DESKILLING, NEVER-SKILLING E MIS-SKILLING NA ENGENHARIA: desafios da supervisão técnica e do desenvolvimento profissional na era da automação

DESKILLING, NEVER-SKILLING AND MIS-SKILLING IN ENGINEERING: *challenges of technical supervision and professional development in the age of automation*

Fabio Rodrigues da Costa*

RESUMO

A inteligência artificial (IA) generativa pode deslocar parte do trabalho do engenheiro da produção para a verificação, como já se relata em outros setores. A hipótese é que a capacidade de verificar dependa das habilidades que a ferramenta tende a poupar: quem nunca fez não saberia conferir (*never-skilling*) e quem parou de fazer pode deixar de saber (*deskilling*). Quem aprende com saídas erradas pode consolidar o erro (*mis-skilling*). Este artigo revê, do ponto de vista da engenharia, os conceitos reunidos por Abdulnour, Gin e Boscardin (2025) para a supervisão clínica. Por meio de revisão narrativa, organiza a evidência da aviação, da medicina, do software, da aprendizagem e do mercado de trabalho, separando o que cada estudo mede: desempenho com IA, desempenho depois sem IA, percepção e desempenho do modelo. O risco é plausível e tem mecanismos documentados, mas não foi medido em engenheiros em exercício. O artigo propõe um mapa de riscos por tarefa, a adaptação do roteiro DEFT-AI à supervisão técnica, critérios de uso por risco, portas de competência a testar e uma agenda de pesquisa. Nos documentos lidos, os órgãos presumem competência prévia, e do júnior só tratam uma linha de um *checklist* britânico e a menção à mentoria em um parecer norte-americano; no Brasil, a responsabilidade técnica continua pessoal, e aplicar as normas existentes à IA ainda depende de interpretação.

Palavras-chave: inteligência artificial; engenharia civil; BIM; supervisão técnica; *deskilling*; *never-skilling*.

* Consultor sênior, professor universitário e palestrante, com mais de 26 anos de experiência na construção civil e especialização em gestão de projetos, planejamento de obras e aplicação de BIM. MBA em Gestão de Projetos (FGV); pós-graduação em Gerenciamento de Obras (Uninove), em Metodologia BIM (IBEC) e em Gestão de Projetos na Construção (USP); pós-graduando em Inteligência Artificial e Negócios (PUC-PR). Participou de projetos industriais que somam mais de 1 milhão de m² de área construída, integrando equipes de obras vencedoras do prêmio internacional Golden Trowel em 2015 e 2018. E-mail: fabiocosta81@gmail.com.

ABSTRACT

Generative artificial intelligence (AI) may shift part of the engineer's work from production to verification, as already reported in other sectors. The hypothesis is that the ability to verify depends on the very skills the tool tends to spare: those who have never done the work would be unable to check it (*never-skilling*) and those who have stopped doing it may lose the ability (*deskilling*). Those who learn from wrong outputs may consolidate the error (*mis-skilling*). This article reviews, from an engineering standpoint, the concepts brought together by Abdulnour, Gin and Boscardin (2025) for clinical supervision. Through a narrative review, it organizes evidence from aviation, medicine, software, learning and the labor market, separating what each study measures: performance with AI, later performance without AI, perception and model performance. The risk is plausible and has documented mechanisms, but it has not been measured in practicing engineers. The article proposes a task-based risk map, an adaptation of the DEFT-AI framework to technical supervision, risk-based criteria for use, competence gates to be tested and a research agenda. In the documents read, professional bodies presume prior competence, and junior engineers are addressed only by one line of a British checklist and a mention of mentorship in a US ethics opinion; in Brazil, technical responsibility remains personal, and applying existing rules to AI still depends on interpretation.

Keywords: artificial intelligence; civil engineering; BIM; technical supervision; *deskilling*; *never-skilling*.

1 INTRODUÇÃO

Um engenheiro júnior pede a um modelo de linguagem o pré-dimensionamento das lajes de um pavimento-tipo e recebe, em segundos, uma nota de cálculo bem redigida, com fórmulas, tabelas e citação de normas. O coordenador tem duas perguntas. A primeira é se a nota está certa. A segunda, menos evidente e mais importante para a formação daquele engenheiro, é se ele teria condições de saber.

A segunda pergunta é o assunto deste artigo. Abdulnour, Gin e Boscardin (2025), em revisão publicada no *New England Journal of Medicine* sobre a supervisão clínica do uso de inteligência artificial (IA), alertam para a possibilidade de formar profissionais muito eficientes e menos capazes de resolver problemas de forma independente. Além do viés de automação, nomeiam três riscos: *deskilling*, a perda de habilidade já adquirida; *never-skilling*, a falha em desenvolver competências essenciais; e *mis-skilling*, o reforço de comportamento incorreto por erro ou viés da IA (Abdulnour; Gin; Boscardin, 2025, p. 786). Propõem também um roteiro de supervisão, o DEFT-AI, e um princípio, verificar e confiar, que serão adaptados aqui.

A tese é uma hipótese. A IA generativa pode deslocar o trabalho do engenheiro para a verificação, e a capacidade de verificar dependeria justamente das habilidades que a IA tende

a poupar: quem nunca fez não saberia conferir, e quem parou de fazer pode deixar de saber. Verificar exige um padrão próprio contra o qual comparar, e sem ele resta apenas aceitar, como argumentam Ke *et al.* (2026) para a medicina.

A tese tem uma ressalva. Nenhuma das fontes lidas mede *deskilling* ou *never-skilling* em engenheiros em exercício nas áreas civil, mecânica, elétrica ou de processos. Há evidência de outros setores, com força desigual; estudos com estudantes, em geral de curta duração; testes do desempenho dos próprios modelos em tarefas de engenharia; e casos de falha por verificação insuficiente, nenhum dos quais demonstra perda de habilidade. A aplicação à engenharia é inferência declarada: o risco é plausível e tem mecanismos documentados, mas não foi medido.

Essa lacuna define a contribuição do artigo, que é organizar o que se sabe, separar evidência de hipótese e propor o que medir.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Trata-se de revisão narrativa, não sistemática. A pesquisa reuniu artigos científicos, documentos técnicos e publicações institucionais, nacionais e internacionais, sobre os seguintes temas: fundamentos sobre automação e habilidade; aviação; medicina; IA generativa no trabalho do conhecimento; ensino; história da engenharia; construção e *Building Information Modeling* (BIM); e regulação profissional. Uma etapa adicional procurou contraevidências e lacunas. A pesquisa não alcançou a NBR 6118 e a verificação independente de projeto, a sociologia brasileira do trabalho do engenheiro e os anais de ensino de engenharia no país.

Foram incluídos documentos sobre perda, falta de aquisição ou distorção de habilidade, verificação técnica ou responsabilidade profissional ligadas a automação ou IA, com preferência por estudos primários, revisões, documentos oficiais e investigações de acidentes. Foram descartados conteúdo de fornecedores, publicações sem fonte primária conferível e números vindos só da imprensa. O critério favorece estudos que relatam dano, viés que a etapa de contraevidências atenua sem eliminar. *Preprints* e documentos de trabalho estão marcados como tais, e vínculos de autores com empresas interessadas são declarados quando pesam na leitura do estudo.

Cada fonte foi fichada segundo o que de fato mede: desempenho com IA, desempenho depois sem IA, percepção ou desempenho do modelo.

A maior parte das obras usadas como fonte foi consultada no texto integral, no todo ou nas seções pertinentes, e uma parte apenas pelo resumo oficial ou por página web, assinalada na lista de referências; dessas, só se afirma o que o resumo ou a página diz. Para as obras com DOI, verificou-se também o registro de retratações e correções.

3 TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E ENGENHARIA

3.1 O SALTO DE FÉ JÁ EXISTIA

Engenheiros usam computadores para decidir há décadas, e convém começar por aí. Abdulnour, Gin e Boscardin (2025, p. 790) adotam uma definição relacional: há interação com IA quando um artefato computacional fornece um julgamento para orientar a ação e esse julgamento não pode ser reconstituído por quem o recebe, o que leva o usuário a considerar um salto de fé.

Lida assim, ela alcança o engenheiro que aceita o diagrama de esforços de um programa cujo modelo não consegue reconstituir. Ferguson (1993) já observava que, como as hipóteses dos programas comerciais não são visíveis ao usuário, o projetista teria de aceitar os resultados por fé ou verificá-los em profundidade suficiente.

3.2 O QUE MUDA COM OS MODELOS DE LINGUAGEM

Quatro diferenças justificam tratar os modelos de linguagem como problema distinto do software de engenharia tradicional. A primeira é a falta de determinismo. Esses modelos geram respostas probabilísticas, com pouca transparência sobre o raciocínio (Abdulnour; Gin; Boscardin, 2025, p. 786), e as respostas variam entre execuções (Oblitas; Adeeb; Cruz-Noguez, 2025).

A segunda é a ausência de modos de falha definidos. A automação crítica da aviação foi projetada com modos de falha explícitos e alertas padronizados, o que a IA generativa não tem (Ong *et al.*, 2026). A terceira é a aparência do erro. A fluência da resposta sugere agência e competência (Abdulnour; Gin; Boscardin, 2025, p. 786). Em um relato confidencial britânico, um memorial apresentado por arquiteto parecia robusto e bem escrito para um leigo, embora a cobertura só suportasse equipamento leve; a autoria por IA, ali, é inferência do relator (CROSS-UK, 2026). Em *preprint* de autores do Google, com modelos operando o COMSOL Multiphysics, programa de elementos finitos, o único problema aprovado pelo

critério de erro inferior a 10%, nos experimentos dentro do programa, foi acerto fortuito: o alvo era 18,3 °C, e o valor exportado, 20 °C, a temperatura padrão do software (Mudur *et al.*, 2025, p. 9). Número plausível não é número certo.

A quarta é o alcance. Na leitura proposta aqui, o programa tradicional, mesmo quando dimensiona e detalha, executa rotinas fixas, com critérios parametrizados e domínio de aplicação conhecido; o modelo de linguagem também escolhe, redige, justifica e recomenda, sem rotina que se possa auditar. Por assumir processos cognitivos, o assistente reduz as ocasiões de exercitar a habilidade, e Macnamara *et al.* (2024, p. 4) esperam perda maior do que a da automação clássica, expectativa ainda não testada.

O efeito combinado pode ser um deslocamento do trabalho. Em levantamento por autorrelato com 319 trabalhadores do conhecimento, com seis dos sete autores na Microsoft, o esforço relatado passa de reunir informação para verificá-la e de executar para supervisionar (Lee *et al.*, 2025, p. 16). Segundo *preprints*, entre desenvolvedores experientes, permitir IA reduziu o tempo de programar e aumentou o de revisar (Becker *et al.*, 2025, p. 10), e depurar o que não se escreveu é mais difícil (Simkute *et al.*, 2024, p. 5). Bainbridge (1983) descreveu a ironia há mais de quatro décadas: quem só monitora pode voltar a agir como inexperiente justamente na falha. A analogia tem limite no projeto, em que há dias para conferir, e volta a valer na obra, em que liberar concretagem é decisão de horas. No projeto, uma restrição é dispor de padrão independente de comparação; outra, documentada na seção 6, é escopo, contratação e atenção.

3.3 APLICAÇÕES EM FOCO

Entre as aplicações que este autor vem acompanhando estão geração automática de cronogramas, análise preditiva de atrasos, compatibilização BIM com detecção de interferências, automação de relatórios técnicos, previsões orçamentárias, análise de produtividade e controle de qualidade automatizado.

Este artigo concentra-se nos modelos de linguagem e nos sistemas construídos sobre eles; para análise preditiva e previsão orçamentária, nenhuma das fontes reunidas diz algo sobre habilidade. Em todas essas aplicações, a posição institucional é a de apoio à decisão: a IA não substitui o julgamento de um engenheiro habilitado (ASCE, 2024), e suas saídas são insumos preliminares que exigem verificação (Engineers Europe, 2026, p. 2).

4 DESKILLING, NEVER-SKILLING E MIS-SKILLING

4.1 UM TERMO, TRÊS SENTIDOS

Deskilling entrou no vocabulário acadêmico pela sociologia do trabalho. Braverman (1974 apud Attewell, 1987) sustentou que o capitalismo do século XX degrada continuamente o trabalho ao reorganizar o processo produtivo, e Attewell (1987) contesta a tese em bases teóricas, empíricas e metodológicas. Nesse sentido, quem perde é o ofício. Em economia, Cantarella, Molinari e Strozzi (2026), em documento de trabalho, chamam de *deskilling* a compressão da amplitude de capacidades que uma ocupação exige e a associam à exposição à IA nos Estados Unidos entre 2011 e 2025, com resultados sensíveis à medida usada.

O terceiro sentido, o de Abdulnour, Gin e Boscardin (2025), é individual: a perda de habilidade que a pessoa já tinha. Esse é o sentido adotado daqui em diante.

A preocupação individual é antiga. Bainbridge (1983) trouxe uma ideia que antecipa o *never-skilling*: os sistemas dependiam da habilidade de ex-operadores manuais, habilidade que as gerações seguintes não teriam como adquirir.

