundo desenvolve de maneira gradual e justificada o raciocínio matemático; neste trabalho, esses materiais são considerados multimodais por articularem

temporalmente narração, linguagem escrita, notação simbólica, diagramas, imagens e transformações animadas.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho é desenvolver e apresentar o **Olympianim** como *software* educacional voltado a essa produção e analisar como as decisões matemáticas, visuais e narrativas aparecem nos materiais gerados. A análise considera a fidelidade matemática, a distinção entre apresentação e resolução, a continuidade das representações, a relação entre narração e imagem e a legibilidade, além de discutir as limitações do estudo e do sistema. Parte-se da hipótese de que a divisão do processo entre agentes especializados, apoiada por uma base matemática comum e por revisões humanas sucessivas, favoreça a produção de dois vídeos complementares para cada problema. Espera-se que o primeiro preserve o caráter investigativo do enunciado e que o segundo desenvolva um argumento matematicamente fiel, com representações legíveis e articuladas à narração.

2. Base teórica

2.1 Olimpíadas de Matemática e resolução de problemas

Na perspectiva de Pólya, resolver um problema envolve compreender a situação, elaborar um plano, executá-lo e, por fim, examinar o caminho percorrido e a resposta obtida (Pólya, 1995). Esses movimentos não formam uma receita pronta, mas funcionam como orientações que ajudam o resolvidor a interpretar os dados, estabelecer relações e avaliar se a estratégia adotada permanece adequada. Ao estudar o pensamento matemático em situações de resolução, Schoenfeld (1985) mostra que o desempenho depende não apenas dos conhecimentos disponíveis, mas também do repertório de estratégias, das crenças sobre a Matemática e da capacidade de acompanhar e controlar o próprio processo. Escolher um caminho, observar seu progresso, revisar decisões e abandonar uma tentativa pouco produtiva fazem parte da atividade matemática, embora essas ações nem sempre apareçam em uma solução escrita, que geralmente apresenta apenas a sequência final já organizada.

Os problemas olímpicos acentuam esse caráter ao integrarem conhecimentos escolares de maneira original e pouco rotineira, demandando esforço inventivo em vez da mera aplicação de procedimentos padronizados. Como observam Falk de Losada e Taylor

(2022), um único enunciado pode suscitar diversas vias de solução e mobilizar recursos heurísticos como o pensamento inverso, o uso de invariantes, técnicas de coloração ou conceitos de probabilidade, enriquecendo o repertório de estratégias do resolvidor. Sob essa perspectiva, é importante diferenciar a solução como produto da resolução como processo: enquanto a primeira registra um caminho final elegante e já estabilizado, a segunda constitui um percurso dinâmico e muitas vezes tortuoso, que abrange desde a assimilação ativa dos dados e a formulação de conjecturas até o monitoramento e a validação contínua das conclusões (Mason; Burton; Stacey, 2010).

Falk de Losada e Taylor (2022) discutem o uso de problemas de competições como materiais para aulas, círculos e clubes de matemática, o que permite tratá-los como oportunidades de formação e não apenas como instrumentos de classificação. Nesse contexto, o trabalho pode começar pela compreensão do enunciado e pela exploração de possibilidades antes da apresentação de uma resolução organizada. Mason, Burton e Stacey (2010) orientam essa exploração por meio de perguntas voltadas à identificação do que se conhece, do que se pretende obter e dos elementos que podem ser introduzidos, como diagramas, símbolos, tabelas e outras formas de representação. Essas questões ajudam a investigar o problema sem fornecer diretamente o caminho da solução. Em um momento posterior, a sistematização deve organizar o raciocínio, explicitar suas relações lógicas e verificar as transformações realizadas, em consonância com o retrospecto proposto por Pólya (1995).

2.2 Visualização matemática, Manim e animações educacionais

Visualizar em Matemática não significa apenas acrescentar uma imagem a um conteúdo já compreendido, pois as representações externas também podem participar da construção do raciocínio ao favorecer a percepção de padrões, o registro de resultados intermediários e a comparação entre diferentes estados de uma situação. Arcavi (2003) compreende a visualização como a capacidade de criar, interpretar e refletir sobre imagens e diagramas para comunicar ideias, desenvolvê-las e ampliar a compreensão, o que se torna especialmente importante quando a notação simbólica esconde relações espaciais ou quando a resolução exige que diversas informações sejam consideradas ao mesmo tempo.

Uma meta-análise que reuniu 41 estudos e 10.562 participantes identificou efeitos positivos do uso de visualizações externas na aprendizagem matemática, embora os resultados tenham variado conforme as características das intervenções, dos estudantes e das formas de avaliação utilizadas (Schoenherr; Strohmaier; Schukajlow, 2024). Isso mostra que a simples presença de imagens não garante melhor compreensão, uma vez que cada representação precisa estar relacionada à atividade cognitiva que se pretende apoiar, seja para tornar visível uma transformação geométrica, explicitar a correspondência entre termos, comparar diferentes casos ou reduzir a quantidade de informações que o estudante precisa manter simultaneamente na memória de trabalho.

O mesmo cuidado se aplica às animações. Berney e Bétrancourt (2016) identificam uma vantagem média das representações animadas em relação às estáticas em determinadas condições, mas a diversidade dos estudos analisados impede concluir que o movimento, por si só, favoreça a aprendizagem. Como a informação animada é transitória, muitos elementos simultâneos podem dificultar seu processamento. Por isso, os princípios da aprendizagem multimídia recomendam eliminar informações irrelevantes, aproximar a narração de seu referente visual, segmentar explicações complexas e utilizar sinais que orientem a atenção para os elementos centrais (Mayer, 2020).

