

AGÊNCIA MATEMÁTICA CRÍTICA NA PRODUÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS COM IA

CRITICAL MATHEMATICAL AGENCY IN THE PRODUCTION OF AI MATHEMATICAL MODELS

AGENCIA MATEMÁTICA CRÍTICA EN LA PRODUCCIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS DE IA

Aldo Peres Campos e Lopes*

Marcelo de Carvalho Borba**

RESUMO

Neste artigo adota-se o conceito de agência matemática crítica para analisar a utilização de tecnologias de inteligência artificial generativa na educação matemática. Essa agência envolve a capacidade dos estudantes de se engajarem com a matemática, de forma pessoal e socialmente significativa, articulando três dimensões que são compreensão matemática, identificação como pensadores matemáticos competentes e uso significativo da matemática. Tais dimensões permitem não só a apropriação conceitual, mas também a aplicação crítica do conhecimento. Na pesquisa realizada, de abordagem qualitativa, utilizaram-se entrevistas e questionários para investigar como estudantes expressaram essa agência ao elaborarem modelos matemáticos com apoio do ChatGPT. Os resultados evidenciaram níveis diversos de agência entre os grupos e destacaram reflexões críticas sobre a IA, incluindo preocupações éticas e limitações percebidas. Alguns estudantes realizaram análises menos críticas, enquanto outros defenderam posturas mais conscientes frente aos resultados gerados pela IA. Conclui-se que, embora a IA generativa possa fomentar a agência matemática crítica, seu desenvolvimento pleno ocorre quando os estudantes são provocados a refletirem e a agirem diante dos impactos sociais e éticos dessas tecnologias, com o apoio mediador do professor.

Palavras-chave: Agência matemática crítica. Inteligência artificial generativa. ChatGPT. Modelagem matemática. Poder de ação.

ABSTRACT

This article adopts the concept of critical mathematics agency to analyze the use of generative artificial intelligence technologies in mathematics education. This agency involves students' ability to engage with mathematics in a personally and socially meaningful way, articulating three dimensions: mathematical understanding, identification as competent mathematical thinkers, and meaningful use of mathematics. These dimensions enable not only conceptual appropriation but also critical application of knowledge. The qualitative study used interviews and questionnaires to investigate how students expressed this agency while developing mathematical models with the support of ChatGPT. The results revealed varying levels of agency among the groups and highlighted critical reflections on AI, including ethical concerns and perceived limitations. Some students carried out critical analyses, while others advocated for more conscious stances toward the results generated by AI. The study concludes that

* Doutor em Matemática, professor da Universidade Federal de Itajubá, Itabira, Minas Gerais, Brasil. E-mail: aldolopes@unifei.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4046-0840>

** Doutor em Educação Matemática, professor da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, Brasil. E-mail: marcelo.c.borba@unesp.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3101-5486>



although IA-Gen can foster critical mathematics agency, its full development occurs when students are encouraged to reflect and act upon the social and ethical impacts of these technologies, with the teacher's mediating support.

Keywords: Critical Mathematics Agency. Generative Artificial Intelligence. ChatGPT. Mathematical Modeling. Agency.

RESUMEN

Este artículo adopta el concepto de agencia matemática crítica para analizar el uso de tecnologías de inteligencia artificial generativa en la educación matemática. Esta agencia implica la capacidad del alumnado para interactuar con las matemáticas de forma personal y socialmente significativa, articulando tres dimensiones: comprensión matemática, identificación como pensadores matemáticos competentes y uso significativo de las matemáticas. Estas dimensiones facilitan no solo la apropiación conceptual, sino también la aplicación crítica del conocimiento. El estudio cualitativo empleó entrevistas y cuestionarios para investigar cómo el alumnado expresó esta agencia al desarrollar modelos matemáticos con el apoyo de ChatGPT. Los resultados revelaron distintos niveles de agencia entre los grupos y destacaron reflexiones críticas sobre la IA, incluyendo preocupaciones éticas y limitaciones percibidas. Algunos estudiantes realizaron análisis críticos, mientras que otros abogaron por posturas más conscientes respecto a los resultados generados por la IA. El estudio concluye que, si bien AI generativa puede fomentar la agencia matemática crítica, su pleno desarrollo se produce cuando se anima al alumnado a reflexionar y actuar sobre los impactos sociales y éticos de estas tecnologías, con el apoyo del docente.

Palabras clave: Agencia de Matemáticas Críticas. Inteligencia Artificial Generativa. ChatGPT. Modelado Matemático. Agencia.

1 INTRODUÇÃO

O papel da tecnologia na educação matemática tem sido, há muito tempo, objeto de investigação, com incentivos constantes para colocá-la no centro das pesquisas futuras (Bakker; Cai; Zenger, 2021). O surgimento da inteligência artificial (IA), especialmente as inteligências artificiais generativas (IA-Gen) e dos grandes modelos de linguagem (LLMs), introduziu novas oportunidades e desafios, reformulando a maneira como os alunos interagem com os conceitos matemáticos.

Ao considerar o crescente papel das tecnologias digitais na educação matemática, é necessário refletir criticamente sobre os modos como essas ferramentas influenciam o raciocínio, a autoria e o posicionamento dos estudantes frente ao conhecimento. A recente

difusão das IA-Gens, como o ChatGPT¹, amplia esse debate. Isso se dá visto que essas tecnologias interagem de forma responsiva e automatizada, podendo mediar processos de resolução de problemas, construção de modelos e tomada de decisões (Souto et al., 2025). Tal mediação pode fortalecer ou enfraquecer o poder de ação do estudante (Lopes; Borba, 2024), dependendo da forma como a IA é integrada às práticas pedagógicas.

Tecnologias digitais oferecem novas possibilidades para a modelagem matemática, mas suas implicações pedagógicas exigem uma consideração cuidadosa (Cevikbas; Kaiser; Schukajlow, 2022). Uma vez que a modelagem matemática envolve a transposição de fenômenos reais para estruturas matemáticas, interações com as recentes tecnologias de IA-Gen devem ser realizadas e examinadas cuidadosamente. A interpretação de um modelo deve ser analisada criticamente em seus contextos socioculturais e éticos (Araújo, 2012; Lopes, 2023; Silva; Kato, 2012), e não ficar submissa aos resultados automatizados que podem conter algum viés ou induzir a erros (Brandtzæg et al., 2023).

O conceito de agência matemática crítica emerge no campo da Educação Matemática como desdobramento teórico das discussões promovidas pela educação matemática crítica (EMC), cuja base está na perspectiva de que o ensino de matemática deve possibilitar aos sujeitos não apenas a aprendizagem de conteúdos, mas também a leitura crítica da realidade. Esse conceito é fortemente influenciado pelo pensamento freireano (Freire, 1970, 1979), que concebe a educação como prática de liberdade e promove uma articulação entre ação e reflexão como eixo da formação crítica dos estudantes. Pesquisadores como Borba (2021) contribuíram para consolidar os pilares dessa abordagem na Educação Matemática, enfatizando o papel da matemática como linguagem para interpretar e transformar o mundo. Nesse contexto, o conceito de agência matemática crítica vem sendo aprofundado por autores como Turner (2003), Aguirre, Mayfield-Ingram e Martin (2013), e, mais recentemente, por Jung e Wickstrom (2023), os quais ampliaram o escopo da EMC ao destacar o papel ativo dos estudantes na construção de conhecimento matemático com relevância pessoal, social e política. Esses estudos atribuem à agência matemática crítica dimensões como a compreensão conceitual, a identificação como pensadores matemáticos competentes e o uso

¹ ChatGPT é um modelo de linguagem baseado em inteligência artificial desenvolvido pela OpenAI, capaz de compreender e gerar textos em linguagem natural. Permite interações dialogadas, podendo ser utilizado em contextos educacionais, por exemplo, para apoio à escrita, resolução de problemas e explicações conceituais.



significativo da matemática para análise e ação crítica diante das desigualdades sociais.