4.2 NEVER-SKILLING E MIS-SKILLING

A origem de *never-skilling* é incerta. Ke *et al.* (2026) escrevem que assim denominam o fenômeno, mas Oettl *et al.* (2026, p. 2) já atribuíam o conceito a Abdulnour, Gin e Boscardin (2025), que por sua vez remetem o termo a Rafel (2024 apud Abdulnour; Gin; Boscardin, 2025, p. 788). Ke *et al.* (2026) admitem que falta evidência direta em médicos em formação e tratam o conceito como modelo de risco. A hipótese prevê um período de falsa proficiência, em que o desempenho assistido parece adequado e não persiste sem a ferramenta, que a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) chama de miragem do falso domínio (OECD, 2026, p. 53).

Mis-skilling é o mais difícil de ver, porque a pessoa aprende, e aprende errado. A evidência experimental mais próxima, que não usa o termo, vem de Vicente e Matute (2023, p. 1, 5): participantes leigos assistidos por IA enviesada, em tarefa simulada, reproduziram os erros dela ao trabalhar sem ela. Glickman e Sharot (2025, p. 351-352) acrescentam que o mesmo mecanismo transmite acerto, pois interagir com algoritmo preciso melhorou julgamentos independentes.

4.3 FENÔMENOS VIZINHOS

Para o National Institute of Standards and Technology (NIST, 2024), viés de automação é a deferência excessiva a sistemas automatizados. Complacência é uma realocação ativa da atenção para outras tarefas sob carga alta (Parasuraman; Manzey, 2010, p. 384). Macnamara *et al.* (2024, p. 3) dão o critério que separa esses fenômenos da perda de habilidade: retirada a automação, viés e complacência desaparecem, e a perda de habilidade persiste. Para o engenheiro, a diferença é prática. Aceitar a sugestão errada em um dia de pressão é problema de verificação e pede procedimento e interface. Não conseguir refazer o cálculo quando a ferramenta sai é problema de habilidade e pede prática.

Na leitura do autor, a perda de competências viria da falta de prática operacional: quando a ferramenta faz a tarefa inteira, o profissional deixa de exercitá-la, sem que se saiba quanta prática basta. Uma imagem cotidiana é a de quem, por depender da calculadora, já não sabe fazer uma conta simples. A imagem não é evidência: a profissão não mediu se abandonar o cálculo manual custou algo, e a falta de medida também é compatível com ausência de dano (seções 6.1 e 11.1).

Na leitura proposta na seção 3.2, a IA generativa leva essa dependência mais longe, porque o modelo também escolhe, redige, justifica e recomenda. A calculadora poupa a conta; a IA pode poupar também o raciocínio que a confere. Em outros setores, há sinais compatíveis com essa leitura, com os limites discutidos na seção 5: sem a automação, pilotos mantiveram o controle manual em grande parte e tiveram problemas mais frequentes em tarefas cognitivas (Casner *et al.*, 2014); sem consulta, alunos do ensino médio que haviam praticado com o GPT de uso geral tiveram queda na prova, que o tutor com salvaguardas eliminou (Bastani *et al.*, 2025). Com a dependência da tecnologia, o profissional pode não saber mais lidar com problemas simples quando a ferramenta sai, hipótese que as fontes localizadas não mediram em engenheiros em exercício.

O decaimento por desuso tem base quantitativa: a meta-análise de Arthur Jr. *et al.* (1998) vai de $d = -0{,}01$ logo após o treino a $d = -1{,}4$ depois de mais de 365 dias, com perda maior em tarefas cognitivas. Ela mede desuso depois de treinamento e não mostra que usar IA equivalha a desuso. O Quadro 1 resume essas distinções.

Quadro 1 – Termos usados neste artigo e como se distinguem

Termo	**Definição adotada**	**Nível**	**Como se detecta**	**Situação hipotética em engenharia**
Deskilling organizacional	Degradação do ofício pela organização do trabalho	Organização	Análise de tarefas e do processo produtivo	Separar concepção de detalhamento e entregar este a sistemas
Deskilling como compressão	Redução da amplitude de capacidades exigidas	Ocupação	Bases ocupacionais ao longo do tempo	Cargo de orçamentista com menos exigências
Deskilling individual	Perda de habilidade antes adquirida	Pessoa	Desempenho sem IA, antes e depois da exposição	Sênior que deixou de pré-dimensionar e não percebe seção insuficiente
Never-skilling	Falha em desenvolver competência essencial	Pessoa em formação	Prova sem IA em coortes; queda ao retirar a ferramenta	Júnior que entrega memoriais sem nunca ter feito descida de cargas
Mis-skilling	Reforço de comportamento incorreto por erro ou viés da IA	Pessoa	Teste sem IA que reproduz o erro da ferramenta	Júnior que aprende da IA critério de norma estrangeira ou revogada e o repete sem a ferramenta
Viés de automação	Deferência excessiva ao sistema	Momento de uso	Seguir saída errada; some ao retirar o sistema	Aceitar quantitativo gerado sem conferir

Fonte: elaboração do autor a partir de Attewell (1987), Cantarella, Molinari e Strozzi (2026), Abdulnour, Gin e Boscardin (2025), Macnamara *et al.* (2024), NIST (2024) e Parasuraman e Manzey (2010).

5 O QUE A EVIDÊNCIA DE OUTROS SETORES PERMITE AFIRMAR

5.1 AVIAÇÃO

A aviação é referência obrigatória e pede leitura cuidadosa. O grupo de trabalho PARC/CAST credita à automação parte de um recorde de segurança (PARC; CAST, 2013, p. 1, 13); na leitura do autor, a perda de habilidade importa na medida em que eleve o risco do sistema, o que na engenharia tampouco foi medido. Os documentos oficiais não são evidências independentes: o alerta SAFO 13002, da Federal Aviation Administration (FAA), que afirma aumento de erros de pilotagem manual sem mostrar dados, foi escrito a partir de resultados preliminares do grupo (FAA, 2013a; PARC; CAST, 2013, p. 108). O número mais repetido, mais de 60% dos acidentes com erro de pilotagem manual, vem de 26 acidentes selecionados, em uma categoria que inclui entrar na pista de táxi errada e ajustar *flaps* de

modo incorreto, e o grupo adverte que suas frequências não representam a ocorrência real (PARC; CAST, 2013, p. 17, 19, 31). Quase todos os grupos entrevistados mencionaram possível queda da habilidade manual, e poucos tinham evidência direta, porque esses dados em geral não são coletados (PARC; CAST, 2013, p. 32).

Os acidentes também não dizem o que se costuma atribuir a eles. No voo AF447, o Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) lista entre os fatores a ausência de qualquer treino em pilotagem manual em grande altitude, em treinamento que respeitava a regra (BEA, 2012, p. 201, 204): falta de treino, mais próxima de *never-skilling* do que de perda de habilidade adquirida. No atropelamento por veículo autônomo em teste, em Tempe, o National Transportation Safety Board (NTSB) aponta distração e cultura de segurança (NTSB, 2019a, p. vi): é caso de vigilância e de organização.

A medida direta vem dos simuladores, e os estudos medem coisas diferentes. Haslbeck e Hoermann (2016) observaram 126 pilotos em uma aproximação manual e encontraram pior controle fino nos de longo curso, com poucos pousos recentes. O título atribui o efeito à automação, mas a variável estudada é a prática, e os dados, de tarefa motora e uma só companhia, não confirmam falta geral de habilidades básicas na nova geração. Casner *et al.* (2014), com 16 pilotos, relatam controle manual em grande parte intacto e problemas mais frequentes em tarefas cognitivas, como acompanhar a posição e reconhecer falhas. Nenhum dos dois tem medida anterior. Para o engenheiro, Casner é o mais sugestivo, por separar execução de raciocínio.

Exigir, por fim, não é medir. A norma americana de 2013 impôs treino manual em simulador com recorrência de 24 meses (FAA, 2013b, p. 67819, 67839-67840). A auditoria federal constatou que a FAA não sabia com que frequência os pilotos voam manualmente e que só duas de nove empresas analisavam esses dados (OIG, 2016, p. 9, 11). A FAA recomenda evitar cotas de voo manual sem base científica (FAA, 2017, p. 3), enquanto Ong *et al.* (2026), em texto de opinião, propõem cotas de proficiência para médicos. A dose de prática capaz de preservar a habilidade é desconhecida.

5.2 MEDICINA

A medicina produziu a medição mais citada. Budzyń *et al.* (2025) compararam, em quatro centros poloneses e 19 endoscopistas experientes, a taxa de detecção de adenoma em colonoscopias sem IA antes e depois da implantação de um sistema de detecção: 28,4% (226/795) e 22,4% (145/648), diferença de −6,0 pontos percentuais (IC95% −10,5 a −1,6). O

estudo é observacional e retrospectivo; o volume de exames quase dobrou; os exames sem IA ocorreram em dias sem IA intercalados com dias de uso de IA; a queda concentrou-se em parte dos centros, e os autores admitem regressão à média. O sistema é da Olympus, com vínculos declarados de parte dos autores, e há errata publicada cujo conteúdo não foi visto. Um comentador questionou se haveria perda real de habilidade em três meses em médicos com mais de 27 anos de experiência, em reações à imprensa usadas aqui só como registro da disputa (Science Media Centre, 2025).

Pedersen *et al.* (2026), em estudo prospectivo e não randomizado com 13 endoscopistas noruegueses, não encontraram mudança significativa na detecção de pólipos de 5 mm ou mais (PDR-5, substituto menos validado que a taxa de adenoma) depois da retirada do sistema, com poder limitado e bolsa da Medtronic, que distribui o sistema, e propõem, sem testar, que o efeito seja temporário. Okumura *et al.* (2026), em centro único e com autores que receberam honorários da Olympus, relatam detecção mantida sem IA. Nenhum dos três é randomizado para o desfecho sem IA, e Y. Mori é coautor de Budzyń e de Pedersen. A formulação defensável é que há um sinal observacional, não replicado e contestado por dois estudos com limites próprios e vínculos com fabricantes.

Mais bem estabelecido é outro ponto: durante o uso, a experiência não blinda contra a ferramenta. Entre 140 radiologistas, anos de experiência e subespecialidade não previram de forma confiável o efeito da assistência (Yu *et al.*, 2024, p. 837). Em mamografia, com IA simulada e 27 leitores, o desempenho dos muito experientes variou de 82,3% a 45,5% conforme a sugestão estivesse certa ou errada, queda menor que a dos inexperientes (Dratsch *et al.*, 2023). Entre 457 clínicos, IA sistematicamente enviesada reduziu a acurácia em 11,3 pontos, e explicações em imagem não remediaram o efeito (Jabbour *et al.*, 2023). Tudo isso é desempenho assistido; nada mede perda de habilidade.

5.3 SOFTWARE E TRABALHO DO CONHECIMENTO

O software traz uma advertência sobre percepção. Em ensaio randomizado do Model Evaluation & Threat Research (METR), *preprint*, 16 desenvolvedores experientes levaram 19% mais tempo com IA em 246 tarefas reais, depois de preverem redução de 24% e, ao final, estimarem redução de 20% (Becker *et al.*, 2025, p. 1-2). O número envelheceu: em estudo posterior, divulgado em 24 fev. 2026, veteranos aparecem com −18% de tempo (IC −38% a +9%), e a própria organização considera o dado pouco confiável (METR, 2026). Fica a

distância entre o ganho sentido e o medido. Em segurança de código, participantes com assistente escreveram código menos seguro e tenderam a julgá-lo seguro (Perry *et al.*, 2023).

Quanto à formação, Shen e Tamkin (2026, p. 9-11, 13-14), em *preprint* de autores ligados à Anthropic, randomizaram 52 programadores. Com IA, o resultado em teste sem consulta logo depois foi 17% menor, sem ganho significativo de tempo. O resultado foi pior entre os que delegavam do que entre os que faziam perguntas conceituais, em subgrupos de 2 a 7 pessoas.

Em consultoria, Dell'Acqua *et al.* (2026), com 758 profissionais, relatam 25,1% mais velocidade dentro da fronteira do modelo e 19% menos probabilidade de solução correta fora dela. A combinação humano-IA tampouco é garantia: em 106 experimentos, foi em média pior que o melhor dos dois isolados ($g = -0{,}23$) e melhor que o humano sozinho ($g = 0{,}64$), com heterogeneidade muito alta (Vaccaro; Almaatouq; Malone, 2024, p. 2293-2295).

Pelo tipo de responsabilidade profissional, o caso mais próximo da engenharia vem da contabilidade. Rinta-Kahila *et al.* (2023, p. 1384) relatam contadores que, após sete anos de automação de ativos fixos, não sabiam mais executar o trabalho manual quando o sistema foi retirado. A erosão ficou latente enquanto a habilidade não foi exigida (Rinta-Kahila *et al.*, 2023, p. 1390), e a empresa recuperou a competência por um laborioso aprender fazendo. É estudo de caso, com relatos retrospectivos, habilidade não medida e só quatro empregados que viveram a erosão, sobre software de domínio, e os autores admitem que pressões profissionais podem contrabalançar a complacência. A reversibilidade decide a gravidade do risco, e Ke *et al.* (2026) a dão por desconhecida.