No Manim, a construção programática das cenas permite expressar relações estruturais entre os elementos matemáticos, como alinhar termos, transformar uma expressão em outra, associar um ponto a uma trajetória ou atualizar dinamicamente uma medida (Manim Community Developers, 2026). Essa característica favorece a produção de animações nas quais as mudanças visuais acompanham o desenvolvimento do raciocínio, mas também exige decisões sobre composição, legibilidade e temporalidade. Pesquisas brasileiras têm discutido seu uso na formação inicial de professores, na produção de objetos digitais e na visualização de conteúdos de álgebra e geometria (Castillo; Sánchez, 2025; Fiori; Piton-Gonçalves, 2025; Lima; Abreu, 2025; Lima; Lourêdo, 2026).

Como sua arquitetura é extensível, o Manim admite plugins que acrescentam funcionalidades ao seu núcleo (Manim Community Developers, 2026). Entre eles, o Manim Voiceover integra a narração às cenas e oferece recursos de temporização e sincronização que

favorecem a coordenação entre áudio e imagem (Manim Community Developers, 2024). Esses recursos, articulados ao planejamento matemático e pedagógico, permitem ajustar a entrada, a permanência e o destaque dos elementos visuais de acordo com o desenvolvimento da explicação.

2.3 IA Gen, prompts e sistemas multiagentes

Modelos de IA Gen produzem respostas a partir de padrões aprendidos durante o treinamento e das informações fornecidas no momento da interação. No campo educacional, essa capacidade amplia as possibilidades de criação de exemplos, elaboração de explicações e apoio ao trabalho docente, mas também exige cautela, pois uma resposta pode apresentar linguagem convincente mesmo quando contém erros conceituais, argumentos incompletos ou conclusões sem justificativa suficiente. Uma revisão sistemática recente reconhece o potencial da IA Gen para apoiar o planejamento e a produção de materiais em Educação Matemática, ao mesmo tempo que destaca limitações relacionadas à precisão, à dependência tecnológica e à necessidade de uma postura crítica diante dos conteúdos gerados (Turmuzi; Azmi; Kertiyan, 2026). Em orientação publicada pela UNESCO, Miao e Holmes (2023) recomendam que a adoção dessas tecnologias permaneça voltada a finalidades humanas e inclua critérios de validação, responsabilidade e adequação ao contexto educacional.

O *prompt* medeia a interação entre o usuário e o modelo ao definir a tarefa, o contexto, as restrições e a forma esperada da resposta. Padrões reutilizáveis podem tornar essas instruções mais claras e adaptáveis (White et al., 2023), mas não eliminam a variabilidade das saídas.

Quando o modelo é inserido em uma estrutura com objetivos, estado, contexto e possibilidade de executar ou solicitar ações, passa a atuar como parte de um agente. Em sistemas multiagentes, agentes autônomos interagem para executar tarefas e podem dividir o problema, compartilhar resultados e coordenar atividades interdependentes (Wooldridge, 2009). No sistema proposto, essa organização é concretizada por instruções, ferramentas e contextos próprios para cada etapa, sem exigir necessariamente um modelo diferente para cada função. A divisão é pertinente porque a correção da solução, o planejamento pedagógico, a organização visual e a validade do código estão relacionados, mas

correspondem a problemas distintos e precisam ser verificados por critérios também distintos.

Alguns trabalhos recentes já aproximam agentes de IA Gen e a produção de animações com Manim. O TheoremExplainAgent organiza o planejamento e a geração de vídeos extensos para a explicação de teoremas, embora sua avaliação ainda registre problemas de disposição e organização visual em parte dos materiais produzidos (Ku et al., 2025). O Manimator transforma artigos e instruções em descrições estruturadas de cenas antes de gerar o código executável (P et al., 2025). Por sua vez, Silva et al. (2026) investigam estratégias de treinamento e inferência nas quais o renderizador e a documentação participam do ciclo de geração, mostrando que a validade do código e a semelhança visual avaliam dimensões complementares do resultado.

Esses trabalhos mostram avanços na geração de animações e no uso de agentes especializados, mas não têm como foco a produção articulada de um vídeo que preserve a exploração do problema e de outro que desenvolva sua resolução sob decisões sucessivas do professor-autor. É nessa lacuna que se situa o sistema apresentado neste estudo.

3. Metodologia

3.1 Natureza do estudo e materiais analisados

Quanto à natureza, o estudo é aplicado, pois desenvolve e examina um protótipo voltado a uma necessidade concreta de autoria docente, e exploratório quanto aos objetivos, porque busca compreender como decisões matemáticas, visuais e narrativas se relacionam nesse fluxo. Essa classificação segue Prodanov e Freitas (2013), que associam a pesquisa aplicada à solução de problemas específicos e a exploratória à ampliação das informações disponíveis sobre o objeto.

O estudo descreve o **Olympianim** e analisa qualitativamente os materiais audiovisuais produzidos com o sistema. Como o sentido dos vídeos resulta da combinação de diferentes modos, imagem, narração, notação e transformação foram examinadas em conjunto, de acordo com a perspectiva multimodal de Bateman e Schmidt (2012).

O corpus reúne dez projetos completos, cada um formado por um vídeo de apresentação e outro de resolução. A escolha dos problemas foi intencional e considerou a disponibilidade do enunciado e da solução ou gabarito em fonte oficial, a presença de diferentes níveis e competições e a variedade de conteúdos e representações matemáticas.