Apesar da vasta literatura sobre a inserção de tecnologias digitais no ensino de matemática e sobre modelagem matemática, ainda são escassas as investigações que analisam como os estudantes manifestam agência matemática crítica ao interagirem com inteligências artificiais generativas na produção de modelos. Estudos como os de Lopes (2024) e Jung e Wickstrom (2023) indicam que a modelagem matemática pode ser um espaço fecundo para o desenvolvimento da agência crítica, mas não exploram em profundidade o papel da IA nesse processo. Além disso, embora o conceito de seres-humanos-com-mídias (Borba; Villarreal, 2005) tenha sido mobilizado para entender a cognição em ambientes mediados por tecnologia, há uma lacuna específica no que diz respeito à IA-Gen como coautora do conhecimento matemático, com potenciais impactos tanto epistêmicos quanto éticos. O desafio não está apenas em avaliar se a tecnologia é eficaz, mas em compreender como ela participa da produção de sentido matemático, influenciando a identificação dos estudantes como pensadores matemáticos competentes e éticos.

A pesquisa aqui apresentada foi realizada com o objetivo de abordar essa lacuna, ao investigar como estudantes de engenharia expressam agência matemática crítica durante a elaboração de modelos matemáticos com o apoio da IA-Gen. O presente estudo partiu da seguinte questão: de que maneira os estudantes exercem e desenvolvem agência matemática crítica ao utilizar uma IA-Gen para produzir modelos matemáticos? Para tanto, articulou-se uma abordagem qualitativa que considerou tanto os produtos da modelagem quanto os discursos dos estudantes sobre suas interações com a IA.

2 ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 Poder de ação de seres-humanos-com-IA-Gen

À medida que os estudantes interagem com tecnologias de IA, como o ChatGPT, eles não estão lidando com um recurso neutro, mas com um sistema que molda ativamente seu raciocínio — às vezes ampliando sua agência, outras vezes restringindo-a. Essa interação pode ser compreendida por meio da perspectiva que desafia a ideia de que a cognição está confinada à mente humana (Borba; Villarreal, 2005; Borba et al., 2023). Nesse cenário, o

pensamento é visto como um processo emergente que se desenrola por meio do engajamento com ferramentas digitais. O conceito de seres-humanos-com-IA (ou, mais especificamente, seres-humanos-com-IA-Gen ou seres-humanos-com-ChatGPT), uma especialização de humanos-com-mídia, sugere que a IA não é apenas um auxílio externo, mas um coautor na construção do conhecimento — um agente que influencia não apenas como os estudantes resolvem problemas, mas também como eles se posicionam dentro da investigação matemática.

O conceito de poder de ação (ou agência, numa tradução direta do inglês *agency*) na educação matemática expandiu-se além de uma visão centrada no humano para incluir agentes não humanos, como ferramentas digitais, artefatos e vírus (Borba, 2021). A pandemia de covid-19 expôs ainda mais a agência não humana, com o vírus moldando comportamentos e estruturas sociais. A agência existe em um espectro, variando conforme a necessidade, a delegação e a condicionalidade. Em estudos anteriores foi demonstrado que os estudantes tanto moldam quanto são moldados pela tecnologia, desafiando perspectivas de um único conhecedor que priorizam a intenção humana (Lopes; Borba, 2021). Essa visão reformula a educação e evidencia desigualdades, uma vez que o acesso à tecnologia e aos espaços de aprendizagem impacta as experiências.

No contexto da comunicação de seres-humanos-com-IA, vale destacar a distinção entre *good agency* e *bad agency* das IAs para compreender seus impactos na aprendizagem e na autonomia do estudante. Segundo Brandtzæg *et al.* (2023), a *good agency* (ou agência boa/benéfica – numa tradução mais literal do termo original *good agency*) refere-se à capacidade da IA de agir de forma assistiva, transparente e ética, promovendo interações que reforçam o controle humano e incentivam o pensamento crítico. Em contrapartida, a *bad agency* (ou agência ruim/prejudicial – numa tradução mais literal do termo original *bad agency*) emerge quando a IA opera de maneira confusa, manipuladora ou muito diretiva, limitando a agência do usuário e induzindo à dependência ou à desinformação. No contexto da educação matemática, isso se manifesta, por exemplo, quando a IA é empregada para fomentar o raciocínio matemático por meio de sugestões dialogadas e *feedbacks* formativos (*good agency*), *versus* quando fornece respostas automáticas sem justificar procedimentos, enfraquecendo a construção conceitual do aluno (*bad agency*), além de fornecer dados incorretos, imprecisos e errados. A análise desses modos de agência, portanto, exige uma



atenção crítica dos educadores quanto à forma como essas tecnologias são integradas às práticas pedagógicas.

No contexto desta pesquisa, uma *good agency* pode ocorrer durante a produção de modelos matemáticos em diversos momentos. Por exemplo, ao interagir com uma IA, um aluno pode ser direcionado a uma temática de interesse, contextualizar o problema investigado, obter dados pertinentes, obter auxílio na produção matemática do modelo (seja na parte algébrica ou gráfica) e, até mesmo, na parte de interpretação e discussão. Por outro lado, uma *bad agency* ocorrerá caso a IA desvie o foco da temática inicial e sugira equações que estejam desalinhadas com o problema investigado ou além do entendimento do aluno. Além disso, pode ocorrer uma interpretação equivocada ou, mesmo, enviesada do problema em estudo.

2.2 Agência matemática crítica

Conforme já frisado em várias pesquisas prévias, diversas tecnologias, em particular tecnologias digitais, têm influenciado a educação. As tecnologias existentes oferecem recursos que ampliam a compreensão e estimulam uma visão conceitual mais profunda (Pasa; Berto; Silva, 2024). Entretanto, apontamos anteriormente que não é prudente acreditar em cada resposta fornecida por um *chatbot* de inteligência artificial. É necessária uma atitude crítica ao lidar com as tecnologias.