5.4 APRENDIZAGEM

A evidência sobre aprendizagem é dividida. A favor da IA, Contractor e Reyes (2026), em documento de trabalho com 211 graduandos em ambiente supervisionado, encontraram ganho de 6,7 pontos percentuais em teste sem IA logo após o estudo e de 5,1 pontos uma semana depois; violações de regra na prova aumentaram no grupo com IA, o que, segundo os autores, explicaria no máximo cerca de um terço do ganho imediato. Neutros, nos dois estudos de laboratório, são Lehmann, Cornelius e Sting (2025, p. 12, 15-17), em *preprint* com Python cujo estudo de campo aponta custo para quem submete código idêntico ao do ChatGPT. Contra, Bastani *et al.* (2025), em ensaio de campo com cerca de mil alunos do ensino médio, mediram alta de 48% durante a prática e queda de 17% na prova sem consulta com o GPT de uso geral, enquanto o tutor com salvaguardas eliminou a queda sem produzir

ganho. Em *preprint*, Liu, G. *et al.* (2026, p. 4-5) encontraram queda no acerto sem IA em ensaios curtos, com efeito menor quando se corrigiu a evasão desigual (d de −0,45 para −0,20).

Horizontes longos são raros. Barcaui (2025) registrou 57,5% de acerto com ChatGPT contra 68,5% com estudo tradicional, em teste surpresa aos 45 dias. Liu, J. *et al.* (2026), em documento de trabalho com 2.379 universitários randomizados por instrutor durante um semestre, não encontraram efeito significativo de tutor integrado ao curso na amostra completa, com queda no recorte de mesmas disciplinas e só 14,63% de uso.

A divergência parece depender do desenho da ferramenta (tutor contra GPT aberto); do modo de uso, delegar ou pedir explicação, quase sempre em análise não randomizada (Liu, G. *et al.*, 2026, p. 7); do comparador, que varia entre livro, estudo tradicional e ausência de ferramenta; e do momento da medida, em geral imediato. Essa literatura não sustenta a afirmação geral de que a IA prejudica a aprendizagem. Sustenta que desempenho e aprendizagem são coisas diferentes (OECD, 2026, p. 56).

5.5 INÍCIO DE CARREIRA

No mercado, juniores ganham em produtividade em alguns estudos e perdem contratação em outros. Entre 5.179 agentes de suporte, o acesso à IA elevou a produtividade em 14%, e em 34% entre novatos, em documento de trabalho (Brynjolfsson; Li; Raymond, 2023). Em documento de trabalho descritivo, com folha de pagamento dos Estados Unidos, o emprego de pessoas de 22 a 25 anos em ocupações expostas estava, em junho de 2026, 19% abaixo do que estaria se acompanhasse o dos pares menos expostos (Brynjolfsson; Chandar; Chen, 2026, p. 3). Os autores declaram não estimar efeito causal, e, na American Community Survey, entre 2022 e 2024, a lacuna entre quintis extremos de exposição é bem menor no agregado (−0,022, contra −0,132 na folha), mas coincide em serviços profissionais, de informação e financeiros (Brynjolfsson; Chandar; Chen, 2026, p. 4, 28). As quedas em anúncios de vagas de entrada começaram quase um ano antes do ChatGPT (WEF; PwC, 2026, p. 11).

Engenheiros civis estão no quarto quintil de exposição (Brynjolfsson; Chandar; Chen, 2026, p. 55), e a construção é tratada como pouco exposta (WEF; PwC, 2026, p. 4). Os dados são compatíveis se escritório e obra forem separados. Nenhuma dessas fontes traz resultado próprio para engenheiros civis juniores, e nenhuma vale para o Brasil sem pesquisa local.

A ligação entre o júnior que rende mais e o que não é contratado é hipótese. Yu e Moon (2026), em 14 entrevistas na Coreia do Sul, propõem um padrão de absorção: seniores com IA fazem o que antes delegavam, e o trabalho de entrada deixa de chegar aos juniores. Em cirurgia urológica e banco de investimento, seniores aprenderam a nova tecnologia à custa da aprendizagem dos juniores (Beane; Anthony, 2024). Entre 13 juniores brasileiros de software, em *preprint* qualitativo, o critério que mais decide entre usar IA e fazer à mão é a capacidade de verificar o resultado (Bastos; Ribeiro, 2026, p. 1, 8). O Quadro 2 reúne estudos selecionados.

Quadro 2 – Estudos selecionados, o que medem e até onde alcançam

Estudo	**Setor**	**Desenho**	**O que mede**	**Resultado**	**Alcance para engenharia**
Haslbeck e Hoermann (2016)	Aviação	Transversal, 126 pilotos	Sem automação, por prática recente	Controle fino pior no longo curso	Prática recente pesa; tarefa motora
Casner *et al.* (2014) (a)	Aviação	16 pilotos, simulador	Sem automação	Controle preservado; mais problemas em tarefas cognitivas	Risco no raciocínio; sem medida anterior
Budzyń *et al.* (2025)	Medicina	Antes e depois, 19 endoscopistas	Sem IA, com exposição concomitante	−6,0 p.p. na detecção	Modelo de medição; confundido por volume
Pedersen *et al.* (2026) (a)	Medicina	Prospectivo, 13 endoscopistas	Depois, sem IA	Sem mudança significativa (PDR-5)	Antes, durante e depois é o desenho aproveitável
Rinta-Kahila *et al.* (2023)	Contabilidade	Caso único, 25 entrevistas	Relato retrospectivo	Competência manual relatada como perdida; recuperada com prática	Analogia próxima em responsabilidade
Shen e Tamkin (2026) (b)	Software	ECR, 52 programadores	Depois, sem IA, imediato	−17% em teste	Aprender delegando; vínculo com Anthropic
Bastani *et al.* (2025)	Ensino médio	ECR de campo, cerca de 1.000 alunos	Com IA e depois sem IA	+48% com IA; −17% sem IA; tutor neutro	Salvaguardas de desenho importam
Contractor e Reyes (2026) (b)	Graduação	ECR, 211 alunos	Depois, sem IA, até uma semana	+6,7 p.p. e +5,1 p.p.	Contrapeso; conteúdo novo, sem projeto

Fonte: elaboração do autor a partir das obras citadas. (a) Consultado apenas por resumo ou página web. (b) *Preprint* ou documento de trabalho. ECR: ensaio controlado randomizado; p.p.: pontos percentuais.

5.6 O QUE SE PODE AFIRMAR

Por juízo do autor, segundo desenho, número de estudos e proximidade da tarefa, a evidência permite estas afirmações, da mais à menos firme:

- durante o uso, novatos e experientes seguem saídas erradas, e explicações não se mostraram suficientes nos poucos estudos disponíveis, nenhum com explicação textual de modelo de linguagem;
- o desempenho com a ferramenta não prevê o desempenho sem ela, e o efeito da retirada varia com o desenho e o modo de uso;
- prática recente associa-se a melhor desempenho na aviação, e o desuso reduz a retenção, sem que se saiba quanta prática basta;
- perda de habilidade induzida por IA em profissionais é, até aqui, sinal observacional, contestado e não replicado;
- desempenho basal alto favorece o uso seguro (Abdulnour; Gin; Boscardin, 2025, p. 789-790), mas experientes também seguem saídas erradas: saber fazer seria condição necessária, não suficiente, hipótese que nenhum estudo lido testa diretamente;
- em engenheiros em exercício, nada foi medido nas fontes localizadas.

6 O QUE A PRÓPRIA ENGENHARIA JÁ VIVEU

6.1 DO CÁLCULO MANUAL AO COMPUTADOR

A preocupação com o engenheiro que confia demais na máquina é mais velha que a IA. Lanning, Roberts e Wiggins (2024) reúnem duas queixas: Gregory, nos anos 1960, criticava o ensino teórico demais; de Wagh, em 1987, a Huston, em 2007, e Powell, em 2008, o alvo é o computador, e os autores chamam de atitude de 40 anos a ideia de que dominar o cálculo manual é necessário para entender estruturas. Barrie (2024) registra debate de ao menos 20 anos sobre CAD e desenho à mão. Ferguson (1993) imputava o declínio do conhecimento tácito à virada analítica dos currículos mais do que ao computador.

A recorrência admite duas leituras. A cética diz que cada geração reclama da seguinte e a engenharia seguiu em frente, e Lanning, Roberts e Wiggins (2024) reforçam o argumento ao relatar que profissionais valorizam métodos computacionais ao menos tanto quanto os manuais. A segunda, adotada aqui como interpretação do autor, nota que a profissão já passou

por transição semelhante sem medir o efeito, e a queixa persiste há ao menos 40 anos, embora a falta de medida também seja compatível com ausência de dano.

6.2 CASOS DE FALHA: O QUE MOSTRAM E O QUE NÃO MOSTRAM

Na cobertura em treliça espacial do Hartford Civic Center, que ruiu, flechas com o dobro do previsto foram observadas na construção e o alerta foi ignorado. Martin e Delatte (2001) atribuem grande parte da falha ao excesso de confiança na análise computacional; o resumo, único trecho lido, não diz que o programa errou e aponta barras comprimidas com longos comprimentos sem travamento.

Em 1991, a primeira base de concreto da plataforma Sleipner A afundou durante operação controlada de lastro. Segundo excerto do SINTEF reproduzido por Arnold (2009), a parede de uma célula falhou pela combinação de erro grave na análise por elementos finitos com ancoragem insuficiente da armadura em zona crítica. Arnold acrescenta que a aproximação do modelo elástico linear do *tricell*, quadro triangular, foi imprecisa e que as tensões cisalhantes foram subestimadas em 47%, com o programa NASTRAN, sem apontar defeito dele. Trata-se de falha de modelagem e verificação. Nada ali indica que os engenheiros tivessem perdido alguma habilidade.

No colapso da passarela da Florida International University, o NTSB aponta como causa provável erros da projetista no cálculo de carga e de capacidade, com contribuição de revisão independente inadequada, da falha em reconhecer a importância da fissuração e da falta de interrupção da obra e da via (NTSB, 2019b, p. 103). Os modelos da própria projetista produziram estimativas razoáveis da demanda, que nem sempre foram usadas (NTSB, 2019b, p. 100), e o relatório não imputa defeito ao software. O engenheiro responsável era experiente, segundo declaração individual de um membro do colegiado (NTSB, 2019b, p. 106), e o revisor, de firma não qualificada, não avaliou os nós nem os estágios construtivos.

Em um relato britânico, o modelo global indicava, em pilares apoiados em uma laje de transição, cerca de um terço das cargas obtidas por descida de cargas convencional, porque supunha estrutura completa e curada; uma descida de cargas muito simples, feita pelo revisor, expôs o erro (CROSS-UK, 2022). Inexperiência e dependência de software são opinião do relator, e o caso se aproxima mais de *never-skilling* do que de perda. Outro relato prescreve, para os menos experientes, ao menos a autoverificação por cálculos manuais simples (CROSS-AUS, 2022).

Nenhum precedente lido demonstra perda de habilidade antes existente. O enquadramento defensável é verificação insuficiente e confiança indevida. Nestes casos, escolhidos por terem falhado, em três de quatro havia sinal físico ou conferência simples capaz de expor o erro, e em dois o sinal não foi atendido; em Sleipner, o erro local só foi exposto por análise mais refinada, depois do acidente. Quando a conferência falhou, foi por escopo, contratação ou atenção. Na literatura consultada não se localizou caso documentado de falha em projeto ou obra causada por IA generativa, nem engenheiro punido por conselho por uso de IA, com a ressalva de que a consulta não foi exaustiva.

6.3 RAZOABILIDADE DO RESULTADO

Um curso de análise estrutural traz observação direta, em grupos de 5 a 11 alunos que avaliavam, com pensamento em voz alta, soluções prontas de outro engenheiro. O uso de ferramentas quantitativas de conferência caiu de 100% nos problemas manuais para 44% (turma de 2004) e 33% (turma de 2007) nos problemas por computador, e o de qualitativas subiu de 63% e 47% para 94% e 93% (Hanson; Brophy, 2009, p. 14.969.14). Os alunos não deixaram de conferir: mudaram de instrumento. Os autores não investigaram a causa e consideram inconclusivos os dados de acerto (Hanson; Brophy, 2009, p. 14.969.15). Na leitura do autor, a conferência por equilíbrio e aproximação é a que perde espaço diante do computador.

Em uma sequência de turmas não aleatorizadas, a instrução explícita para conferir acompanhou melhora em prova: acertos e justificativas subiram de 50% e 49% para 66-69% e 69-70% (Hanson, 2006; Hanson; Brophy, 2009, p. 14.969.15), e os alunos levaram essas habilidades a outras subáreas sem exigência dos docentes (Hanson, 2022). Nos Estados Unidos, só 22% de 171 descrições de disciplinas analisadas mencionam métodos aproximados úteis para verificar software (Lanning; Roberts; Wiggins, 2024).