Com base nesses critérios, foram selecionados seis problemas da primeira fase da 20ª OBMEP, distribuídos entre os níveis 1, 2 e 3 (Instituto de Matemática Pura e Aplicada, 2025a), dois problemas da primeira fase da 4ª Olimpíada Mirim no nível Mirim 1 (Instituto de Matemática Pura e Aplicada, 2025b) e dois problemas da VII Competição Elon Lages Lima (Associação Olimpíada Brasileira de Matemática, 2026). As bases matemáticas foram elaboradas a partir dos gabaritos e materiais oficiais das competições. O conjunto reúne problemas aritméticos, algébricos, geométricos, combinatórios e de cálculo e permite examinar o funcionamento do sistema diante de diferentes conteúdos e representações. A Tabela 1 identifica a origem e o foco matemático dos projetos.

Tabela 1 – Composição do corpus analisado.

ID	Origem	Foco matemático
M5	Olimpíada Mirim, Mirim 1, Q5	Deslocamentos em uma régua
M6	Olimpíada Mirim, Mirim 1, Q6	Intervalos de tempo e organização de horários
N1–7	20ª OBMEP, nível 1, Q7	Adjacência e ordenação em um grafo
N2–1	20ª OBMEP, nível 2, Q1	Geometria plana e comparação de áreas
N2–11	20ª OBMEP, nível 2, Q11	Relações entre áreas de triângulos
N3–1	20ª OBMEP, nível 3, Q1	Aritmética de Algarismos
N3–8	20ª OBMEP, nível 3, Q8	Relação funcional e substituição algébrica
N3–15	20ª OBMEP, nível 3, Q15	Contagem e probabilidade

E1	Competição Elon Lages Lima, Q1	Limite e derivadas
E2	Competição Elon Lages Lima, Q2	Desigualdades e otimização

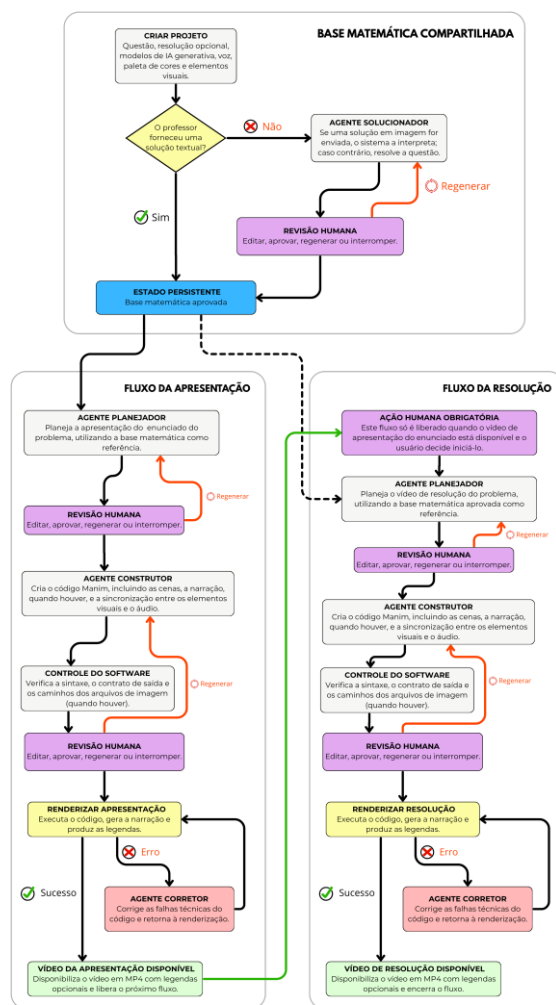
Fonte: Elaboração própria.

Além dos vinte vídeos finais, a análise incluiu os códigos de apresentação e resolução, as versões preservadas pelo editor e os registros das correções realizadas. Também foram selecionados três pares de quadros, anteriores e posteriores à revisão, que ilustram diferentes falhas visuais encontradas durante a produção. As configurações dos modelos de texto, visão e voz utilizados estão registradas na [página pública do projeto](#).

3.2 Arquitetura e fluxo do sistema multiagente

A Figura 1 apresenta a construção da base matemática compartilhada e os fluxos de apresentação e resolução.

Figura 1 – Fluxo de construção das animações no Olympianim



Fonte: Elaboração própria.

O professor-autor fornece a questão e pode incluir uma solução. Quando isso ocorre, o texto é adotado como base aprovada. Na ausência de uma solução textual, o agente solucionador interpreta as imagens disponíveis ou resolve o problema a partir do enunciado, submetendo o resultado à revisão humana. Somente a versão aprovada orienta a produção dos dois vídeos.

Cada agente recebe uma instrução que define sua tarefa, os materiais de entrada, o resultado esperado e os limites de atuação. Na criação do vídeo de apresentação, o agente planejador organiza os dados e as perguntas sem revelar a estratégia de resolução, enquanto, no fluxo de resolução, iniciado somente após a autorização do professor-autor, desenvolve o

argumento matemático aprovado. Nos dois fluxos, o plano passa pela revisão humana antes que o agente construtor produza o código Manim, a narração e a sincronização, e o *software* ainda realiza verificações técnicas e permite uma nova revisão antes da renderização. Se houver uma falha de execução, o código segue para o agente corretor e, quando a renderização termina, o vídeo é disponibilizado em formato MP4, com a opção de incluir legendas.

As instruções de cada agente fazem parte do código-fonte do sistema e acompanham as versões do software. Em cada projeto, elas são combinadas com o enunciado, a base matemática aprovada e os planos revisados nas etapas anteriores. Os *prompts* completos estão disponíveis no repositório público do projeto no [GitHub](#).