A fim de motivar uma ação crítica nesse cenário de novas tecnologias, apresentamos um tipo de agência, a agência matemática crítica. A agência matemática crítica (AMC) se refere à habilidade dos estudantes de compreender, aplicar e criar matemática de maneiras que sejam relevantes, tanto no âmbito pessoal quanto social (Lopes, 2024). Inspirada em Turner (2003), essa forma avançada de agência engloba três componentes principais que são o entendimento da matemática, a identificação como pensadores matemáticos competentes e a utilização significativa da matemática. O entendimento da matemática envolve a capacidade dos estudantes de conectarem novos conceitos com conhecimentos já existentes. A identificação como pensadores matemáticos competentes envolve a autoconfiança na matemática, que pode ser reforçada por um entendimento profundo da disciplina. A identificação dos alunos como pensadores matemáticos competentes envolve a forma como

eles criam e se posicionam em relação ao conteúdo e às práticas matemáticas. Quando constroem seu próprio conhecimento, assumem o controle de sua aprendizagem e se veem como executores e criadores competentes, eles podem se identificar como pensadores matemáticos competentes. A compreensão é necessária para essa autoidentificação, permitindo que participem da matemática de maneira pessoal e socialmente significativa.

O uso significativo da matemática permite que os estudantes utilizem a matemática para realizar intenções individuais e coletivas, além de entender criticamente e agir sobre o mundo (Jung; Wickstrom, 2023). Isso inclui o uso dos resultados de investigações matemáticas para analisar, refletir e criticar condições de vida ou resistir a políticas injustas (Lopes, 2023; Silva; Kato, 2012). Essa natureza da agência matemática crítica habilita os estudantes a agirem de forma informada e engajada.

Vale destacar que o conceito de agência matemática crítica, central nesta seção, articula-se diretamente com os preceitos da pedagogia de Paulo Freire. Para Freire (1970), a educação deve ser crítica e libertadora, promovendo a reflexão e a ação transformadora sobre a realidade. Nessa perspectiva, a matemática deixa de ser apenas um conteúdo a ser memorizado e passa a ser uma ferramenta para compreender e intervir nas condições sociais. Além disso, Freire (1979) enfatiza a importância da conscientização, incentivando os estudantes a questionarem estruturas opressoras e desigualdades existentes. Assim, a agência matemática crítica possibilita aos educandos que utilizem seus conhecimentos matemáticos para analisar criticamente suas condições de vida e resistirem a políticas injustas, alinhando-se à proposta freireana de uma educação que forma sujeitos ativos e comprometidos com a transformação social.

Alguns pesquisadores desenvolveram um entendimento da agência matemática crítica dentro da educação matemática crítica. Aguirre, Mayfield-Ingram e Martin (2013) discutem a agência matemática crítica em três aspectos que são a agência crítica, a análise crítica e a ação crítica, características que correspondem à descrição das disposições da consciência crítica (Jung; Wickstrom, 2023). A agência crítica de um indivíduo se manifesta quando este sujeito se reconhece como um pensador matemático habilidoso, capaz de desenvolver um entendimento matemático e criar representações relacionadas às suas experiências pessoais. A análise crítica ocorre quando o indivíduo procura entender os sistemas e as estruturas que originam e mantêm as desigualdades. Por fim, a ação crítica ocorre quando o indivíduo debate



formas de combater condições opressivas.

A ideia de agência matemática crítica pode ser empregada para entender aspectos de uma modelagem voltada para a justiça social.

2.3 A modelagem matemática como expressão da agência matemática crítica

A modelagem matemática transcende a mera resolução de problemas estruturados, configurando-se como instrumento de engajamento crítico com questões reais (Araújo, 2012; Lopes, 2023). Diante dos avanços tecnológicos e das crescentes preocupações socioambientais, seu foco deve incluir não apenas fórmulas e equações, mas também o contexto sociocultural de seus resultados, incentivando reflexões sobre impactos sociais, ambientais e econômicos. Na abordagem sociocrítica, modelar significa ir além da precisão matemática, questionando premissas, avaliando soluções e reconhecendo implicações mais amplas (Silva; Kato, 2012).

A inserção da IA na modelagem desafia concepções tradicionais de protagonismo estudantil. Quando estudantes aceitam respostas de uma IA-Gen sem questionamento, correm o risco de cederem decisões relevantes à tecnologia, tornando-se dependentes de suas soluções. Em contraste, ao interrogarem e ajustarem as sugestões da IA, exercem agência matemática crítica, tratando-a como parceira, em consonância com o conceito de seres-humanos-com-mídias (Borba; Villarreal, 2005; Lopes, 2024).

O processo de modelagem matemática pode seguir três etapas principais (Lopes, 2023), como descrito na Tabela 1, que formam a base para as atividades de modelagem discutidas na seção 3 deste artigo.

Tabela 1 – Etapas da modelagem matemática

Etapa	Principais características
<i>1. Discussão inicial</i>	Neste momento inicial, busca-se entender, de forma geral, o fenômeno ou a situação-problema. É aqui que se identificam as principais variáveis envolvidas e se começa a explorar como elas se relacionam entre si.
<i>2. Desenvolvimento matemático</i>	Com as variáveis já definidas, inicia-se a tradução do fenômeno para a linguagem matemática. Isso envolve a formulação de expressões ou equações que representem a situação analisada. Nessa etapa também são elaborados gráficos e realizadas manipulações algébricas que ajudam a explorar e a compreender melhor o comportamento do modelo.
<i>3. Interpretação/análise</i>	Por fim, os resultados obtidos são interpretados à luz do problema

original. Essa etapa consiste em verificar se as soluções encontradas fazem sentido no contexto real, discutir suas implicações e refletir sobre os limites e a utilidade do modelo. Essa análise crítica permite ajustar ou aprimorar o modelo conforme necessário.

Fonte: Elaborado baseando em Lopes (2023)

A relação entre a agência matemática crítica e as etapas da modelagem matemática evidencia seu potencial no ensino. Na *discussão inicial*, os estudantes, ao investigarem fenômenos socialmente relevantes e identificarem variáveis, engajam-se na compreensão crítica, pois mobilizam saberes prévios e contextualizam o conhecimento matemático, desenvolvendo uma postura reflexiva sobre o mundo e sobre seu papel como sujeitos matematicamente capazes (Moraes; Amorim Neto, 2024; Rodrigues; Santana; Barbosa, 2024). Na etapa de *desenvolvimento matemático*, ao formularem, representarem e resolverem problemas, a AMC se manifesta na agência crítica, pois os estudantes assumem o protagonismo do raciocínio matemático, construindo modelos que refletem escolhas conscientes e assumidas, fortalecendo sua identidade como pensadores matemáticos competentes. Por fim, na *interpretação e análise*, emergem a análise e a ação crítica, quando os estudantes analisam os resultados à luz de suas implicações sociopolíticas, questionam pressupostos e propõem transformações concretas, utilizando a matemática como instrumento de leitura e intervenção na realidade, manifestando um uso significativo da matemática.

Esse potencial crítico pode ser observado, por exemplo, quando estudantes, na discussão inicial, questionam as premissas de um problema proposto pela IA, como a neutralidade de dados sobre impactos socioambientais do rompimento de uma barragem (Lopes; Borba, 2025), reformulando o foco da modelagem para evidenciar relações de poder e exclusão. Durante o desenvolvimento matemático, exercem a criação crítica ao debaterem os limites das representações escolhidas e ajustarem os modelos para não invisibilizarem grupos sociais. Já na interpretação/análise, os estudantes comparam cenários simulados e discutem suas implicações sociopolíticas, propondo intervenções baseadas nos resultados.