7 ONDE O RISCO APARECE NO TRABALHO DO ENGENHEIRO

7.1 O QUE OS MODELOS ACERTAM E ERRAM

Os testes de modelos de linguagem em tarefas de engenharia medem o modelo, não quem o usa, envelhecem depressa e quase nunca declaram a data de execução. Servem como retrato datado, e nenhum dos lidos usa NBR ou português técnico.

Em testes distintos, o perfil do erro relatado mudou. Em 2023, o padrão era fórmula certa e conta errada (Frenkel; Emara, 2024; Pursnani *et al.*, 2023, p. 15). Em 2025, em 101 tarefas de projeto verificadas por simulação, erros puramente de cálculo foram no máximo 9% das falhas anotadas, e falta de conhecimento de domínio e violação de restrições responderam por 55% a 67%, em três modelos, com anotação manual multirrótulo dos autores (Guo *et al.*, 2025, p. 10). Não há série comparável que isole o efeito do tempo, erros de cálculo persistem (Wan *et al.*, 2026, p. 10), e nada disso dispensa refazer a conta. Por inferência do autor, erro de domínio tende a ser mais difícil de perceber; nenhuma fonte lida mediu isso.

O tipo de tarefa e a forma de verificar mudam o quadro, embora a comparação entre estudos não isole o efeito de cada um. Em prova prática do exame de fundamentos de engenharia dos EUA (FE Civil), quatro modelos ficaram acima de 70% e dois acima de 60%, com 87% em questões só de texto, 42% com imagem e vários em 50% ou menos em Engenharia Estrutural e Estática, sem que se possa afirmar aprovação, pois a nota de corte não é pública (Oblitas; Adeeb; Cruz-Noguez, 2025, p. 9-10, 12, 15). Com verificação por simulação, nenhum modelo passou de 35% no geral, e nas 13 tarefas da categoria estrutural, de otimização topológica ou de dimensionar peça para limite de deslocamento, sem norma civil, a aprovação variou de 23,08% a 50% (Guo *et al.*, 2025, p. 7).

Ler desenho e tabela continua a ser gargalo, e o ganho aparece quando um humano já os interpretou. Em questões em chinês baseadas em tabelas de normas chinesas, a acurácia média subiu de 45,27% e 40,65% para 98,94% e 87,27% quando um especialista reescreveu a tabela em texto (Liang *et al.*, 2026, p. 16). A ligação com *never-skilling* é inferência do autor: a etapa que faz a IA funcionar é a que o iniciante precisa aprender a fazer.

Acoplar o modelo a um *solver* melhora muito o resultado, mas o ganho depende de intervenção humana. No cálculo de reações de apoio de vigas isostáticas, com um único modelo, em *preprint*, a confiabilidade passou, nas biapoiadas, de valores entre 73% e 94% para mais de 99% com geração e execução de código de análise, e caiu a 0% em tarefas adicionais quando se retirou do *prompt* o exemplo completo incluído pelos autores (Liu *et al.*, 2025, p. 4-5, 9, 12), o que indica, por inferência do autor, dependência de quem sabe montar o exemplo. Mesmo acoplado, o modelo inventou apoio na extremidade livre do balanço: o *solver* calcula corretamente o modelo errado. Em planejamento, seis cronogramas para uma parede de alvenaria com porta pareceram coerentes à primeira vista; nenhum incluiu o marco nem sua proteção antes da pintura, as secagens foram aparentemente ignoradas e três previram fundação (Prieto; Mengiste; García de Soto, 2023). O modelo era GPT-3.5 e o caso

é isolado, mas a omissão plausível é a forma de erro que importa ao planejamento e à fiscalização.

7.2 MAPA DE RISCOS POR TAREFA

O Quadro 3 é proposta do autor, sem validação empírica. Suas verificações procuram ser independentes do caminho usado pela ferramenta: pedir ao mesmo modelo que confira a própria resposta não conta, e cada verificação cobre só parte do erro.

Quadro 3 – Riscos por tarefa e verificação independente

Tarefa	**Uso possível (não medido)**	**Habilidade em risco**	**Tipo de risco**	**Verificação independente**	**Quem e quando**
Estruturas: pré-dimensionamento e memorial	Propõe seções, redige memorial, gera *script* de análise	Caminho de cargas, ordem de grandeza, hipóteses e estágios construtivos	*Never-skilling* em juniores; *deskilling* em quem deixou de pré-dimensionar	Júnior: relação vão/altura, soma das reações, descida de cargas. Sênior: também a deformada. Lajes: flecha e punção. Sistema lateral: verificação própria. Nós e ancoragens: modelo local ou bielas e tirantes. Consumo e taxa de aço contra obras anteriores	Autor, revisor interno e terceiro; básico e executivo
Geotecnia: sondagens e parâmetros	Correlaciona ensaios, sugere parâmetros, redige relatório	Julgar perfil heterogêneo e incerteza do parâmetro	*Never-skilling*; *mis-skilling* se a correlação não servir ao solo local	Perfil interpretado por quem conhece a formação; validade das correlações NSPT naquele solo; dois métodos semiempíricos, sabendo que partem da mesma sondagem; prova de carga e recalques confirmam na execução	Geotécnico sênior no projeto; obra na execução

Tarefa	**Uso possível (não medido)**	**Habilidade em risco**	**Tipo de risco**	**Verificação independente**	**Quem e quando**
Orçamento: levantamento e composição	Extrai quantitativos, sugere composições	Ordem de grandeza; notar item ausente; critério de medição	*Deskilling*; *never-skilling* em juniores; viés de automação	Serviços contra EAP e disciplinas; composição contra SINAPI ou base própria; curva ABC à mão; quantitativo contra critério de medição; índices só na viabilidade	Orçamentista e revisor; viabilidade a executivo
Planejamento: cronograma	Gera atividades, sequência e durações	Sequência construtiva, restrições, tempos de cura e secagem	*Never-skilling*; omissão plausível	Tarefa a tarefa contra escopo; rede recalculada; linha de balanço em repetitivos; escoramento validado pelo projetista; durações contra apropriações	Planejador e quem executa; básico a execução
Coordenação BIM	Escreve regras e *scripts*, faz triagem de interferências	Traduzir requisito em regra; variação de autoria; decidir o que muda, considerando montagem e manutenção	*Never-skilling* em coordenadores novos; viés de automação na triagem; dependência de quem não programa	Leitura da regra por quem domina o requisito; casos com e sem violação; verificador consolidado; modelo de outra autoria; amostra dos conflitos descartados	Coordenador e disciplinas; cada rodada
Fiscalização e laudos	Redige diário e relatório, compara fotos com modelo	Reconhecer o anômalo; responder a sinais físicos	*Deskilling* perceptivo (hipótese); complacência	Pontos de parada antes da etapa (liberação de concretagem); critério escrito de interdição diante de fissura ou deslocamento em evolução; topografia e ensaios; diário conferido por quem esteve no local	Fiscal e responsável técnico; execução

Fonte: elaboração do autor; proposta a testar. Verificações inspiradas em CROSS-UK (2022), CROSS-AUS (2022), Prieto, Mengiste e García de Soto (2023), Fuchs, Hellin e Borrmann (2026) e Hanson (2006); as demais são prática técnica geral, sem fonte específica nas obras lidas, e nenhum estudo lido trata de triagem de interferências por IA.

7.3 BIM E VERIFICAÇÃO POR REGRAS

A verificação de modelos por regras é o caso em que a verificação determinística e o modelo de linguagem se encontram. Fuchs, Hellin e Borrmann (2026, p. 5-6) fizeram um agente gerar funções Python para 16 regras em 12 modelos em *Industry Foundation Classes* (IFC), tomando como referência o Solibri. O F1, que combina não deixar passar violação e não acusar à toa, foi de 0,55 no treino, 0,54 na validação e 0,40 no teste com edifícios não vistos. A falha dominante, em sete regras, foi a heurística geométrica, que funciona no treino e falha em geometria nova. A regra de espessura de laje caiu de 1,00 para 0,00 porque a propriedade estava sob o rótulo alemão *Dicke*. Desempenho em validação não garante generalização, e o desafio inclui, além de gerar código, lidar com convenções heterogêneas de IFC.

Na formação, um *preprint* com 55 alunos de pós-graduação, sem grupo de controle, relata que automatizar a checagem de regras com IA deslocou a dificuldade para a depuração, e que os alunos sem base em programação ficaram dependentes, sem entender a lógica dos *scripts* (Sahraoui *et al.*, 2025, p. 35, 40-41); a versão publicada, vista só no resumo, descreve outro desenho.

Na disciplina de pós-graduação em que este artigo nasceu, os alunos validam modelos IFC contra requisitos em *Information Delivery Specification* (IDS). O IDS especifica requisitos de informação; na experiência deste autor, checa presença e valor de propriedades e não avalia geometria nem relações entre objetos, o que corresponde à Classe 1 de Fuchs, Hellin e Borrmann (2026, p. 2, 5), cujo F1 caiu de 0,96 na validação para 0,38 no teste. O laboratório cobre, portanto, requisito de informação, e não conformidade normativa. Ainda assim é propício: a regra é explícita, o verificador é determinístico e é possível plantar no modelo um erro conhecido, embora a exportação mude o resultado. A sequência proposta é escrever o critério em linguagem comum, preparar o caso de teste com violação conhecida, só então usar IA para gerar o arquivo IDS ou a função Python e testá-los em modelo de outra autoria. A regra determinística também não elimina o juízo, pois alguém decide que regra importa e se a propriedade que o arquivo traz significa o que parece significar.

7.4 ESTUDANTES DE ENGENHARIA

Com estudantes de engenharia, a evidência é pequena e associativa. Em disciplina de mecânica, em *preprint*, o uso ao menos semanal subiu de 37% para 51% no semestre, sem que

a checagem acompanhasse, e a relação com o desempenho é compatível com as duas direções causais (Geng *et al.*, 2026, p. 10, 13). Entre 38 estudantes, a aceitação indevida de soluções erradas foi de 7,9% e a rejeição indevida de soluções certas, de 21,1%; o uso mais frequente associou-se a menos acertos no total ($\rho = -0{,}364$; $p = 0{,}025$), sem direção conhecida (Deutsch; Oca, 2026, p. 10-11).

Os dois estudos brasileiros de estruturas foram feitos com turmas de Arquitetura e Urbanismo e apontam em direções opostas. Em viga de concreto armado, as médias foram 6,07 sem IA e 4,70 com ChatGPT, em ordem fixa e sem significância ($p = 0{,}215$) (Barreto *et al.*, 2026, p. 13-14). Em pré-dimensionamento de pilar, 8 de 9 alunos com ChatGPT chegaram ao valor correto, contra 3 de 9 sem ele, sem teste estatístico (Silva *et al.*, 2025, p. 11). Não sustentam que a IA piore nem que melhore o desempenho.

8 RESPONSABILIDADE PROFISSIONAL

8.1 BRASIL

No Brasil, a responsabilidade técnica é atribuída a pessoas. A Lei nº 5.194/1966 reserva projeto, estudos, pareceres, perícias e direção de obras a pessoas físicas habilitadas e só admite pessoas jurídicas com participação efetiva e autoria declarada de profissional habilitado (art. 8º, parágrafo único). A lei considera ainda exercício ilegal "emprestar seu nome a pessoas, firmas, organizações ou empresas executoras de obras e serviços sem sua real participação nos trabalhos delas" (Brasil, 1966, art. 6º, c). A Lei nº 6.496/1977 sujeita os contratos à Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), que define, para os efeitos legais, os responsáveis técnicos (Brasil, 1977, arts. 1º e 2º). A Resolução nº 1.137/2023 do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (Confea) prevê modalidades de participação definidas por profissionais, sem categoria para ferramenta ou sistema, e declara nula a ART em que o profissional emprestou o nome sem real participação, após decisão transitada em julgado (Confea, 2023, arts. 11 e 24, III). A baixa da ART não exime de responsabilidade administrativa, civil ou penal (Confea, 2023, art. 13, parágrafo único). O Código de Ética impõe atuar "nos limites de suas atribuições e de sua capacidade pessoal de realização" e veda aceitar trabalho para o qual não se tenha efetiva qualificação (Confea, 2024, art. 9º, II, d; art. 10, II, a).

Nenhum desses dispositivos menciona IA. O que segue é interpretação do autor, sem decisão ou norma que a sustente nas fontes lidas. O art. 6º, c, trata de emprestar o nome a

executores, e quem usa a ferramenta participa do trabalho, de modo que o argumento se apoia sobretudo no Código: o engenheiro incapaz de avaliar um memorial gerado atua além da capacidade pessoal de que ele fala. Usar a ferramenta, em si, não é vedado.

Nos textos lidos não há norma do Confea sobre IA em ART, o que não comprova inexistência. O PL nº 2338/2023, no fechamento deste texto, aguardava parecer na Comissão Especial da Câmara; prevê supervisão humana para sistemas de alto risco e não trata do exercício da engenharia (Brasil, 2023, art. 8º). Na formação, as Diretrizes Curriculares exigem verificar e validar modelos, e estender isso às saídas de IA é leitura do autor (Brasil, 2019, art. 4º, II, d). O Parecer nº 15/2026 do Conselho Nacional de Educação (CNE/CP), aprovado em 1º de setembro de 2026, com homologação não confirmada, recomenda a IA como apoio e não como substituta do esforço intelectual (Brasil, 2026, p. 11).