Após a renderização, o Editor Manim permite modificar o código e gerar novas versões. Na aba *Conversa*, o assistente esclarece dúvidas sem alterar o conteúdo, enquanto, na aba *Editor*, propõe uma versão completa do código com a mudança solicitada. O professor-autor examina as diferenças antes de aplicá-la e decide quando renderizar novamente. As versões anteriores permanecem disponíveis para comparação ou restauração. Embora vinculados ao mesmo projeto e à mesma base matemática, os vídeos permanecem independentes e podem ser utilizados separadamente.

3.3 Tecnologias e implementação

O *software* foi desenvolvido em Python, com interface em Streamlit, fluxo multiagente coordenado pelo LangGraph e registros preservados em SQLite. As cenas são produzidas com Manim Community Edition e a narração é integrada pelo Manim Voiceover (Manim Community Developers, 2024, 2026).

O desenvolvimento e os testes da versão 0.1.0 foram realizados no *Linux Mint* 22.3 “Zena”, baseado no Ubuntu 24.04 LTS.

Os agentes podem utilizar modelos de texto e visão da OpenAI, do Google e da Anthropic, escolhidos pelo professor-autor em cada projeto. O código-fonte é aberto, distribuído sob a licença MIT e disponibilizado no [repositório público do sistema no GitHub](#). A [página do projeto](#) reúne os vídeos do corpus, capturas da interface e as configurações utilizadas.

Parte da implementação, da revisão do código e da produção da documentação contou com o apoio de ferramentas de programação assistida por IA Gen, incluindo Microsoft Copilot e OpenAI Codex. Esses recursos foram utilizados em atividades de prototipação, consulta à documentação, depuração, refatoração, elaboração de testes automatizados e revisão de trechos de código, mas as sugestões produzidas foram selecionadas, inspecionadas e executadas no ambiente do projeto antes de serem incorporadas. Assim, o princípio de supervisão humana adotado na geração dos vídeos também orientou o desenvolvimento do próprio protótipo.

3.4 Critérios e procedimentos de análise

A análise foi realizada pelo autor após a finalização dos vinte vídeos e tomou cada projeto, formado pelo par apresentação–resolução, como unidade de análise. As unidades de registro foram as cenas, expressões, diagramas, transições e relações entre fala e imagem pertinentes aos cinco eixos, interpretadas no contexto do projeto completo, do enunciado oficial, da solução de referência e da base matemática aprovada. Como o autor também participou do desenvolvimento e da revisão do protótipo, o procedimento caracteriza uma análise interna, e não uma avaliação externa.

Orientado pelos movimentos de pré-análise, exploração do material e interpretação descritos por Bardin (2016), o procedimento começou pela delimitação do corpus, pela reunião das fontes matemáticas e pela definição dos eixos de leitura. Na exploração, os materiais foram examinados em três passagens. A primeira confrontou os vídeos finais com o enunciado oficial, a solução de referência e a base aprovada. A segunda observou, em cada par, a função dos vídeos, a continuidade das representações, a relação entre narração e imagem e a legibilidade. A terceira comparou as versões preservadas e os registros de correção para identificar as mudanças realizadas durante a produção.

As observações de cada projeto foram registradas em uma ficha de análise organizada segundo os cinco eixos da Tabela 2, com campos destinados aos ajustes identificados e às respectivas formas de correção. Esses registros permitiram comparar os projetos e relacionar as evidências observadas às interpretações apresentadas. Durante a segunda passagem, as

relações temporais entre narração e imagem foram reunidas em categorias descritivas construídas a partir do corpus e posteriormente discutidas na seção de resultados.

As modificações foram descritas considerando o vídeo afetado, o elemento matemático, visual ou narrativo envolvido e o modo de correção: intervenção manual, uso do Editor Manim com IA Gen ou retorno automático ao agente corretor. Ao final, os registros foram interpretados com base nas definições operacionais da Tabela 2 e sintetizados na apresentação dos resultados.

Tabela 2 – Definições operacionais dos eixos de análise.

Eixo	Critério observado
Fidelidade matemática	Correspondência entre o vídeo, o enunciado oficial, a solução de referência e a base aprovada quanto aos dados, à notação, às operações, às justificativas e à conclusão.
Distinção entre apresentar e resolver	Preservação do desafio na apresentação e desenvolvimento do método, das justificativas e da conclusão na resolução.
Continuidade das representações	Permanência de uma figura, tabela ou expressão de referência, ou sua substituição por uma transformação visualmente rastreável ao longo do argumento.
Relação entre narração e imagem	Correspondência temporal entre a fala e a entrada, o destaque ou a transformação do elemento visual ao qual ela se refere.
Legibilidade	Presença de sobreposições, notações quebradas, posicionamentos ambíguos, excesso de elementos concorrentes e tempo de permanência suficiente para a leitura.

Fonte: Elaboração própria.

4. Resultados e discussão

Os resultados são apresentados segundo os cinco eixos definidos na Tabela 2. Inicialmente, a Tabela 3 sintetiza, para os dez projetos, as funções dos vídeos, as representações principais e os ajustes documentados durante o processo de revisão. Em seguida, cada eixo é discutido em uma subseção, e, ao final, são apresentadas as contribuições, as limitações e as perspectivas do sistema.

Tabela 3 – Funções dos vídeos e principais ajustes documentados nos dez projetos.