3 METODOLOGIA

Neste artigo apresenta-se um recorte analítico de uma pesquisa realizada ao longo do



primeiro semestre de 2023, junto a estudantes de cursos de engenharia de uma universidade federal localizada em Minas Gerais. Participaram dessa pesquisa 30 alunos, organizados em seis grupos compostos por quatro a seis integrantes cada. Essa organização visou favorecer o trabalho colaborativo. Com isso, houve uma diversidade de perspectivas durante as etapas de modelagem matemática e nas discussões posteriores.

A pesquisa de campo foi realizada em um período no qual o ChatGPT estava em ascensão de popularidade, aproximadamente cinco meses após seu lançamento público. A primeira versão amplamente disponibilizada, baseada no modelo GPT-3.5, foi lançada pela OpenAI em novembro de 2022. Os alunos eram livres para interagir com o *chatbot* de IA em qualquer momento da produção do modelo, caso desejassem.

Após a finalização das modelagens, uma entrevista semiestruturada foi conduzida com cada grupo, que posteriormente foi transcrita, e um questionário foi enviado aos alunos por meio de um formulário do Google. A entrevista foi feita com base nas seguintes questões:

- Qual foi o papel do ChatGPT na produção do modelo matemático?
- Quais impactos positivos e negativos foram observados no uso dessa ferramenta?
- Como uma tecnologia como o ChatGPT pode influenciar não somente a produção de um modelo, mas também nossa interação com o mundo?

No questionário, os alunos também responderam à seguinte pergunta:

- Leia o texto sobre o chat GPT: “Na Austrália, prefeito pode processar ChatGPT por difamação” (disponível em <https://veja.abril.com.br/tecnologia/na-australia-prefeito-pode-processar-chat-gpt-por-difamacao/>, acesso em 3 de junho de 2024).

Qual poderia ser a validade/relevância de tomar essa atitude de processar o ChatGPT?

Na pesquisa, de abordagem qualitativa, adotou-se a análise de conteúdo como método para o tratamento e a interpretação dos dados (Bardin, 2011). Esta abordagem permitiu uma leitura aprofundada das produções dos participantes em suas manifestações verbais e escritas.

A análise de conteúdo realizada foi estruturada em três temas centrais, emergentes das diferentes fontes de dados, conforme se segue:

1. uso significativo da Matemática e competências matemáticas dos participantes, com

- base nas produções desenvolvidas na segunda etapa de modelagem;
2. análise e ação crítica, a partir dos depoimentos obtidos nas entrevistas;
 3. complexidade da responsabilização em contextos mediados por inteligência artificial, conforme revelado nas respostas ao questionário.

Esses temas de análise emergiram a partir de um processo indutivo (Bardin, 2011), com sucessivas leituras dos dados oriundos das entrevistas e dos questionários. Inicialmente, identificaram-se unidades de registro recorrentes, que foram agrupadas em categorias temáticas provisórias. Essas categorias foram discutidas entre os pesquisadores e validadas por meio de triangulação entre as fontes de dados e a revisão cruzada dos resultados. Para identificar manifestações da agência matemática crítica, consideraram-se os três aspectos previamente explanados, quais foram entendimento da matemática, identificação como pensadores matemáticos competentes e uso significativo da matemática. Durante a mediação das atividades e a condução das entrevistas, a atuação do pesquisador (primeiro autor deste artigo) foi predominantemente observacional, com intervenções mínimas, restritas a esclarecimentos pontuais e ao estímulo à explicitação dos argumentos pelos participantes.

Todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, conforme os preceitos éticos da pesquisa com seres humanos. Para preservar a identidade dos envolvidos, foram utilizados pseudônimos individuais e identificações coletivas por meio de siglas atribuídas aos grupos participantes (G1, G2 etc.).

4 RESULTADOS

4.1 Agência matemática crítica na produção de modelo matemáticos

Analisemos agora as características da agência matemática crítica que correspondem à descrição das disposições da consciência crítica (Jung; Wickstrom, 2023), conforme abordado por Aguirre *et al.* (2013) – agência crítica, análise crítica e ação crítica.

A segunda etapa da modelagem matemática foi o momento de os estudantes mostrarem domínio da matemática ao criarem uma equação de modelo e resolvê-la utilizando técnicas de equações diferenciais. Eles também produziram gráficos relacionados.



Desenvolver bem essa etapa é uma evidência da compreensão matemática. Uma reflexão a respeito dos dados obtidos em conexão com a realidade pode dar indícios de que os alunos se identificaram como pensadores matemáticos competentes, o que demonstra agência crítica.

4.2 Segunda etapa de modelagem: uso significativo da matemática

Os grupos G2 e G6 demonstraram uma agência ao criarem representações relevantes relacionadas às experiências pessoais, envolvendo, em particular, o trabalho de um componente de cada um deles.

Um aluno do grupo G6 trabalhava como gerente de um restaurante à noite. Por isso, sugeriu que o grupo estudasse o impacto financeiro da inserção de um item no cardápio, caldo de feijão, tendo em vista a chegada de uma estação fria, o inverno. Em concordância, o grupo obteve a equação diferencial ordinária, EDO, apresentada na figura 1.

Figura 1 – Equação obtida pelo G6

- Semana 1

Calculando a taxa de variação do lucro:

$$dP/dt = k_2 * D - k_1 * I$$
$$dP/dt = 17 * 20 - 1 * 60$$
$$dP/dt = 280$$
$$P_1 = P_0 + dP/dt$$
$$P_1 = 5500 + 280$$
$$P_1 = 5780$$

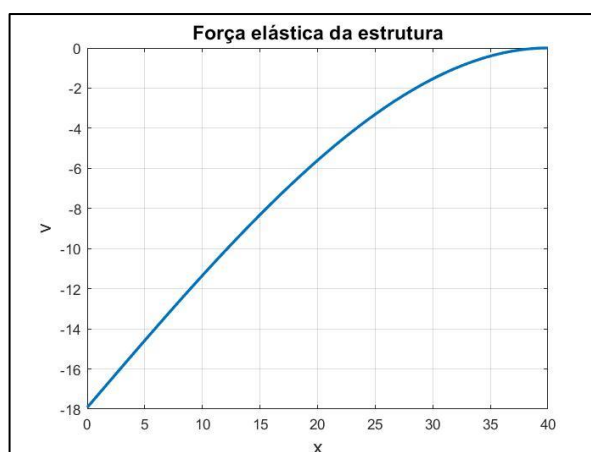
Fonte: acervo da pesquisa

A equação foi obtida pela interação com ChatGPT, mas, como um estudante desse grupo G6 mencionou, “adaptamos o que obtivemos [do ChatGPT] para adequar ao nosso caso”. Ou seja, eles modificaram a EDO sugerida pela IA para que fizesse mais sentido para o grupo. Apesar da resolução da EDO, o grupo não esboçou gráficos relacionados ao modelo produzido.