8.2 OUTRAS JURISDIÇÕES

Fora do Brasil, as exigências de competência prévia variam em força. A Carolina do Norte exige ser capaz de reproduzir o resultado independentemente de qualquer programa de IA e desaconselha o uso sem competência já estabelecida (NCBELS, 2025, p. 1-2); o Texas tem frase quase idêntica sobre competência prévia, sem a exigência de reprodução, e, por leitura do autor, as duas não devem contar como manifestações independentes (TBPELS, 2024, p. 1). A Colúmbia Britânica pergunta se o profissional produziria o mesmo resultado por métodos convencionais e desaconselha o uso a quem não sabe identificar os riscos (EGBC, 2024, p. 3, 5-6).

O único documento de órgão profissional lido que usa a palavra *deskilling* é o *checklist* da Institution of Structural Engineers (IStructE, [2025?]), em uma linha: treinar juniores antes de dar acesso à IA. No parecer da National Society of Professional Engineers (NSPE, 2024, p. 7-8), o uso da ferramenta não é antiético em si, e revisar depois de pronto, sem participar do desenvolvimento, não satisfaz o *responsible charge*.

O AI Act europeu nomeia o viés de automação como risco que o supervisor humano deve conhecer e exige competência de quem supervisiona (União Europeia, 2024, art. 14, n. 4, b; art. 26, n. 2). Vale para sistemas de risco elevado, e o ponto 2 do anexo III cobre componentes de segurança na gestão e controle de infraestruturas digitais críticas, trânsito rodoviário e redes de abastecimento, o que em princípio não alcança assistentes de projeto. A aplicação foi adiada para dezembro de 2027 ou agosto de 2028, e o dever de garantir nível

suficiente de letramento em IA converteu-se em dever de promovê-lo, sem nível mínimo, com a alteração dos arts. 4º e 113 do Regulamento 2024/1689 (União Europeia, 2026, art. 1º).

8.3 O VAZIO

O conjunto supõe competência já formada, e, salvo uma linha da IStructE e a menção à mentoria da NSPE (2024, p. 7), nenhum dos documentos de órgãos profissionais lidos diz como o júnior a adquire; regimes de habilitação e experiência supervisionada não foram examinados. Por leitura do autor, a regra da Carolina do Norte, dirigida a quem assina, não prevê como quem aprende a tarefa com a ferramenta chegaria a reproduzir o resultado sem ela. Profissional é quem pode receber a confiança de exercer julgamento responsável (Sheppard *et al.*, 2008, p. 7), e esses documentos cuidam de quem assina sem cuidar de como se forma quem vai assinar.

9 SUPERVISÃO TÉCNICA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

9.1 OBJETIVOS

Na posição do autor, a IA deve atuar como apoio à decisão, sem substituir o julgamento técnico humano. A supervisão visa validar informações, prevenir erros, garantir conformidade normativa, controlar a qualidade da informação, mitigar riscos e preservar o conhecimento humano. Os cinco primeiros objetivos pertencem à garantia de qualidade clássica; o último é o problema que este artigo acrescenta: manter viva a capacidade de supervisionar.

9.2 DEFT-AI ADAPTADO À ENGENHARIA

O DEFT-AI organiza a conversa entre educador e aprendiz depois que uma interação com IA é reconhecida: discussão do raciocínio e do uso da ferramenta, evidência, *feedback*, ensino e recomendação de uso (Abdulnour; Gin; Boscardin, 2025, p. 790-792). Serve à reunião de revisão entre coordenador e júnior quase sem alteração. Os autores não relatam avaliação do DEFT-AI, nem em medicina, e ele não foi testado em engenharia. O Quadro 4 aplica o roteiro à revisão de uma nota de cálculo de laje gerada por IA, uso que o Quadro 5, adiante, não recomenda.

Quadro 4 – DEFT-AI adaptado à supervisão em engenharia, com exemplo de nota de cálculo de laje

Etapa	**Foco**	**Perguntas em engenharia**	**Registro**
Discussão	Raciocínio e uso da IA	Qual ferramenta e qual *prompt*? O que deixou de informar? Antes de ver a resposta, que espessura e que carga por pilar você esperava?	*Prompt*, versão e estimativa prévia
Evidência	O que sustenta o resultado e a ferramenta	Qual item da norma, e você o leu na norma? Que ações e hipóteses de apoio e de estágio construtivo foram adotadas? Verificou flecha diferida e punção? A relação vão/espessura e a soma das reações conferem? Refaça, sem IA, com um vão alterado, por cálculo simplificado.	Verificação independente, com método e resultado
Feedback	Autoavaliação guiada	Onde a saída errou ou omitiu? Você teria notado sem conferir?	Erros encontrados
Ensino	Lacunas técnicas e de letramento em IA	Por que o modelo tende a errar aqui? Como a laje de transição muda o caminho de cargas durante a construção (CROSS-UK, 2022)? Como pedir sem induzir a resposta?	Ponto técnico a retomar
Recomendação	Autonomia nessa tarefa	Pode usar para consultar e comparar, sob revisão? Deve repetir sem IA antes?	Nível de autonomia, com data

Fonte: adaptado de Abdulnour, Gin e Boscardin (2025, p. 790-792).

9.3 CENTAURO E CIBORGUE POR RISCO DA TAREFA

Com base em Dell'Acqua *et al.* (2023 apud Abdulnour; Gin; Boscardin, 2025, p. 791), dois comportamentos são descritos. O centauro divide as tarefas entre si e a IA, reservando-se a decisão. O ciborgue entrelaça o trabalho com a IA em todas as etapas, modo que carrega os riscos de perda, falta de aquisição e distorção de habilidade. Os autores recomendam centauro em tarefas de alto risco, incertas ou fora do uso validado da ferramenta, e ciborgue nas de baixo risco (Abdulnour; Gin; Boscardin, 2025, p. 793-794). A ressalva vem de Vaccaro, Almaatouq e Malone (2024, p. 2297): só 3 de mais de 100 experimentos testaram divisão prévia de subtarefas, com efeito positivo não significativo (g = 0,22). O Quadro 5 é, portanto, recomendação de bom senso, e sua graduação é juízo do autor, pela consequência do erro, pela chance de percebê-lo a tempo e pelo destino da saída. A mesma tarefa que é de ciborgue para o sênior pode pedir trabalho sem IA ao júnior.

Quadro 5 – Modo de uso sugerido por tarefa e risco

Tarefa	**Risco**	**Modo**	**Condição mínima**
Rascunho de e-mail, ata e pauta	Baixo	Ciborgue	Leitura antes de enviar
Extração de quantitativos e *scripts* internos	Conforme o destino da saída	Centauro	Casos de teste e amostra manual
Cronograma e composição de custos	Médio a alto	Centauro	Conferências do Quadro 3
Requisito de informação em modelo BIM (IDS)	Médio	Centauro com regra determinística	Teste em modelo de outra autoria; regra definida pelo responsável
Regra normativa ou geométrica em modelo BIM	Alto	Centauro	Comparação com verificador consolidado; regra definida pelo responsável
Dimensionamento, fundações, contenções, laudo e parecer	Alto	Centauro estrito	IA só informa; verificação independente; responsável capaz de reproduzir o resultado sem IA, com software convencional ou método simplificado
Aprendizado da própria tarefa pelo júnior	Variável	Sem IA até a porta de competência (seção 10.4)	Demonstração supervisionada

Fonte: elaboração do autor a partir de Abdulnour, Gin e Boscardin (2025, p. 793-794), Engineers Europe (2026, p. 2), Ke *et al.* (2026), IStructE ([2025?]) e NCBELS (2025); proposta sem validação.

9.4 VERIFICAR E CONFIAR

Em "verificar e confiar" (Abdulnour; Gin; Boscardin, 2025, p. 795), a ordem importa: a concordância confiável entre a saída e o raciocínio humano reduz a necessidade de vigilância, sem eliminá-la, e por isso quem aprende precisa desenvolver as habilidades independentes com que fará a comparação. Em engenharia, isso significa conferir por caminho independente e verificar o processo além do resultado, porque número razoável pode ser valor padrão de software.

9.5 O QUE NÃO BASTA E O QUE AJUDA

Instruir não basta para verificar sob pressão real, ainda que melhore o desempenho em prova. Segundo a síntese de Parasuraman e Manzey (2010, p. 381), o viés de automação aparece em novatos e especialistas e não é evitado por treino ou instrução. A explicação da IA também não se mostrou suficiente nos poucos estudos disponíveis: funciona como sinal geral

de competência (Buçinca; Malaya; Gajos, 2021, p. 188:2), facilitou a dependência dos contadores (Rinta-Kahila *et al.*, 2023, p. 1392) e não remediou o efeito de IA enviesada (Jabbour *et al.*, 2023). Abdulnour, Gin e Boscardin (2025, p. 792, 795) recomendam pedir que a IA explique seu raciocínio; isso não substitui a verificação independente.

Algumas medidas ajudam, em parte. Viver falhas durante o treino reduziu a complacência, embora a verificação tenha ficado abaixo do modelo normativo em todos os grupos (Bahner; Huper; Manzey, 2008 apud Parasuraman; Manzey, 2010, p. 400). A responsabilização por desempenho ou acurácia reduziu erros em 181 não pilotos, com a ressalva de que o efeito pode vir de motivação (Skitka; Mosier; Burdick, 2000 apud Parasuraman; Manzey, 2010, p. 396). Goddard, Roudsari e Wyatt (2012) listam treinamento e responsabilização como atenuantes, o que mantém em disputa o efeito do treino. Funções de forçamento cognitivo (pedir a sugestão, decidir antes de vê-la ou aguardar), em conjunto, reduziram a dependência quando a IA errava em uma das medidas (0,48 contra 0,64), sem efeito significativo na decisão completa, sem isolar o efeito de cada função e nas condições de que os usuários menos gostaram, em leigos (Buçinca; Malaya; Gajos, 2021, p. 188:11, 188:16).

10 O NOVO PAPEL DO ENGENHEIRO

10.1 COMPETÊNCIAS E JUSTIFICATIVAS

Na posição do autor, o papel do engenheiro pode evoluir de executor operacional para supervisor técnico e curador da informação, e supervisionar exige participar do desenvolvimento, além de rever o pronto (NSPE, 2024, p. 7). As competências que isso exige têm as seguintes justificativas:

- validação de dados: parte das falhas está na entrada e nas premissas, e uma propriedade sob rótulo inesperado basta para zerar uma regra, como no caso *Dicke* (Fuchs; Hellin; Borrmann, 2026, p. 6);
- integração entre sistemas: a confiabilidade cresceu, em vigas isostáticas, quando o modelo foi acoplado a *solver* (Liu *et al.*, 2025), e alguém precisa saber o que foi acoplado; funções determinísticas geradas por IA ainda falharam em modelos não vistos (Fuchs; Hellin; Borrmann, 2026);
- análise crítica: é o padrão contra o qual se confere, e pode ser ensinada (Hanson, 2022);

- tomada de decisão estratégica: decidir sob incerteza caracteriza a profissão (Sheppard *et al.*, 2008, p. 8), e a fronteira irregular dos modelos exige decidir quando não usá-los;
- gestão de riscos: controles proporcionais ao risco já aparecem na orientação profissional (Engineers Europe, 2026, p. 2);
- supervisão de processos automatizados: na aviação, advertiu-se que o uso prolongado da automação, sem precisar avaliar ou intervir, pode atrofiar a capacidade de monitorar (PARC; CAST, 2013, p. 67); a extensão à engenharia é hipótese.

10.2 PRESERVAR HABILIDADE SEM IA, SEM SABER A DOSE

Se a verificação depende de habilidade, a habilidade precisa de exercício. Na reciclagem de procedimentos, praticar sustentou a habilidade, enquanto ensaio simbólico e teste de conhecimento sustentaram o saber, com queda moderada do saber-fazer (Kluge; Frank, 2014). Haslbeck e Hoermann (2016) inferem, porém, que quatro sessões anuais de simulador não mantiveram a habilidade em pilotos de longo curso, e a FAA recomenda evitar cotas sem base científica (FAA, 2017, p. 3).

A alternativa prudente é praticar com objetivo definido e medir o resultado. Propõe-se, a testar, que um escritório reserve, em cada projeto, uma verificação feita sem IA generativa; registre a diferença entre a estimativa prévia e o resultado final em grandezas como carga em pilar, espessura, consumo de concreto e aço por área e duração de ciclo; e guarde o histórico por engenheiro.

10.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO E MENTORIA

A erosão é também organizacional. No caso contábil, o ganho de eficiência alimentou a complacência da gestão, só um usuário-chave era obrigado a se atualizar e não havia avaliação de habilidade (Rinta-Kahila *et al.*, 2023, p. 1392).

Propõe-se, a testar, que a direção técnica não deixe o sênior absorver, com a IA, o trabalho que formava o júnior, padrão visto em 14 entrevistas que não sustentam prevalência (Yu; Moon, 2026, p. 5, 10); converta a revisão em conversa, usando o Quadro 4, com a estimativa do júnior antes da saída; e preserve quem sabe fazer: no caso examinado por NSPE (2024, p. 2, 7), a aposentadoria do revisor levou junto a mentoria.