ID	Apresentação	Resolução	Representação principal e articulação fala-imagem	Principais ajustes documentados
M5	Enunciado e sentido dos movimentos	Cálculo dos deslocamentos e verificação do retorno à posição inicial	Régua e formiga, com setas a cada deslocamento	Escala e rótulos da régua, posição da formiga, direção das setas e quadro da resposta (Editor Manim com IA Gen)
M6	Dados e organização dos horários	Sequência das oito doses	Quadro semanal, preenchido dose a dose	Estrutura do quadro, associação entre horários e dias, entrada das doses e narração (Editor Manim com IA Gen)
N1-7	Regra e estrutura das conexões	Construção da ordenação compatível com as relações de adjacência	Grafo, com vértices e arestas destacados durante a análise	Marcações iniciais, contraste e sobreposição entre círculos, números e arestas (Editor Manim com IA Gen)
N2-1	Figura e área solicitada	Decomposição do octógono em triângulos e cálculo da área solicitada	Octógono, dividido em regiões durante o cálculo	Notação das unidades de área em cm^2 (correção manual)
N2-11	Áreas dadas e região desconhecida	Comparação das metades do retângulo	Retângulo e triângulos, com áreas e x introduzidos pela fala	Posição dos valores, pergunta final, sequência das cenas e justificativa das alturas iguais (Editor Manim com IA Gen)
N3-1	Conta armada e valor posicional	Divisibilidade e soma $A + B + C$	Multiplicação vertical, revelada por posições e etapas	Rótulos e setas, transições da conta e quadro da resposta (Editor Manim com IA Gen)
N3-8	Relação funcional e pergunta	Substituição dos valores na relação funcional	Expressão funcional, transformada passo a passo com a narração	Refinamento da sequência algébrica e da exposição visual (Editor Manim com IA Gen)
N3-15	Experimento e produto 60	Enumeração dos resultados possíveis e cálculo da probabilidade	Espaço amostral e produtos, apresentados por etapas	Contraste do texto, momento dos destaques e narração da conclusão (Editor Manim com IA Gen)

E1	Dados do limite e indeterminação	Aplicação da regra de l'Hôpital	Expressão do limite, mantida durante as derivações	Formatação da pergunta, passagem entre etapas e disposição das alternativas (Editor Manim com IA Gen)
E2	Condições e mínimo procurado	Desigualdade entre médias	Expressões algébricas, com fatores destacados nas transformações	Destaques de cor e agrupamento das expressões (agente corretor e Editor Manim com IA Gen)

Fonte: Elaboração própria.

4.1 Fidelidade matemática e percurso de revisão

Na inspeção conduzida pelo autor após as etapas de revisão humana previstas no fluxo, as versões finais foram confrontadas com os enunciados oficiais, as soluções de referência e as bases matemáticas aprovadas, sem que fossem encontradas divergências quanto aos dados, à notação, às operações, às justificativas e às conclusões examinadas. Esse resultado descreve os artefatos finais do corpus e não indica que a IA Gen tenha produzido autonomamente vinte vídeos corretos.

Os registros de versões complementam a comparação dos vídeos finais ao mostrar o percurso até o resultado, já que todos os dez projetos foram modificados depois da primeira geração. As intervenções incluíram correções manuais, reorganizações realizadas no Editor Manim com IA Gen e, em um dos casos, a atuação combinada do agente corretor e do editor, abrangendo notação, composição, posicionamento, contraste, transições, narração e sincronização. Assim, a coerência das versões finais deve ser compreendida como resultado do fluxo supervisionado e do processo de revisão, não da primeira geração isolada.

4.2 Distinção entre apresentação e resolução

Nos dez pares, a apresentação organizou dados e perguntas sem revelar o método, enquanto a resolução retomou os mesmos elementos para desenvolver o argumento. Em M5, a primeira animação situa a formiga na régua e termina com a pergunta sobre o retorno à posição inicial. A segunda conserva essa referência e introduz as operações correspondentes aos deslocamentos. Em N2–11, o quadrilátero e as áreas fornecidas aparecem na apresentação, enquanto os segmentos auxiliares e as relações entre áreas surgem apenas na resolução.

Na leitura adotada neste artigo, o primeiro vídeo pode ser associado à exploração do problema, pois destaca os dados, a pergunta e as representações disponíveis, uma organização que dialoga com Mason, Burton e Stacey (2010). O segundo reúne e verifica o caminho da solução, aproximando-se das etapas de resolução discutidas por Pólya (1995) e Schoenfeld (1985). Ao reservar um momento para a investigação antes da resolução estruturada, o material também se aproxima da valorização dos problemas de competição apresentada por Falk de Losada e Taylor (2022).

4.3 Continuidade e organização das representações

Nos vídeos finais, a organização das cenas variou conforme o conteúdo. Em cada projeto, uma representação de referência permaneceu reconhecível enquanto novos dados, relações e resultados eram incorporados. A régua de M5, o quadro semanal de M6, o grafo de N1–7 e os diagramas de N2–1 e N2–11 permitiram retomar o problema sem reconstruir integralmente a cena a cada etapa.

Em M5, a escala da régua, os rótulos, a posição da formiga e o sentido das setas foram ajustados para reduzir ambiguidades na leitura dos deslocamentos. Em M6, o quadro semanal foi reorganizado para receber as doses uma a uma e manter consistente a associação entre horário, dia e período. Em N1–7, mudanças de contraste e de sobreposição entre círculos, números e arestas foram realizadas para reduzir conflitos visuais.

Nos problemas geométricos, a figura concentrou o desenvolvimento do raciocínio, com medidas e expressões posicionadas junto das regiões ou dos segmentos a que se referiam. Nos projetos predominantemente algébricos, essa função foi assumida pela expressão principal, mantida durante as substituições e atualizada à medida que o argumento avançava. Nos dois casos, a representação participou da resolução, como propõe Arcavi (2003), e manteve próximos os elementos relacionados, em consonância com o princípio de contiguidade espacial discutido por Mayer (2020).