O grupo G2, por outro lado, escolheu um tema voltado para engenharia, análise da deflexão de vigas da construção do prédio da universidade. Esse tema foi escolhido, visto que

uma aluna do grupo estava fazendo estágio na construção em andamento de um novo prédio da universidade. O G2 produziu uma EDO com auxílio de uma referência recomendada por um professor, cujo livro voltado para engenharia consultaram, e não utilizou a IA-Gen na etapa matemática do modelo. Esse grupo resolveu a EDO do fenômeno em estudo e produziu um gráfico da solução obtida (veja figura 2). O esboço do gráfico representa a variação da força elástica na estrutura da viga em relação à posição ao longo da viga.

Figura 2 – Esboço do gráfico da solução obtida pelo G2



Fonte: Acervo da Pesquisa

O grupo G2 reconheceu que outros fatores poderiam ser considerados, conforme constou em seu relatório.

A análise completa e precisa da deflexão de uma estrutura requer a consideração de outros fatores, como a influência de outros esforços, como o cisalhamento e a torção, e a verificação de critérios de segurança estrutural adequados. (Relatório de modelagem, G2)

Em vista desse comentário, nota-se que o grupo G2 compreendeu que um modelo não é algo imutável. Alterações sugeridas, como a mudança de variáveis, podem aprimorar o modelo. Apesar disso, durante a produção do modelo, esse grupo não demonstrou uma análise crítica ou ação crítica, por não apresentar alguma implicação do que foi produzido. Esse aspecto de análise/ação crítica da agência matemática crítica não foi evidenciado tanto pelo grupo G2 quanto pelo G6.

Ao analisar os relatórios de modelagem dos demais grupos, notamos que as



características da análise crítica e ação crítica não foram claramente evidenciadas na produção dos modelos. Com isso, voltemos a atenção às entrevistas realizadas.

4.3 Análise e ação crítica manifestada nas entrevistas

Ao serem perguntados sobre as interações com a IA-Gen, os alunos do grupo G1 evidenciaram uma análise crítica por citar alguns exemplos. Samuel apontou algumas injustiças, como se nota no trecho de entrevista em destaque a seguir.

Eu vi uma reportagem sobre um senhor que terminou o TCC dele [monografia do trabalho de conclusão de curso de graduação]. Foi dito que ele pegou 70% das informações no ChatGPT, sendo que na verdade ele nem conhecia essa ferramenta. Então, tipo assim, até que ponto o ChatGPT é bom? Até que ponto a inteligência artificial também é boa? Um outro exemplo é quando saiu aquela fake news mostrando o Papa com o traje de rapper e tal. O ser humano está suscetível a fake news. Então eu acho que o ChatGPT se relaciona diretamente com a propagação de fake news. (Entrevista, G1)

Levi (também do G1) lembrou o caso de uma professora da universidade.

Lembro de um caso engraçado que a professora Alexia contou. Ela postou para o ChatGPT um artigo que ela mesmo criou. Depois perguntou se foi ele [ChatGPT] quem fez, e ele disse que sim. Porém, era ela a autora do texto. Por isso, ela colocou a informação que ela que era a autora e tal... O ChatGPT até pediu desculpa para ela. Finalizando, acho que pode acontecer também que o uso da inteligência artificial, como o ChatGPT em questão, pode beneficiar pessoas que estão no poder, de acordo com uma má informação. (Entrevista, G1)

Esse caso contado por Levi é um exemplo de uma agência prejudicial do ChatGPT (Brandtzaeg *et al.*, 2023). Os exemplos citados tanto por Levi quanto Samuel mostram que eles compreendem que a inteligência artificial pode induzir a injustiças. Levi reconheceu que o uso do *chatbot* pode “beneficiar pessoas que estão no poder”, mostrando que esse grupo realizou uma análise crítica dessa ferramenta. Outros grupos também evidenciaram análise crítica. Vitor (G6) reconheceu outros pontos, como se observa no trecho destacado a seguir.

O ChatGPT é como um Google que conversa com você. (...) Para pegar opinião, pode ser uma coisa boa. Mas, ficar só usando o ChatGPT para tudo pode levar a pessoa a não precisar mais pensar. (...) O pessoal acaba ficando acomodado, né? Por exemplo, o ChatGPT pode transformar slides em um relatório. (...) E pode pegar as

legendas de um vídeo e fazer um resumo do vídeo para você. É uma loucura, né? Mas, pode ajudar. (Entrevista, G6).

Vitor reconheceu que o uso indiscriminado e arbitrário da IA pode levar à acomodação e a uma atitude acrítica e de livre aceitação do que é obtido nas respostas do *chatbot*.

Alguns grupos foram mais além e demonstraram todos os aspectos da agência matemática crítica, incluindo a ação crítica. Esse foi o caso do grupo G2. Na entrevista, ao serem perguntadas sobre o uso do ChatGPT, observe o seguinte trecho de diálogo entre algumas alunas:

Alana: Eu aprendi uma coisa com os professores do ensino médio, a importância de se ter senso crítico. Não se pode acreditar 100% em uma fonte só, é preciso olhar de muitos lados, olhar de vários ângulos, para você ter o seu próprio pensamento e ter senso crítico das coisas. Então, muitas pessoas não conseguem ter esse senso crítico e acabam acreditando na primeira informação que vem. Então, eu acredito sim que o ChatGPT pode influenciar a humanidade, assim como todos os outros meios de informação e de comunicação, pelo fato de muitos não terem esse senso crítico.

Talita: Se a pessoa não tiver muito cuidado, pode não saber direito a fonte, às vezes ele pega uma informação e não dá a fonte daquela informação.

Lana: Eu acho que se você não tiver alguma noção do que está perguntando, ele [o ChatGPT] vai te levar para o buraco.
(Entrevista, G2).

Alana recomenda a identificação e a verificação por meio de múltiplas fontes (“não se pode acreditar 100% em uma fonte só”), valoriza o senso crítico e o desenvolvimento do pensamento independente (“ter seu próprio pensamento”), mostrando que há risco da falta de um senso crítico e que as mídias influenciam as informações que recebemos (“acreditar na primeira informação”). Com isso, Alana e suas colegas notaram que há uma responsabilidade individual no desenvolvimento do senso crítico, ou seja, não seguir cegamente os algoritmos, mas questionar os processos e os resultados. Com isso, notamos que esse grupo demonstrou uma ação crítica.

4.4 Inteligência artificial e a complexidade da responsabilização: vozes estudantis em debate

Vários dos alunos demonstraram uma ação crítica na resposta à pergunta do questionário, que envolveu a reportagem sobre um prefeito na Austrália que intencionou



processar o ChatGPT por difamação. Alex reconheceu.

A validade de processar o ChatGPT por difamação dependerá de como a lei de difamação é aplicada no sistema legal da Austrália. Isso envolveria considerar se a ferramenta ChatGPT pode ser considerada responsável por suas respostas geradas ou se a responsabilidade recai sobre os desenvolvedores, provedores de serviços ou outros envolvidos. (Questionário, Alex).

A questão de responsabilidade ética das ações da tecnologia é um assunto sério que já vem sendo discutido há alguns anos (Maggiolini, 2014) e, com o advento de novos recursos de IA, como o ChatGPT, deve aumentar (Hagendorff, 2024). Indo nessa direção, Ary mencionou que

A responsabilidade pode recair sobre os desenvolvedores ou usuários da AI. Isso levanta questões importantes sobre a regulamentação da IA e a necessidade de diretrizes claras sobre sua utilização. (Questionário, Ary).