10.4 PORTAS DE COMPETÊNCIA

A proposta, a ser testada como hipótese, é que cada tarefa do Quadro 3 tenha uma porta: o engenheiro passa a usar IA naquela tarefa depois de demonstrar que a faz sem IA em situação supervisionada, diante de engenheiro sênior e com critério escrito, e volta a demonstrá-lo com periodicidade a definir. A ideia está em Ke *et al.* (2026), com fases sem IA, integração guiada e prática integrada; em Barreto *et al.* (2026, p. 16), como modelo preliminar sem teste; e no *checklist* da IStructE ([2025?]). Ela diverge da recomendação geral de Abdulnour, Gin e Boscardin (2025, p. 791), de estimular, salvo raras exceções, a prática com IA, e deve ser comparada a outras sequências, como tutor com salvaguardas.

Há razões para cautela. No terceiro experimento de Vicente e Matute (2023, p. 8), praticar sem IA antes não protegeu da influência da IA enviesada (taxa de erro de 0,37 sob a IA, igual à de quem começou usando a IA; leitura deste autor da Tabela 3), em tarefa simples e curta. Uma porta mal desenhada torna-se exercício conhecido, e exercícios repetitivos podem não medir a habilidade fora deles (FAA, 2022). Daí a porta exigir caso novo e erro plantado, por exemplo em projeto passado.

11 DISCUSSÃO E LIMITES

11.1 CONTRA-ARGUMENTOS

O primeiro contra-argumento é o da régua de cálculo: habilidades são abandonadas, e a profissão melhora. Ke *et al.* (2026) propõem critério provisório: cirurgiões formados depois da laparoscopia não precisam operar sem ela, competências apoiadas por tecnologia em toda a prática seriam candidatas à delegação, e a distinção exige investigação. Por interpretação do autor, entender o caminho de cargas não seria delegável, mas a questão está em aberto: a profissão não mediu se abandonar o cálculo manual custou algo.

O segundo é que a IA ajuda iniciantes. Ajuda enquanto está presente e, em alguns estudos, também depois de retirada, com as ressalvas de cada um: 34% em suporte ao cliente, com ganhos mantidos em falhas do sistema, maiores com mais exposição, segundo estimativas ruidosas (Brynjolfsson; Li; Raymond, 2023, p. 2-3, 21); ganho sem IA uma semana depois (Contractor; Reyes, 2026); julgamentos independentes melhores após interagir com algoritmo preciso (Glickman; Sharot, 2025, p. 351-352); e detecção maior em endoscopistas inexperientes durante o uso, sem efeito depois (Pedersen *et al.*, 2026). Na

interpretação do autor, tarefa roteirizada e retorno imediato são raros no projeto, em que o erro tem consequência física e aparece tarde. Render mais e aprender menos são compatíveis, e medir só o primeiro não informa o segundo.

O terceiro é que os modelos melhorarão até dispensar a verificação. Em meta-análise, combinar humano e IA ajudou quando o humano superava a IA ($g = 0{,}46$) e prejudicou quando a IA o superava ($g = -0{,}54$) (Vaccaro; Almaatouq; Malone, 2024, p. 2295): se o modelo superar o engenheiro em dada tarefa, a tese perde força ali. Resta saber quem verifica os erros raros e fora da fronteira, já que sistemas melhores tornam a complacência mais provável (NTSB, 2019a, p. 44) e a automação que raramente falha não gera consequência visível para o descuido (Parasuraman; Manzey, 2010, p. 405). A responsabilidade jurídica, além disso, permanece com quem assina.

O quarto é que o problema seja outro: a IA barateia a produção, aumenta o volume a conferir, e tempo e honorários não acompanham. Há sinais disso no alto custo de verificar relatado em Yu e Moon (2026, p. 7), na complacência sob carga alta (Parasuraman; Manzey, 2010, p. 384) e na alegação de falta de verba e tempo do revisor da passarela (NTSB, 2019b). Essa hipótese rival explica os mesmos erros sem perda de habilidade e pede outro remédio; distingui-las exige medir a detecção de erros plantados, sem IA, com tempo controlado.

11.2 LIMITES

Esta é uma revisão narrativa, com seleção não exaustiva. A pesquisa não alcançou temas brasileiros (seção 2), e nenhuma fonte localizada mede o fenômeno em engenheiros nem informa quanto os engenheiros em exercício usam IA generativa em projeto, o que deixa o risco sem denominador. Parte das fontes foi consultada só por resumo, boa parte é *preprint* ou documento de trabalho, a maioria dos estudos usa tarefas curtas com leigos ou estudantes, e vários têm autores ligados a empresas interessadas. A transposição à engenharia é dupla analogia, da aviação à medicina e da medicina à engenharia. Os Quadros 3, 4 e 5, as seções 10.2 e 10.3 e as portas de competência são propostas sem validação.

11.3 O QUE MEDIR

A lacuna é mensurável. Quatro desenhos são possíveis, com custo a estimar:

- teste sem IA antes e depois: bateria de ordem de grandeza e detecção de erros plantados em memoriais, aplicada sem a ferramenta a engenheiros de escritórios em

adoção escalonada, no início e em 6 e 12 meses, com fase final após retirada, como em Pedersen *et al.* (2026), incluindo quem não aprendeu cálculo manual, para testar se abandoná-lo custou algo;

- coortes de juniores: três anos de acompanhamento de recém-formados em empresas com regras diferentes de uso, com prova presencial sem IA, medida de habilidade inicial e registro de exposição;
- ensaio em disciplina: randomização por turma entre uso livre, tutor com salvaguardas e ausência de IA, com avaliação sem IA imediata, adiada e de transferência, na linha de Bastani *et al.* (2025) e de Liu, J. *et al.* (2026);
- medida em laboratório IFC/IDS: erros conhecidos em modelos de autorias diversas, comparando a detecção de alunos que escrevem as regras com a dos que as recebem prontas da IA.

Órgãos e empresas podem contribuir com o dado mais barato, não localizado nas fontes lidas: com que frequência o trabalho é feito ou conferido sem a ferramenta, e com que frequência os profissionais contestam a IA.

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A IA generativa trouxe ganhos medidos em tarefas delimitadas de outros setores e pode apoiar o trabalho analítico do engenheiro. Se deslocar o trabalho para a verificação, criará uma dependência que o entusiasmo tende a omitir, sob a hipótese de que conferir depende de ter feito. Este artigo não demonstrou que engenheiros estejam perdendo habilidades, porque nenhuma das fontes localizadas mediu isso. Mostrou que o risco é plausível, que seus mecanismos estão documentados em outros setores e que a engenharia já tem experiência de confiança indevida em resultados de computador.

Separar o que se sabe do que se supõe sugere condutas distintas, a testar: procedimento e projeto da ferramenta para o viés, prática para o desuso, sequência de formação e mentoria para a falta de aquisição; para o *mis-skilling*, as fontes lidas não indicam conduta testada. As orientações profissionais lidas presumem a competência que caberia à formação construir.

Enquanto a profissão não medir esse risco, o mais prudente é tratar a capacidade de conferir como um ativo de segurança que pode desgastar-se com o desuso e que precisa ser formado antes de ser exigido.

REFERÊNCIAS

ABDULNOUR, Raja-Elie E.; GIN, Brian; BOSCARDIN, Christy K. Educational strategies for clinical supervision of artificial intelligence use. **New England Journal of Medicine**, v. 393, n. 8, p. 786-797, 2025. DOI: 10.1056/NEJMra2503232. Disponível em: https://doi.org/10.1056/NEJMra2503232. Acesso em: 8 nov. 2026.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). **Policy statement 573**: artificial intelligence and engineering responsibility. Adotada em 18 jul. 2024. Disponível em: https://www.asce.org/advocacy/policy-statements/ps573---artificial-intelligence-and-engineering-responsibility. Acesso em: 8 nov. 2026.

ARNOLD, Douglas N. **The sinking of the Sleipner A offshore platform**. University of Minnesota, 7 set. 2009. Excerto de relatório do SINTEF. Disponível em: https://www-users.cse.umn.edu/~arnold/disasters/sleipner.html. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

ARTHUR JR., Winfred; BENNETT JR., Winston; STANUSH, Pamela L.; McNELLY, Theresa L. Factors that influence skill decay and retention: a quantitative review and analysis. **Human Performance**, v. 11, n. 1, p. 57-101, 1998. DOI: 10.1207/s15327043hup1101_3. Disponível em: https://doi.org/10.1207/s15327043hup1101_3. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

ATTEWELL, Paul. The deskilling controversy. **Work and Occupations**, v. 14, n. 3, p. 323-346, 1987. DOI: 10.1177/0730888487014003001. Disponível em: https://doi.org/10.1177/0730888487014003001. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

BAINBRIDGE, Lisanne. Ironies of automation. **Automatica**, v. 19, n. 6, p. 775-779, 1983. DOI: 10.1016/0005-1098(83)90046-8. Republicado pela autora. Disponível em: https://www.complexcognition.co.uk/2021/06/ironies-of-automation.html. Acesso em: 8 nov. 2026.

BARCAUI, André. ChatGPT as a cognitive crutch: evidence from a randomized controlled trial on knowledge retention. **Social Sciences & Humanities Open**, v. 12, art. 102287, 2025. DOI: 10.1016/j.ssaho.2025.102287. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.102287. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

BARRETO, Matheus Goulart Mena; ROSSI, Enzo Dantas; MELLER, Gabriela; SILVA, Débora Bretas; PACHLA, Eduardo Cesar. ChatGPT no dimensionamento de vigas de concreto armado: impactos pedagógicos da mediação algorítmica. **Revista Docência do Ensino Superior**, Belo Horizonte, v. 16, e064326, p. 1-22, 2026. DOI: 10.35699/2237-5864.2026.64326. Disponível em: https://doi.org/10.35699/2237-5864.2026.64326. Acesso em: 8 nov. 2026.

BARRIE, Jeff. Back to basics? Technical drawing, sketching and visual communication in the AI era. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND PRODUCT DESIGN EDUCATION, 26., 2024, Birmingham. **Proceedings** [...]. [S. l.: s. n.], 2024. p. 109-114. DOI: 10.35199/EPDE.2024.19. Disponível em: https://doi.org/10.35199/epde.2024.19. Acesso em: 8 nov. 2026.

BASTANI, Hamsa; BASTANI, Osbert; SUNGU, Alp; GE, Haosen; KABAKCI, Özge; MARIMAN, Rei. Generative AI without guardrails can harm learning: evidence from high school mathematics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 122, n. 26, e2422633122, 2025. DOI: 10.1073/pnas.2422633122. Correção em: v. 122, n. 34, e2518204122. Disponível em: https://doi.org/10.1073/pnas.2422633122. Acesso em: 8 nov. 2026.

BASTOS, Pedro Henrique Andriotti; RIBEIRO, Danilo. Verification-conditioned use: a qualitative study on how generative AI reshapes learning, autonomy, and market entry for junior software developers. **arXiv**, 2026. Preprint, arXiv:2607.24606v1. DOI: 10.48550/arXiv.2607.24606. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2607.24606. Acesso em: 8 nov. 2026.

BEANE, Matthew; ANTHONY, Callen. Inverted apprenticeship: how senior occupational members develop practical expertise and preserve their position when new technologies arrive. **Organization Science**, v. 35, n. 2, p. 405-431, 2024. DOI: 10.1287/orsc.2023.1688. Disponível em: https://doi.org/10.1287/orsc.2023.1688. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

BECKER, Joel; RUSH, Nate; BARNES, Beth; REIN, David. Measuring the impact of early-2025 AI on experienced open-source developer productivity. **arXiv**, 2025. Preprint, arXiv:2507.09089v2. DOI: 10.48550/arXiv.2507.09089. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2507.09089. Acesso em: 8 nov. 2026.

BRASIL. Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966. Regula o exercício das profissões de Engenharia [sic], Arquiteto e Engenheiro-Agrônomo, e dá outras providências. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, [2018]. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-5194-24-dezembro-1966-364675-normaatualizada-pl.html. Acesso em: 8 nov. 2026.

BRASIL. Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977. Institui a "Anotação de Responsabilidade Técnica" na prestação de serviços de engenharia, de arquitetura e agronomia; autoriza a criação, pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CONFEA, de uma Mútua de Assistência Profissional; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 16871, 9 dez. 1977. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1970-1979/lei-6496-7-dezembro-1977-366461-publicacaooriginal-1-pl.html. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. Resolução nº 2, de 24 de abril de 2019. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, edição 80, p. 43, 26 abr. 2019. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/resoluÇÃo-nº-2-de-24-de-abril-de-2019-85344528. Acesso em: 8 nov. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Conselho Pleno. **Parecer CNE/CP nº 15/2026**: diretrizes para a utilização da inteligência artificial (IA) na educação brasileira. Relatores: Celso Niskier; Israel Matos Batista. Aprovado em 1º set. 2026; homologação não confirmada. Disponível em: https://abmes.org.br/legislacoes/parecer-cne-cp-no-15-5669. Acesso em: 8 nov. 2026.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 2338, de 2023**. Dispõe sobre o desenvolvimento, o fomento e o uso ético e responsável da inteligência artificial com base na centralidade da pessoa humana. Texto aprovado pelo Senado Federal e apresentado à Câmara dos Deputados em 17 mar. 2025; em tramitação. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2487262. Acesso em: 8 nov. 2026.