4.4 Relação entre narração e imagem

Nos vídeos finais, a comparação entre narração e imagem permitiu descrever três formas temporais, denominadas contexto prévio, destaque simultâneo e resultado posterior. No primeiro caso, o enunciado, a figura ou a expressão principal já estava visível quando a fala começou. No segundo, cores, contornos ou setas surgiram junto da referência verbal e, no terceiro, o resultado apareceu somente depois da relação que o justificava.

Entre os exemplos observados, o quadro semanal de M6 permanece na tela enquanto os horários são inseridos, os deslocamentos de M5 são acompanhados por setas sobre a régua e a expressão do limite de E1 permanece como referência durante a derivação. O destaque simultâneo dialoga com a sinalização temporal discutida por De Koning et al. (2009), enquanto a proximidade entre a fala e seu referente visual se aproxima do princípio de contiguidade temporal de Mayer (2020).

A inspeção mostrou ainda que sincronizar o término de uma transformação com o fim da fala não garante tempo suficiente para ler uma expressão complexa. Por isso, as pausas precisaram variar conforme a densidade de informação de cada cena, e os recursos do Manim Voiceover serviram ao ajuste dessa temporalidade sem substituir o planejamento da explicação (Manim Community Developers, 2024).

4.5 Legibilidade e falhas de comunicação matemática

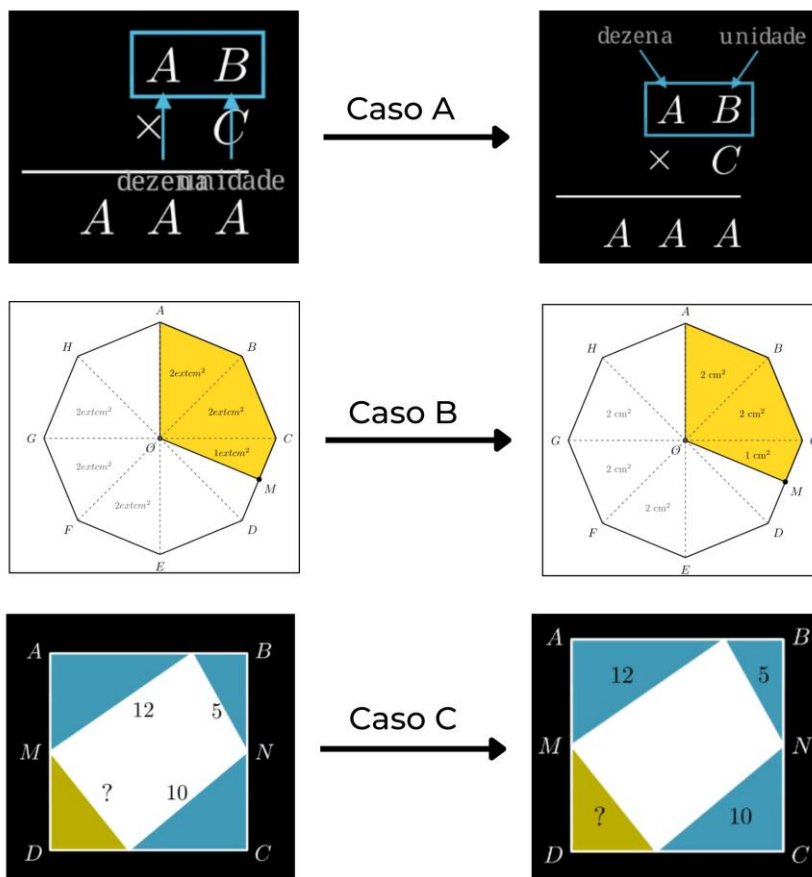
Na análise do autor, a legibilidade dependeu menos da quantidade de movimento e mais da possibilidade de relacionar cada mudança a uma etapa do argumento. Cores, setas e contornos destacaram os dados mencionados e acompanharam as transformações sem competir com a notação principal, embora sua utilização tenha variado conforme o conteúdo e a representação de cada problema.

Os registros reunidos na Tabela 3 mostram que as intervenções não se limitaram aos três exemplos da Figura 2. Houve ajustes de escala, contraste, sequência, transição e sincronização em diferentes projetos, além das falhas de sobreposição, notação e posicionamento mostradas a seguir. A figura apresenta um exemplo de cada um desses três tipos e permite observar como escolhas visuais podem afetar a leitura matemática.

Figura 2 – Falhas visuais observadas e respectivas versões revisadas.

Erro observado

Versão revisada



Fonte: Elaboração própria.

Em A, rótulos e setas se sobrepunham à multiplicação e dificultavam a associação entre dezenas e unidades. Em B, um comando em *LaTeX* foi exibido como a sequência “extcm” no lugar de “cm” na unidade cm^2 . Em C, os valores 12, 5 e 10 e o ponto de interrogação foram posicionados no quadrilátero central, embora correspondessem às áreas dos triângulos coloridos.

O caso C evidencia a implicação pedagógica desse tipo de falha, pois a disposição inicial poderia levar à interpretação de que os números indicavam comprimentos ou pertenciam ao polígono branco. A versão revisada deslocou cada valor para a região correspondente e

restabeleceu a relação entre número e área. As correções de A e C foram solicitadas no Editor Manim com assistência de IA Gen, enquanto B foi corrigido manualmente no código por exigir apenas um ajuste de notação. Em todos os casos, as novas versões foram renderizadas e conferidas pelo professor-autor.

Os registros mostram que sobreposição, notação e posicionamento fazem parte da comunicação matemática, não apenas do acabamento visual. A execução válida do código, portanto, não assegura uma cena adequada, distinção também observada por Ku et al. (2025) e Silva et al. (2026). Embora a IA Gen tenha apoiado duas correções, reconhecer a ambiguidade e decidir se a nova composição preservava o significado continuaram sendo responsabilidades do professor-autor, em consonância com a orientação centrada no ser humano de Miao e Holmes (2023).