Ary reconhece que os desenvolvedores têm responsabilidades diante de como projetam a AI. Similarmente, para Erick, o que deve ser feito é “responsabilizar a empresa pelo sistema, que deve adequá-lo”. Jarbas complementa dizendo que “tomar tal atitude [de processar o ChatGPT] pode fazer com que os desenvolvedores da ferramenta se atentem mais à obtenção dos dados que a alimentam”. Flávio ponderou que

Poderia haver correções através desse processo. É crime divulgar informações falsas contra a integridade de uma pessoa. Através desse processo, o sistema poderia passar por uma reforma estrutural em banco de dados por exemplo. (Questionário, Flávio).

Reconhecer a responsabilidade na divulgação de dados de uma IA e, principalmente, quando envolve dados falsos, não é uma tarefa fácil. Mas, os alunos citados apontaram algumas possibilidades, como os desenvolvedores ou a empresa por trás do ChatGPT. Ainda foi acrescentado que a estrutura da AI poderia ser alterada para evitar esses problemas. Mais do que isso, responsabilizar reflete em cuidar melhor das informações e do que é dado como resposta pela IA-Gen.

5 DISCUSSÃO

Tendo em vista os dados apresentados, nota-se que os alunos manifestaram as características da agência matemática crítica. Na produção de um modelo, notamos que há uma maior manifestação de uma agência crítica quando os estudantes conectam o conhecimento matemático ao que sabem para resolver um problema. As características análise crítica e ação crítica foram mais evidenciadas nas entrevistas feitas com os grupos, além do questionário individual. Consequentemente, podemos dizer que os alunos demonstraram uma consciência crítica ao usar o ChatGPT e refletir sobre o uso da IA (Jung; Wickstrom, 2023).

Os resultados evidenciam que a manifestação da agência matemática crítica em contextos mediados por IA-Gen ocorre de forma diferenciada ao longo das etapas da modelagem matemática. Durante a segunda etapa, focada no desenvolvimento matemático, observou-se que os grupos G2 e G6 demonstraram o componente uso significativo da matemática ao conectarem suas experiências pessoais e profissionais aos problemas modelados. Esta conexão entre conhecimento matemático e realidade vivida pelos estudantes corrobora a perspectiva de Turner (2003) sobre a importância da relevância pessoal e social na construção da agência matemática.

A análise dos dados revela que a interação com o ChatGPT não comprometeu a capacidade dos estudantes de se identificarem como pensadores matemáticos competentes. Pelo contrário, assim como o G6, alguns grupos demonstraram autonomia ao adaptar as sugestões da IA (“adaptamos o que obtivemos [do ChatGPT] para adequar ao nosso caso”), evidenciando uma postura ativa na construção do conhecimento. Esta adaptação crítica das respostas da IA-Gen alinha-se com o conceito de seres-humanos-com-mídias, conforme explanado por Borba et al. (2023), para quem a tecnologia atua como parceira na reorganização do pensamento matemático, sem substituir a agência humana.

Particularmente significativo foi o reconhecimento, por parte do grupo G2, das limitações do modelo desenvolvido e da necessidade de considerar fatores adicionais para uma análise mais completa. Esta reflexão sobre as limitações do próprio trabalho indica uma compreensão da natureza provisória e aperfeiçoável dos modelos matemáticos, característica fundamental da agência matemática crítica (Lopes, 2023).



As entrevistas revelaram manifestações mais explícitas dos componentes análise crítica e ação crítica da agência matemática crítica. Os estudantes demonstraram capacidade de identificar e questionar estruturas de poder e injustiças relacionadas ao uso da IA, como evidenciado nas falas de Samuel sobre *fake news* e de Levi sobre o beneficiamento de “pessoas que estão no poder”. Estas reflexões transcendem o uso técnico da ferramenta, revelando uma consciência crítica sobre as implicações sociais e políticas da tecnologia, alinhando-se com a perspectiva freireana de educação crítica e libertadora (Freire, 1970).

A ação crítica manifestou-se de forma mais evidente no grupo G2, cujas integrantes articularam estratégias concretas para o uso responsável da IA, enfatizando a importância do senso crítico e da verificação de múltiplas fontes. A recomendação de Alana de que “não se pode acreditar 100% em uma fonte só” e a observação de Lana de que “se você não tiver alguma noção do que está perguntando, ele [o ChatGPT] vai te levar para o buraco” demonstram uma compreensão madura sobre a necessidade de manter autonomia intelectual em contextos mediados por IA.

As respostas ao questionário sobre responsabilização da IA revelaram uma compreensão dos estudantes ao abordar questões éticas – não limitando a agência matemática crítica no campo da matemática. O reconhecimento de Alex sobre a necessidade de considerar “se a responsabilidade recai sobre os desenvolvedores, provedores de serviços ou outros envolvidos” e a sugestão de Flávio sobre “reforma estrutural em banco de dados” indicam uma compreensão sistêmica dos desafios éticos da IA. Essa postura se alinha com discussões contemporâneas sobre ética digital (Hagendorff, 2024). Nesse deslocamento do foco da matemática pura para a matemática situada, socialmente implicada, a modelagem deixa de ser apenas um exercício técnico para se constituir como prática de leitura e reinterpretação crítica da realidade (Silva; Kato, 2012; Lopes, 2023).

Estes resultados sugerem que a IA-Gen, quando utilizada em contextos pedagógicos adequadamente estruturados, pode efetivamente fomentar a agência matemática crítica. Contudo, os dados indicam que esse desenvolvimento não ocorre automaticamente, mas requer mediação pedagógica que provoque reflexões sobre as dimensões sociais, éticas e políticas da tecnologia. A manifestação mais robusta da agência crítica nas entrevistas, comparativamente aos relatórios de modelagem, sugere que espaços dialógicos de reflexão promovem o desenvolvimento desta competência.

Antes de abordar as limitações deste estudo, vale ressaltar que alguns alunos não manifestaram agência matemática crítica. Carlos (G4), por exemplo, disse que

A modelagem é imparcial, então acho que vale a pena. Dá pra encontrar uma modelagem adequada. Por exemplo, pensando em política: esquerda e direita estariam representadas. Com essa modelagem, não haveria tendência ideológica, seria neutra.

Outros, como Paulo (G5), confiaram nas respostas obtidas pela IA.

Tenho usado o ChatGPT e acho muito bom para qualquer coisa que se queira fazer. Ele serve como um ótimo auxílio — seja para copiar e colar, desenvolver ideias, produzir textos, planejar projetos, até coisas como plantas de casa ou planejamentos futuros. Dá pra aplicar tanto na vida cotidiana quanto nos planos pessoais. Mas é importante lembrar: ele deve ser usado como ferramenta de apoio.

Apesar de mostrar que a IA é uma “ferramenta de apoio”, Paulo parece confiar na IA sem muita reflexão crítica. Isso indica a necessidade de um tutor que possa guiar as interações com a IA-Gen, a fim de que possam ter uma atitude analítica diante das respostas obtidas e não confiar cegamente no que é obtido.