BRYNJOLFSSON, Erik; CHANDAR, Bharat; CHEN, Ruyu. **Canaries in the coal mine?** Six facts about the recent employment effects of artificial intelligence. Stanford: Stanford Digital Economy Lab, ago. 2026. Documento de trabalho. Disponível em: https://digitaleconomy.stanford.edu/publication/canaries-in-the-coal-mine/. Acesso em: 8 nov. 2026.

BRYNJOLFSSON, Erik; LI, Danielle; RAYMOND, Lindsey R. **Generative AI at work**. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2023. (NBER Working Paper, n. 31161, rev. nov. 2023). Disponível em: http://www.nber.org/papers/w31161. Acesso em: 8 nov. 2026.

BUÇINCA, Zana; MALAYA, Maja Barbara; GAJOS, Krzysztof Z. To trust or to think: cognitive forcing functions can reduce overreliance on AI in AI-assisted decision-making. **Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction**, v. 5, n. CSCW1, art. 188, 2021. DOI: 10.1145/3449287. Disponível em: https://doi.org/10.1145/3449287. Acesso em: 8 nov. 2026.

BUDZYŃ, K.; ROMAŃCZYK, M.; KITALA, D.; KOŁODZIEJ, P.; BUGAJSKI, M.; ADAMI, H. O.; BLOM, J.; BUSZKIEWICZ, M.; HALVORSEN, N.; HASSAN, C.; ROMAŃCZYK, T.; HOLME, Ø.; JARUS, K.; FIELDING, S.; KUNAR, M.; PELLISE, M.; PILONIS, N.; KAMIŃSKI, M. F.; KALAGER, M.; BRETTHAUER, M.; MORI, Y. Endoscopist deskilling risk after exposure to artificial intelligence in colonoscopy: a multicentre, observational study. **The Lancet Gastroenterology & Hepatology**, v. 10, n. 10, p. 896-903, 2025. DOI: 10.1016/S2468-1253(25)00133-5. Correção em: v. 10, n. 11, e12, DOI: 10.1016/S2468-1253(25)00294-8. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S2468-1253(25)00133-5. Acesso em: 8 nov. 2026.

BUREAU D'ENQUÊTES ET D'ANALYSES POUR LA SÉCURITÉ DE L'AVIATION CIVILE (BEA). **Final report on the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro - Paris**. Le Bourget: BEA, jul. 2012. Disponível em: https://bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2009/f-cp090601/pdf/f-cp090601.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

CANTARELLA, Michele; MOLINARI, Giuseppe; STROZZI, Chiara. Becoming the man without qualities? Deskilling in the age of artificial intelligence. **IZA Discussion Paper Series**, n. 18751, jun. 2026. Documento de trabalho. Disponível em: https://ideas.repec.org/p/iza/izadps/dp18751.html. Acesso em: 8 nov. 2026.

CASNER, Stephen M.; GEVEN, Richard W.; RECKER, Matthias P.; SCHOOLER, Jonathan W. The retention of manual flying skills in the automated cockpit. **Human Factors**, v. 56, n. 8, p. 1506-1516, 2014. DOI: 10.1177/0018720814535628. Disponível em: https://doi.org/10.1177/0018720814535628. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA). Resolução nº 1.137, de 31 de março de 2023. Dispõe sobre a Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, o Acervo Técnico-Profissional e o Acervo Operacional, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 74-76, 5 abr. 2023. Alterada pela Resolução nº 1.160, de 11 de dezembro de 2025. Disponível em: https://normativos.confea.org.br/Ementas/Visualizar?id=76099. Acesso em: 8 nov. 2026.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA). **Código de Ética Profissional da Engenharia, da Agronomia, da Geologia, da Geografia e da Meteorologia**. 14. ed. Brasília, DF: Confea, 2024. Adotado pela Resolução nº 1.002, de 26 de novembro de 2002. Disponível em: https://www.confea.org.br/atuacao/etica-profissional. Acesso em: 8 nov. 2026.

CONTRACTOR, Zara; REYES, Germán. Experimental evidence on the learning impact of generative AI. **IZA Discussion Paper Series**, n. 18792, jul. 2026. Documento de trabalho. Disponível em: https://docs.iza.org/dp18792.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

CROSS-AUS. **Modelling of structures**. CROSS Safety Report 994, 2 ago. 2022. Disponível em: https://www.cross-safety.org/uk/safety-information/cross-safety-report/modelling-structures-994. Acesso em: 8 nov. 2026.

CROSS-UK. **Concern over modelling of concrete frame building for construction stage**. CROSS Safety Report 1073, 10 mar. 2022. Disponível em: https://www.cross-safety.org/global/safety-information/cross-safety-report/concern-over-modelling-concrete-frame-building-1073. Acesso em: 8 nov. 2026.

CROSS-UK. **Inappropriate use of artificial intelligence (AI) in structural design**. CROSS Safety Report 1554, 16 jul. 2026. Disponível em: https://www.cross-safety.org/uk/safety-information/cross-safety-report/inappropriate-use-artificial-intelligence-ai-structural-design-1554. Acesso em: 8 nov. 2026.

DELL'ACQUA, Fabrizio; McFOWLAND, Edward; MOLLICK, Ethan; LIFSHITZ-ASSAF, Hila; KELLOGG, Katherine C.; RAJENDRAN, Saran; KRAYER, Lisa; CANDELON, François; LAKHANI, Karim R. Navigating the jagged technological frontier: field experimental evidence of the effects of artificial intelligence on knowledge worker productivity and quality. **Organization Science**, v. 37, n. 2, p. 403-423, 2026. DOI: 10.1287/orsc.2025.21838. Disponível em: https://doi.org/10.1287/orsc.2025.21838. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

DEUTSCH, Zachary; OCA, Siobhan. Evaluating engineering students' detection of hallucinations in large language model solutions. In: ASEE ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 2026, [S. l.]. **Proceedings** [...]. [S. l.]: ASEE, 2026. Paper ID #53628. Disponível em: https://nemo.asee.org/public/conferences/374/papers/53628/view. Acesso em: 8 nov. 2026.

DRATSCH, T.; CHEN, X.; REZAZADE MEHRIZI, M.; KLOECKNER, R.; MÄHRINGER-KUNZ, A.; PÜSKEN, M.; BAEßLER, B.; SAUER, S.; MAINTZ, D.; PINTO DOS SANTOS, D. Automation bias in mammography: the impact of artificial intelligence BI-RADS suggestions on reader performance. **Radiology**, v. 307, n. 4, e222176, 2023. DOI: 10.1148/radiol.222176. Disponível em: https://doi.org/10.1148/radiol.222176. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

ENGINEERS AND GEOSCIENTISTS BRITISH COLUMBIA (EGBC). **Practice advisory**: use of artificial intelligence (AI) in professional practice. Version 1.0, 22 nov. 2024. Disponível em: https://egbc.ca/News/Articles/New-Practice-Advisory-on-AI. Acesso em: 8 nov. 2026.

ENGINEERS EUROPE. **Advice note to the engineering community in an era of AI**. Working Group on AI: Michelle Cortis *et al.* 2026. Disponível em: https://engineerseurope.com/sites/default/files/2026-07/Advice_Note_on_AI.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Manual flight operations**. Washington, DC: FAA, 4 jan. 2013a. SAFO 13002. Disponível em: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/other_visit/aviation_industry/airline_operators/airline_safety/SAFO13002.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Qualification, service, and use of crewmembers and aircraft dispatchers: final rule. **Federal Register**, v. 78, n. 218, p. 67800-67846, 12 nov. 2013b. Disponível em: https://www.federalregister.gov/documents/2013/11/12/2013-26845/qualification-service-and-use-of-crewmembers-and-aircraft-dispatchers. Acesso em: 8 nov. 2026.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Manual flight operations proficiency**. Washington, DC: FAA, 4 maio 2017. SAFO 17007. Disponível em: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-11/SAFO17007.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Flightpath management**. Washington, DC: FAA, 21 nov. 2022. Advisory Circular 120-123. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/1041433. Acesso em: 8 nov. 2026.

FERGUSON, Eugene S. How engineers lose touch. **Invention & Technology**, v. 8, n. 3, 1993. Disponível em: https://www.inventionandtech.com/node/85606. Acesso em: 8 nov. 2026.

FRENKEL, Matthew E.; EMARA, Hebah. ChatGPT-3.5 and -4.0 and mechanical engineering: examining performance on the FE mechanical engineering and undergraduate exams. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 32, n. 6, 2024. DOI: 10.1002/cae.22781. Disponível em: https://doi.org/10.1002/cae.22781. Acesso em: 8 nov. 2026.

FUCHS, Stefan; HELLIN, Sylvain; BORRMANN, André. Assessing the viability of LLM agents for generating reusable compliance checking functions. In: EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTING IN CONSTRUCTION, 2026, Corfu. **Computing in Construction**, v. 7, 2026. DOI: 10.35490/EC3.2026.318. Disponível em: https://ec-3.org/publication/ec32026_318/. Acesso em: 8 nov. 2026.

GENG, Shuang; LALLOS-HARRELL, Helen; ASHAR, Jiya; McKENNA, Thomas J.; DASGUPTA, Annwesa; FARNY, Caleb; LEJEUNE, Emma. Structured AI demonstrations and student LLM use in engineering mechanics: study design and preliminary results. **arXiv**, 2026. Preprint, arXiv:2607.28710. Disponível em: https://arxiv.org/pdf/2607.28710. Acesso em: 8 nov. 2026.

GLICKMAN, M.; SHAROT, T. How human-AI feedback loops alter human perceptual, emotional and social judgements. **Nature Human Behaviour**, v. 9, n. 2, p. 345-359, 2025. DOI: 10.1038/s41562-024-02077-2. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41562-024-02077-2. Acesso em: 8 nov. 2026.

GODDARD, Kate; ROUDSARI, Abdul; WYATT, Jeremy C. Automation bias: a systematic review of frequency, effect mediators, and mitigators. **Journal of the American Medical Informatics Association**, v. 19, n. 1, p. 121-127, 2012. DOI: 10.1136/amiajnl-2011-000089. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3240751/. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

GUO, Xingang; LI, Yaxin; KONG, Xiangyi; JIANG, Yilan; ZHAO, Xiayu; GONG, Zhihua; ZHANG, Yufan; LI, Daixuan; SANG, Tianle; ZHU, Beixiao; JUN, Gregory; HUANG, Yingbing; LIU, Yiqi; XUE, Yuqi; KUNDU, Rahul Dev; LIM, Qi Jian; ZHAO, Yizhou; GRANGER, Luke Alexander; YOUNIS, Mohamed Badr; KEIVAN, Darioush; SABHARWAL, Nippun; SINHA, Shreyanka; AGARWAL, Prakhar; VANDYCK, Kojo; MAI, Hanlin; WANG, Zichen; VENKATESH, Aditya; BARIK, Ayush; YANG, Jiankun; YUE, Chongying; HE, Jingjie; WANG, Libin; XU, Licheng; CHEN, Hao; WANG, Jinwen; XU, Liujun; SHETTY, Rushabh; GUO, Ziheng; SONG, Dahui; JHA, Manvi; LIANG, Weijie; YAN, Weiman; ZHANG, Bryan; KARNOOR, Sahil Bhandary; ZHANG, Jialiang; PANDYA, Rutva; GONG, Xinyi; GANESH, Mithesh Ballae; SHI, Feize; XU, Ruiling; ZHANG, Yifan; OUYANG, Yanfeng; QIN, Lianhui; ROSENBAUM, Elyse; SNYDER, Corey; SEILER, Peter; DULLERUD, Geir; ZHANG, Xiaojia Shelly; CHENG, Zuofu; HANUMOLU, Pavan Kumar; HUANG, Jian; KULKARNI, Mayank; NAMAZIFAR, Mahdi; ZHANG, Huan; HU, Bin. Toward engineering AGI: benchmarking the engineering design capabilities of LLMs. In: CONFERENCE ON NEURAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS, 39., 2025, [S. l.]. **Proceedings** [...]: Track on Datasets and Benchmarks. [S. l.: s. n.], 2025. p. 78582-78642. DOI: 10.52202/085713-2372. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2509.16204. Acesso em: 8 nov. 2026.