4.6 Contribuições do sistema multiagente

Como resultado tecnológico, o **Olympianim** organiza a produção em artefatos intermediários revisáveis e coordena agentes que recebem tarefas próprias, compartilham resultados e atuam sobre uma base matemática comum. Essa divisão, nos termos de Wooldridge (2009), assume uma função de autoria supervisionada porque o avanço entre as etapas depende da decisão do professor-autor.

Em relação à lacuna indicada na base teórica, a contribuição específica do **Olympianim** não se limita à geração de código Manim. O sistema vincula dois vídeos com funções pedagógicas distintas ao mesmo caminho matemático e preserva planos, código e versões para exame antes e depois da renderização. Desse modo, separa verificações técnicas de decisões matemáticas, visuais e pedagógicas e oferece meios para revisar a passagem da solução escrita à animação multimodal.

4.7 Limitações e perspectivas

Os resultados devem ser considerados à luz de algumas limitações. O corpus é intencional e pequeno, e a análise foi conduzida pelo próprio autor, sem avaliação independente de outros professores. O sistema também não foi aplicado em sala de aula nem

contou com a participação de estudantes ou com medidas de aprendizagem. Assim, as conclusões se restringem ao funcionamento do fluxo e às características matemáticas, funcionais e audiovisuais dos artefatos revisados, sem constituir evidência de eficácia pedagógica ou de adequação a outros usuários.

Há ainda limitações de ordem técnica e de acesso. Como os testes se restringiram ao ambiente descrito na metodologia, a instalação e o funcionamento do sistema precisam ser verificados em outros sistemas operacionais e configurações de *hardware*. Além disso, embora o código do **Olympianim** seja aberto, seu funcionamento depende de serviços externos de IA Gen, que podem estabelecer limites de uso ou gerar custos conforme os recursos escolhidos. Modelos abertos podem reduzir essa dependência, mas aqueles com grande número de parâmetros exigem memória e capacidade de processamento nem sempre disponíveis em escolas ou nos equipamentos pessoais dos professores.

Quanto à possibilidade de ampliar o uso, a interface e o Editor Manim permitem solicitar alterações em linguagem natural, recurso que pode favorecer a participação de professores sem experiência em programação. Ainda assim, a configuração do ambiente e o tratamento de algumas falhas técnicas podem exigir apoio.

Estudos futuros poderão utilizar rubricas independentes de avaliação matemática e audiovisual, acompanhar professores durante a criação e a revisão dos vídeos e comparar diferentes formas de supervisão. Também poderão confrontar o fluxo supervisionado com a produção manual e registrar o tempo dedicado a cada etapa, permitindo avaliar um possível ganho de tempo. Outra direção consiste em investigar o uso de modelos abertos de diferentes portes e as condições necessárias para ampliar a acessibilidade do software.

5. Considerações finais

Este estudo apresentou o desenvolvimento do **Olympianim** e examinou os vinte vídeos finais e os registros de revisão de dez projetos. Na inspeção conduzida pelo autor após as etapas de revisão humana, não foram identificadas divergências nas versões finais em relação aos enunciados, às soluções de referência e às bases aprovadas, segundo os critérios adotados. Os pares conservaram funções distintas de apresentação e resolução, as

representações principais permaneceram reconhecíveis ao longo do raciocínio e a relação entre narração e imagem pôde ser descrita por contexto prévio, destaque simultâneo e resultado posterior. No corpus analisado, os registros mostram que esses resultados foram alcançados por um processo iterativo, com ajustes matemáticos, visuais e narrativos em todos os projetos.

A principal contribuição do estudo está na arquitetura que combina o trabalho de agentes especializados com a revisão do professor-autor. Os agentes apoiam o planejamento, a geração de código e a correção técnica, enquanto as decisões matemáticas, visuais e narrativas permanecem sob responsabilidade humana. A base compartilhada, os materiais intermediários e o histórico de versões permitem acompanhar a passagem da solução escrita para duas animações com funções complementares. No corpus analisado, os resultados apoiam a hipótese de que a especialização dos agentes, a base matemática comum e as revisões humanas sucessivas favorecem a produção dos dois vídeos segundo os critérios adotados.

Referências

- ARCAVI, Abraham. The Role of Visual Representations in the Learning of Mathematics. **Educational Studies in Mathematics**, v. 52, n. 3, p. 215–241, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024312321077>.
- ASSOCIAÇÃO OLIMPÍADA BRASILEIRA DE MATEMÁTICA. **VII Competição Elon Lages Lima de Matemática: gabarito oficial**. [S. l.], 2026. Disponível em: https://www.obm.org.br/content/uploads/2026/06/7_Competicao_Elon_Lages_Lima_2026_Gabarito.pdf. Acesso em: 17 jul. 2026.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BATEMAN, John A.; SCHMIDT, Karl-Heinrich. **Multimodal Film Analysis: How Films Mean**. London: Routledge, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203128220>.
- BERNEY, Sandra; BÉTRANCOURT, Mireille. Does Animation Enhance Learning? A Meta-analysis. **Computers & Education**, v. 101, p. 150–167, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.06.005>.
- CASTILLO, Luis Andrés; SÁNCHEZ, Ivonne C. Programação em Python e Animações Matemáticas na Formação Inicial de Professores de Matemática. **Revemop**, v. 7, p. e2025024, 2025. DOI: <https://doi.org/10.33532/revemop.e2025024>.
- DE KONING, Björn B. et al. Towards a Framework for Attention Cueing in Instructional Animations: Guidelines for Research and Design. **Educational Psychology Review**, v. 21, p. 113–140, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10648-009-9098-7>.