Teoricamente, os dados analisados evidenciam o entrelaçamento entre seres-humanos-com-IA e a constituição do poder de ação em contextos de produção matemática (Borba, 2021; Souto et al., 2025). O conceito de seres-humanos-com-IA se materializa nas interações em que a IA não apenas responde, mas reconfigura o próprio processo de modelagem, moldando e sendo moldada pelos estudantes. No caso do G6, a adaptação da equação proposta pela IA evidencia uma negociação de agência em que os estudantes recusam a passividade epistêmica, performando uma *good agency* ao transformar a sugestão algorítmica em um artefato matemático situado. Em contraponto, as entrevistas revelaram episódios de *bad agency*, como a replicação de informações falsas ou a aceitação acrítica de conteúdos, apontando para os riscos de uma agência algorítmica que obscurece a autoria humana. O reposicionamento dos estudantes, como foi o caso do G2, ao assumir a responsabilidade pela curadoria do conhecimento e ao problematizar a IA como agente de poder, mostra uma ampliação do poder de ação que ultrapassa o domínio técnico e alcança a dimensão ética e epistêmica da formação. A crítica à centralidade do humano na produção do conhecimento emerge, assim, de forma potente e situada nas práticas discursivas e



pedagógicas mediadas pela IA-Gen.

Esta pesquisa apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. O estudo restringiu-se a um contexto específico – estudantes de engenharia de uma universidade federal em Minas Gerais –, o que pode limitar a generalização dos achados para outros contextos educacionais, níveis de ensino ou áreas do conhecimento. O número relativamente reduzido de participantes e o recorte temporal de um semestre letivo podem não ter capturado a diversidade completa de manifestações da agência matemática crítica em interações com IA-Gen, especialmente considerando que o desenvolvimento desta competência pode requerer períodos mais extensos de maturação. Adicionalmente, a pesquisa focou especificamente no ChatGPT como representante das tecnologias de IA generativa – visto que era praticamente a única IA-Gen popularmente conhecida sem concorrentes diretos na época da pesquisa de campo. Por isso, não foram contempladas outras ferramentas que poderiam apresentar características distintas de interação e mediação cognitiva. A natureza qualitativa do estudo, embora adequada aos objetivos propostos, também implica em limitações quanto à quantificação de padrões e à comparação sistemática entre diferentes grupos ou contextos, sugerindo a necessidade de investigações futuras que ampliem o escopo temporal, diversifiquem os contextos de aplicação e incorporem abordagens metodológicas complementares para uma compreensão mais abrangente da implicação da IA-Gen em contextos educacionais.

6 CONCLUSÕES

A análise dos dados revela um panorama denso e multifacetado das interações dos estudantes de engenharia com a inteligência artificial generativa, especialmente o ChatGPT, durante o processo de modelagem matemática. Observa-se uma variação significativa no grau de apropriação da tecnologia pelos grupos, indo desde um uso instrumental e acrítico até uma manifestação de consciência crítica. Grupos como o G6 demonstraram capacidade de adaptação do conteúdo sugerido pela IA, ajustando equações diferenciais ao contexto investigado, o que sugere uma evolução da agência. Já o grupo G2 optou por não utilizar a IA-Gen na modelagem matemática, mas evidenciou forte posicionamento crítico nas entrevistas, reconhecendo limitações epistêmicas da IA e a importância da verificação de fontes. Além

disso, entrevistas de grupos como G1 e G2 evidenciaram reflexões éticas e epistêmicas sobre o papel da IA na produção e na disseminação do conhecimento, inclusive com apontamentos sobre a desinformação e os limites da responsabilização técnica. Assim, os dados mostraram uma variação das interações com a IA-Gen. Enquanto alguns estudantes optaram por um uso funcional da IA-Gen como ferramenta de apoio, outros interrogaram criticamente as respostas do *chatbot* de IA, tornando-a coautora do processo de conhecimento.

Logo, houve variação nos níveis de agência observados, com alguns estudantes demonstrando consciência crítica nas entrevistas, mas sem refletir isso na elaboração dos modelos. Isso indica uma possível desconexão entre discurso crítico e prática matemática, ressaltando a importância de integrar a agência matemática crítica de forma sistemática nas tarefas, avaliações e interações em sala de aula.

A análise realizada sugere que a participação de um coletivo de professor-alunos-com-IA na formação de engenheiros pode tanto ampliar quanto restringir o poder de ação dos estudantes, a depender das formas de apropriação crítica ou subserviente da tecnologia. A formação técnico-científica mediada por IA-Gen exige, portanto, uma pedagogia que vá além da competência instrumental e que inclua o letramento algorítmico, a ética da informação e a agência distribuída como elementos constitutivos da prática educativa. Os estudantes que demonstraram senso crítico diante das respostas da IA, ou que se recusaram a seguir suas sugestões sem reflexão, representam potenciais caminhos para uma educação em engenharia mais autônoma, situada e responsiva às complexidades do mundo contemporâneo.

A pesquisa evidenciou, ainda, que a agência matemática crítica em contextos de IA manifesta-se por meio de uma tensão produtiva entre aproveitamento das potencialidades tecnológicas e manutenção da autonomia crítica. Os estudantes que demonstraram maior agência foram aqueles que consideraram a IA como uma tecnologia de apoio sem abdicar de sua capacidade de questionamento e análise crítica.

Conclui-se que, no contexto de seres-humanos-com-mídias, a IA-Gen pode constituir-se como aliada no desenvolvimento da agência matemática crítica, desde que sua utilização seja acompanhada de práticas pedagógicas que estimulem a reflexão crítica sobre as implicações sociais e éticas da tecnologia. O papel mediador do professor emerge como fundamental neste processo, não apenas para orientar o uso técnico da ferramenta, mas, principalmente, para provocar questionamentos que transcendam a dimensão instrumental e



alcancem as esferas social e política do conhecimento matemático. Pesquisas futuras podem aprofundar-se na compreensão de como se constitui o poder de ação e quais dispositivos pedagógicos favorecem ou inibem a emergência de seres-humanos-com-IA-Gen que sejam, ao mesmo tempo, tecnicamente proficientes e criticamente engajados. Adicionalmente, outras investigações poderiam explorar estratégias pedagógicas específicas para potencializar essa mediação tecnológica, bem como investigar a manifestação da agência matemática crítica em outros contextos de uso da IA na educação matemática.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Julia.; MAYFIELD-INGRAM, Karen; MARTIN, Danny Bernard. **The impact of identity in K-8 mathematics: Rethinking equity-based practices**. Reston: National Council of Teachers of Mathematics, 2013.

ARAÚJO, Jussara Loiola. Ser crítico em projetos de modelagem em uma perspectiva crítica de educação matemática. **Bolema: Boletim de Educação Matemática**, Rio Claro, v. 26, n. 43, p. 839-859, ago. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-636X2012000300005>

BAKKER, Arthur; CAI, Jinfa; ZENGER, Linda. Future themes of mathematics education research: an international survey before and during the pandemic. **Educational Studies in Mathematics**, Dordrecht, v. 107, n. 1, p. 1–24, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10049-w>

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011. 229 p.