FALK DE LOSADA, María; TAYLOR, Peter James. Perspectives on Mathematics Competitions and Their Relationship with Mathematics Education. **ZDM – Mathematics Education**, v. 54, p. 941–959, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01404-z>.

FIORI, Kallel Vinicius Rocha; PITON-GONÇALVES, Jean. OBJETOS DE APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DE MATEMÁTICA: O USO DO MANIM COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL DIGITAL. **ReTEM - Revista Tocantinense de Educação Matemática**, Arraias, v. 3, p. e25012, 2025. DOI: 10.63036/ReTEM.2965-9698.2025.v3.404. Disponível em: <https://ojs.sbemto.org/index.php/ReTEM/article/view/404>. Acesso em: 17 jul. 2026.

INSTITUTO DE MATEMÁTICA PURA E APLICADA. **20ª Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas: provas e soluções da primeira fase**. [S. l.], 2025a. Disponível em: <https://www.obmep.org.br/provas.htm?max-results=7>. Acesso em: 17 jul. 2026.

INSTITUTO DE MATEMÁTICA PURA E APLICADA. **4ª Olimpíada Mirim – OBMEP: provas e soluções de 2025**. [S. l.], 2025b. Disponível em: <https://olimpiadamirim.obmep.org.br/provas-solucoes>. Acesso em: 17 jul. 2026.

INSTITUTO DE MATEMÁTICA PURA E APLICADA. **Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas: apresentação**. [S. l.], 2026. Disponível em: <https://www.obmep.org.br/apresentacao.htm>. Acesso em: 15 jul. 2026.

KU, Max et al. TheoremExplainAgent: Towards Video-based Multimodal Explanations for LLM Theorem Understanding. In: ANNUAL MEETING OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTATIONAL LINGUISTICS, 63., 2025, Vienna. **Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics**. [S. l.]: Association for Computational Linguistics, 2025. p. 6663–6684. DOI: <https://doi.org/10.18653/v1/2025.acl-long.332>.

LIMA, Jefferson Barbosa de; ABREU, Jair Dias de. Animações Matemáticas com Manim: Explorando o Pensando Visual na Equação Quadrática. **Revemop**, v. 7, p. e2025019, 2025. DOI: <https://doi.org/10.33532/revemop.e2025019>.

LIMA, Jefferson Barbosa de; LOURÊDO, Aldo Trajano. Explorando teoremas clássicos de Geometria com visualização em Python/Manim e aplicações em problemas olímpicos. **C.Q.D. Revista Eletrônica Paulista de Matemática**, v. 27, p. e27008, 2026. DOI: <https://doi.org/10.21167/cqdv27e27008>.

MANIM COMMUNITY DEVELOPERS. **Manim Community v0.20.1: documentation**. [S. l.], 2026. Disponível em: <https://docs.manim.community/en/stable/>. Acesso em: 15 jul. 2026.

MANIM COMMUNITY DEVELOPERS. **Manim Voiceover v0.3.7: API reference**. [S. l.]: Manim Community, 2024. Disponível em: <https://voiceover.manim.community/en/stable/api.html>. Acesso em: 15 jul. 2026.

MASON, John; BURTON, Leone; STACEY, Kaye. **Thinking Mathematically**. 2. ed. Harlow: Pearson Education, 2010.

MAYER, Richard E. **Multimedia Learning**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781316941355>.

MIAO, Fengchun; HOLMES, Wayne. **Guidance for Generative AI in Education and Research**. Paris: UNESCO, 2023. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>. Acesso em: 15 jul. 2026.

P, Samarth et al. **Animator: Transforming Research Papers into Visual Explanations**. arXiv, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2507.14306>. Acesso em: 15 jul. 2026.

PÓLYA, George. **A arte de resolver problemas: um novo aspecto do método matemático**. Tradução de Heitor Lisboa de Araújo. Rio de Janeiro: Interciência, 1995.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <https://www.feevale.br/institucional/editora-feevale/metodologia-do-trabalho-cientifico---2-edicao>. Acesso em: 17 jul. 2026.

SCHOENFELD, Alan H. **Mathematical Problem Solving**. Orlando: Academic Press, 1985.

SCHOENHERR, Johanna; STROHMAIER, Anselm R.; SCHUKAJLOW, Stanislaw. Learning with Visualizations Helps: A Meta-analysis of Visualization Interventions in Mathematics Education. **Educational Research Review**, v. 45, p. 100639, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100639>.

SILVA, Ravidu Suien Rammuni et al. **Training and Agentic Inference Strategies for LLM-based Manim Animation Generation**. arXiv, 2026. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2604.18364>. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2604.18364>. Acesso em: 15 jul. 2026.

TURMUZI, Muhammad; AZMI, Syahrul; KERTIYANI, Ni Made Intan. ChatGPT in school mathematics education: A systematic review of opportunities, challenges, and pedagogical implications. **Teaching and Teacher Education**, v. 170, p. 105286, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.105286>.

WHITE, Jules et al. A Prompt Pattern Catalog to Enhance Prompt Engineering with ChatGPT. In: CONFERENCE ON PATTERN LANGUAGES OF PROGRAMS, 30., 2023. **Proceedings of the 30th Conference on Pattern Languages of Programs**. [S. l.: s. n.], 2023. DOI: <https://doi.org/10.64346/PLoP2023p05>.

WOOLDRIDGE, Michael. **An Introduction to MultiAgent Systems**. 2. ed. Chichester: Wiley, 2009.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).