BORBA, Marcelo de Carvalho.; VILLARREAL, Monica. **Humans-with-media and the reorganization of mathematical thinking: information and communication technologies, modeling, experimentation and visualization**. New York: Springer, 2005. <https://doi.org/10.1007/b105001>

BORBA, Marcelo de Carvalho. The future of mathematics education since COVID-19: humans-with-media or humans-with-non-living-things. **Educational Studies in Mathematics**, Dordrecht, v. 108, n. 1-2, p. 385–400, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10043-2>

BORBA, Marcelo de Carvalho; SOUTO, Daise. Lago; CUNHA, José Fernandes.; DOMINGUES, Nilton. Humans-with-media: twenty-five years of a theoretical construct in mathematics education. In: PEPIN, B.; GUEUDET, G.; CHOPPIN, J. (org.). **Handbook of digital resources in mathematics education**. Cham: Springer, 2023. (Springer International Handbooks of Education). https://doi.org/10.1007/978-3-030-95060-6_7-1.

BRANDTZAEG, Petter Bae; YOU, Yukon; WANG, Xi; YUCONG, Lao. “Good” and “bad” machine agency in the context of human-AI communication: the case of ChatGPT. In: DEGEN, H.; NTOA, S.; MOALLEM, A. (ed.). HCI International 2023 — Late Breaking Papers: **25th International**

Conference on Human-Computer Interaction. Proceedings. Cham: Springer, 2023. (Lecture Notes in Computer Science, v. 14059), p. 3–23. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48057-7_1

CEVIKBAS, Mustafa; KAISER, Gabriele; SCHUKAJLOW, Stanislaw. A systematic literature review of the current discussion on mathematical modelling competencies: state-of-the-art developments in conceptualizing, measuring, and fostering. **Educational Studies in Mathematics**, Dordrecht, v. 109, n. 2, p. 205–236, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10104-6>

LOPES, Aldo Peres Campos e. Contrapondo a ideologia da certeza por meio do conhecimento reflexivo na modelagem matemática. **Bolema: Boletim de Educação Matemática**, v. 37, n. 77, p. 936–957, 2023. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v37n77a01>

LOPES, Aldo Peres Campos e. Mathematical modelling: a methodology favourable to the manifestation of critical mathematics consciousness. **International Journal of Mathematical Education in Science and Technology**, [S. l.], p. 1–30, 2024. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2024.2378191>

LOPES, Aldo Peres Campos e; BORBA, Marcelo Carvalho. Seres-humanos-com-ChatGPT em Modelagem Matemática. **Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática**, Brasília, p. 1–15, 2024. Disponível em: <https://www.sbembrasil.org.br/eventos/index.php/sipem/article/view/260>. Acesso em: 6 ago. 2025.

LOPES, Aldo; BORBA, Marcelo. Do themes of environmental collapse guarantee a socioecological discussion? In: LE ROUX, K. et al. (Org.). **Proceedings of the 27th ICMI Study Conference: Mathematics Education and the Socio-Ecological**. Quezon City (Philippines), 22–25 jan. 2025. Quezon City: MATHTED; ICMI, 2025. p. 331–338. Disponível em: <https://icmistudy27.sciencesconf.org/resource/page/id/15>. Acesso em: 6 ago. 2025.

MORAES, Valdison Luiz Cruz de.; AMORIM NETO, Alcides de Castro. EXPLORANDO PERSPECTIVAS FENOMENOLÓGICAS EDUCACIONAIS NA EDUCAÇÃO. **Revista Areté | Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, [S.l.], v. 22, n. 36, p. e24038, dez. 2024. ISSN 1984-7505. <https://doi.org/10.59666/Arête.1984-7505.v22.n36.2124>

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970.

FREIRE, Paulo. **Educação como Prática da Liberdade**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979.

HAGENDORFF, Thilo. Mapping the ethics of generative AI: a comprehensive scoping review. **Minds & Machines**, [S.l.], v. 34, p. 39, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11023-024-09694-w>

JUNG, Hyunyi; WICKSTROM, Megan. Teachers creating mathematical models to fairly distribute school funding. **The Journal of Mathematical Behavior**, v. 70, 101041, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2023.101041>



MAGGIOLINI, Piercarlo. Um Aprofundamento para o Conceito de Ética Digital. **Revista de Administração de Empresas**, v. 54, n. 5, p. 585–591, set. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020140511>

PASA, B. C.; BERTO, C.; SILVA, D. K. da. Estado do conhecimento sobre as perspectivas de inovações educacionais no âmbito da educação matemática. **Revista Eletrônica de Educação Matemática**, v. 19, p. 1–22, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/revemat/article/view/99866>. Acesso em: 6 ago. 2025.

RODRIGUES, Raquel Augusta Borges; SANTANA, Geslane Figueiredo da Silva; BARBOSA, Edson Pereira. SALA DE ARTICULAÇÃO: UM ESTUDO COM ALUNOS EM SITUAÇÃO DEFASAGEM EM MATEMÁTICA. **Revista Areté | Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, [S.l.], v. 22, n. 36, p. e24037, dez. 2024. ISSN 1984-7505. <https://doi.org/10.59666/Arete.1984-7505.v22.n36.4153>.

SILVA, Cíntia da; KATO, Lilian Akemi. Quais Elementos Caracterizam uma Atividade de Modelagem Matemática na Perspectiva Sociocrítica? **Bolema: Boletim de Educação Matemática**, v. 26, n. 43, p. 817–838, ago. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-636X2012000300004>

SOUTO, Daise Lago; CUNHA, José Fernandes; BORBA, Marcelo de Carvalho. **Inteligência artificial em educação matemática**. Belo Horizonte: Autêntica, 2025.

TURNER, Erin Elizabeth. **Critical mathematical agency**: Urban middle school students engage in mathematics to investigate, critique, and act upon their world. 2003. Tese (Doutorado em Educação) – University of Texas at Austin, Austin, TX, 2003.

COMO CITAR - ABNT

LOPES, Aldo Peres Campos; BORBA, Marcelo de Carvalho. Agência matemática crítica na produção de modelos matemáticos com IA. **Areté - Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, Manaus, v. 24, n. 38, e25030, jan./dez., 2025. <https://doi.org/10.59666/Arete.1984-7505.v24.n38.5128>

COMO CITAR - APA

Lopes, A. P. C. & Borba, M. C. (2025). Agência matemática crítica na produção de modelos matemáticos com IA. *Areté - Revista Amazônica de Ensino de Ciências*, 24(38), e25030. <https://doi.org/10.59666/Arete.1984-7505.v24.n38.5128>

LICENÇA DE USO

Licenciado sob a Licença *Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International* ([CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)) . Esta licença permite compartilhar, copiar, redistribuir o manuscrito em qualquer meio ou formato. Além disso, permite adaptar, remixar, transformar e construir sobre o material, desde que seja atribuído o devido crédito de autoria e publicação inicial neste periódico.



EDITORES CONVIDADOS

Dailson Evangelista Costa



José Roberto Linhares de Mattos



Mônica Suelen Ferreira de Moraes



Sandra Maria Nascimento de Mattos  

HISTÓRICO

Submetido: 14 de julho de 2025.

Aprovado: 10 de agosto de 2025.

Publicado: 26 de dezembro de 2025.