HANSON, James H. Teaching students how to evaluate the reasonableness of structural analysis results. In: ASEE ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 2006, Chicago. **Proceedings** [...]. [S. l.]: ASEE, 2006. p. 11.1225.1-11.1225.10. DOI: 10.18260/1-2--546. Disponível em: https://peer.asee.org/546.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

HANSON, James H. Teaching students how to evaluate the reasonableness of structural analysis results. **Journal of Civil Engineering Education**, v. 148, n. 1, art. 04021013, jan. 2022. DOI: 10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000053. Disponível em: https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000053. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

HANSON, James H.; BROPHY, Patrick D. Preliminary results from teaching students how to evaluate the reasonableness of results. In: ASEE ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 2009, [S. l.]. **Proceedings** [...]. [S. l.]: ASEE, 2009. p. 14.969.1-14.969.19. DOI: 10.18260/1-2--15626. Disponível em: https://peer.asee.org/15626.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

HASLBECK, Andreas; HOERMANN, Hans-Juergen. Flying the needles: flight deck automation erodes fine-motor flying skills among airline pilots. **Human Factors**, v. 58, n. 4, p. 533-545, 2016. DOI: 10.1177/0018720816640394. Disponível em: https://doi.org/10.1177/0018720816640394. Acesso em: 8 nov. 2026.

INSTITUTION OF STRUCTURAL ENGINEERS (IStructE). **Artificial intelligence implementation checklist**. [2025?]. Disponível em: https://www.istructe.org/resources/technology-digital/artificial-intelligence-guidance/. Acesso em: 8 nov. 2026.

JABBOUR, S.; FOUHEY, D.; SHEPARD, S.; VALLEY, T. S.; KAZEROONI, E. A.; BANOVIC, N.; WIENS, J.; SJODING, M. W. Measuring the impact of AI in the diagnosis of hospitalized patients: a randomized clinical vignette survey study. **JAMA**, v. 330, n. 23, p. 2275-2284, 2023. DOI: 10.1001/jama.2023.22295. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10731487/. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

KE, Y.; JIN, L.; ONG, J. C. L.; THIRUNAVUKARASU, A. J.; CAR, J.; CHEUNG, C. Y.; THAM, Y. C.; TING, D. S. W.; ONG, M. E. H.; COMPTON, S.; NARAYAN, A.; KEANE, P. A.; WONG, T. Y.; BATES, D. W.; TAN, P.; LIU, N. AI-induced never-skilling in medical education. **Nature Medicine**, v. 32, n. 6, p. 1997-2006, 2026. DOI: 10.1038/s41591-026-04438-y. Disponível em: https://researchonline.lshtm.ac.uk/id/eprint/4682189/. Acesso em: 8 nov. 2026.

KLUGE, Annette; FRANK, Barbara. Counteracting skill decay: four refresher interventions and their effect on skill and knowledge retention in a simulated process control task. **Ergonomics**, v. 57, n. 2, p. 175-190, 2014. DOI: 10.1080/00140139.2013.869357. Disponível em: https://doi.org/10.1080/00140139.2013.869357. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

LANNING, Joel; ROBERTS, Matthew W.; WIGGINS, Brandon K. Exploring educational needs and practices in structural analysis. In: ASEE ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 2024, [S. l.]. **Proceedings** [...]. [S. l.]: ASEE, 2024. Paper ID #42559. DOI: 10.18260/1-2--47406. Disponível em: https://peer.asee.org/exploring-educational-needs-and-practices-in-structural-analysis. Acesso em: 8 nov. 2026.

LEE, Hao-Ping (Hank); SARKAR, Advait; TANKELEVITCH, Lev; DROSOS, Ian; RINTEL, Sean; BANKS, Richard; WILSON, Nicholas. The impact of generative AI on critical thinking: self-reported reductions in cognitive effort and confidence effects from a survey of knowledge workers. In: CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2025, Yokohama. **Proceedings** [...]. New York: ACM, 2025. p. 1-22. DOI: 10.1145/3706598.3713778. Disponível em: https://doi.org/10.1145/3706598.3713778. Acesso em: 8 nov. 2026.

LEHMANN, Matthias; CORNELIUS, Philipp B.; STING, Fabian J. AI meets the classroom: when do large language models harm learning? **arXiv**, 2025. Preprint, arXiv:2409.09047v2. Disponível em: https://arxiv.org/pdf/2409.09047. Acesso em: 8 nov. 2026.

LIANG, Chen; HUANG, Zhaoqi; WANG, Haofen; CHAI, Fu; YU, Chunying; WEI, Huanhuan; LIU, Zhengjie; LI, Yanpeng; WANG, Hongjun; LUO, Ruifeng; ZHAO, Xianzhong. AECBench: a hierarchical benchmark for knowledge evaluation of large language models in the AEC field. **Advanced Engineering Informatics**, v. 71, art. 104314, 2026. DOI: 10.1016/j.aei.2026.104314. Texto consultado: preprint arXiv:2509.18776v3. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aei.2026.104314. Acesso em: 8 nov. 2026.

LIU, Grace; CHRISTIAN, Brian; DUMBALSKA, Tsvetomira; BAKKER, Michiel A.; DUBEY, Rachit. AI assistance reduces persistence and hurts independent performance. **arXiv**, 2026. Preprint, aceito na COLM 2026 segundo o cabeçalho do PDF, arXiv:2604.04721v6. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2604.04721. Acesso em: 8 nov. 2026.

LIU, Jiachen; GENG, Ziheng; CAO, Ran; CHENG, Lu; BOCCHINI, Paolo; CHENG, Minghui. A large language model-empowered agent for reliable and robust structural analysis. **arXiv**, 2025. Preprint, arXiv:2507.02938v1. Disponível em: https://arxiv.org/pdf/2507.02938. Acesso em: 8 nov. 2026.

LIU, Jing; SWEET, Tracy; CHEN, Marty Haoyuan; ENGELBERG, Jonathan; MASTERS, Megan C.; CLARK, Martyn; PERSAUD, Axel; LANCASTER, Alia; HOLLINGSWORTH, Jeffrey K.; RICE, Jennifer King. The effects of course-integrated AI tutoring on student performance and engagement: a randomized university trial. **IZA Discussion Paper Series**, n. 18989, out. 2026. Documento de trabalho. Disponível em: https://docs.iza.org/dp18989.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

MACNAMARA, Brooke N.; BERBER, Ibrahim; ÇAVUŞOĞLU, M. Cenk; KRUPINSKI, Elizabeth A.; NALLAPAREDDY, Naren; NELSON, Noelle E.; SMITH, Philip J.; WILSON-DELFOSSE, Amy L.; RAY, Soumya. Does using artificial intelligence assistance accelerate skill decay and hinder skill development without performers' awareness? **Cognitive Research: Principles and Implications**, v. 9, art. 46, 2024. DOI: 10.1186/s41235-024-00572-8. Disponível em: https://cognitiveresearchjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41235-024-00572-8. Acesso em: 8 nov. 2026.

MARTIN, Rachel; DELATTE, Norbert J. Another look at Hartford Civic Center Coliseum collapse. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 15, n. 1, p. 31-36, fev. 2001. DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3828(2001)15:1(31). Disponível em: https://engagedscholarship.csuohio.edu/encee_facpub/35. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

METR. **We are changing our developer productivity experiment design**. 24 fev. 2026. Disponível em: https://metr.org/blog/2026-02-24-uplift-update/. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

MUDUR, Nayantara; CUI, Hao; VENUGOPALAN, Subhashini; RACCUGLIA, Paul; BRENNER, Michael P.; NORGAARD, Peter. FEABench: evaluating language models on multiphysics reasoning ability. **arXiv**, 2025. Preprint, arXiv:2504.06260v1. DOI: 10.48550/arxiv.2504.06260. Disponível em: https://arxiv.org/pdf/2504.06260. Acesso em: 8 nov. 2026.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). **Artificial intelligence risk management framework**: generative artificial intelligence profile. NIST AI 600-1, jul. 2024. DOI: 10.6028/NIST.AI.600-1. Disponível em: https://doi.org/10.6028/NIST.AI.600-1. Acesso em: 8 nov. 2026.

NATIONAL SOCIETY OF PROFESSIONAL ENGINEERS (NSPE). Board of Ethical Review. **Use of artificial intelligence in engineering practice**. BER Case 24-2, 2024. Disponível em: https://www.nspe.org/career-growth/ethics/board-ethical-review-cases/use-artificial-intelligence-engineering-practice. Acesso em: 8 nov. 2026.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (NTSB). **Collision between vehicle controlled by developmental automated driving system and pedestrian, Tempe, Arizona, March 18, 2018**. Highway Accident Report NTSB/HAR-19/03. Washington, DC: NTSB, 2019a. Disponível em: https://www-s.ntsb.gov/investigations/Pages/HWY18MH010.aspx. Acesso em: 8 nov. 2026.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (NTSB). **Pedestrian bridge collapse over SW 8th Street, Miami, Florida, March 15, 2018**. Highway Accident Report NTSB/HAR-19/02. Washington, DC: NTSB, 2019b. Disponível em: https://www.ntsb.gov/investigations/accidentreports/reports/har1902.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

NORTH CAROLINA BOARD OF EXAMINERS FOR ENGINEERS AND SURVEYORS (NCBELS). **Guidelines on the use of artificial intelligence in engineering and surveying services**. Aprovadas em 16 jul. 2025. Disponível em: https://www.ncbels.org/wp-content/uploads/2025/07/Guidelines-on-the-Use-of-Artificial-Intelligence-in-Engineering-and-Surveying-Services-FINAL.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

OBLITAS, Luis; ADEEB, Samer; CRUZ-NOGUEZ, Carlos. Performance of AI chatbots on the fundamentals of engineering civil exam. **Discover Artificial Intelligence**, v. 5, n. 1, art. 378, 2025. DOI: 10.1007/s44163-025-00646-6. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s44163-025-00646-6. Acesso em: 8 nov. 2026.

OETTL, F. C.; PRUNESKI, J.; ZSIDAI, B.; YU, Y.; FENDRICH, D.; TISCHER, T.; HIRSCHMANN, M. T.; ZAFFAGNINI, S.; SAMUELSSON, K.; ESSKA ARTIFICIAL INTELLIGENCE WORKING GROUP. From de-skilling to up-skilling: how artificial intelligence will augment the modern physician. **Journal of Experimental Orthopaedics**, v. 13, n. 1, e70677, 2026. DOI: 10.1002/jeo2.70677. Disponível em: https://research.chalmers.se/en/publication/551108. Acesso em: 8 nov. 2026.

OFFICE OF INSPECTOR GENERAL (OIG). U.S. Department of Transportation. **Enhanced FAA oversight could reduce hazards associated with increased use of flight deck automation**. Audit Report AV-2016-013, 7 jan. 2016. Disponível em: https://webarchive.library.unt.edu/web/20201218070842/https://www.oig.dot.gov/library-item/32899. Acesso em: 8 nov. 2026.

OKUMURA, T.; KUDO, S. E.; IDE, Y.; KATO, S.; MIYATA, Y.; TAKISIMA, K.; TAKASHINA, Y.; MINEGISHI, Y.; ABE, M.; SAKURAI, T.; KOYAMA, Y.; KATO, K.; MAEDA, Y.; OGAWA, Y.; ICHIMASA, K.; OGATA, N.; HAYASHI, T.; WAKAMURA, K.; BABA, T.; NEMOTO, T.; MIYACHI, H.; ITOH, H.; ODA, M.; MORI, K.; MISAWA, M.; CADE COLONOSCOPY WORKING GROUP. Long-term impact of computer-aided adenoma detection: a prospective observational study. **Endoscopy**, v. 58, n. 2, p. 121-129, 2026. DOI: 10.1055/a-2661-2624. Disponível em: https://doi.org/10.1055/a-2661-2624. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

ONG, Ariel Yuhan; MERLE, David A.; POLLREISZ, Andreas; WAGNER, Siegfried K.; SEVGI, Mertcan; KEANE, Pearse A.; HUEMER, Roman; OEHLING, Julian; JÄGER, Markus; HUEMER, Josef. Flight rules for clinical AI: lessons from aviation for human-AI collaboration in medicine. **npj Digital Medicine**, 2026. No prelo. DOI: 10.1038/s41746-026-02410-1. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41746-026-02410-1. Acesso em: 8 nov. 2026.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **OECD Digital Education Outlook 2026**: exploring effective uses of generative AI in education. Paris: OECD Publishing, 2026. DOI: 10.1787/062a7394-en. Disponível em: https://doi.org/10.1787/062a7394-en. Acesso em: 8 nov. 2026.

PARASURAMAN, Raja; MANZEY, Dietrich H. Complacency and bias in human use of automation: an attentional integration. **Human Factors**, v. 52, n. 3, p. 381-410, 2010. DOI: 10.1177/0018720810376055. Disponível em: https://doi.org/10.14279/depositonce-8052. Acesso em: 8 nov. 2026.

PEDERSEN, T. A.; MORI, Y.; BOTTERI, E.; ENGJOM, T.; SEIP, B.; DIMCEVSKI, G. G.; HAVRE, R. F. Learning and deskilling effects of artificial intelligence in colonoscopy among endoscopists with different levels of experience: a pragmatic, prospective trial. **Endoscopy**, v. 58, n. 9, p. 1003-1014, 2026. DOI: 10.1055/a-2858-7084. Disponível em: https://www.ebi.ac.uk/europepmc/webservices/rest/PMC13552228/fullTextXML. Acesso em: 8 nov. 2026. Consultado por resumo ou página web.

PERFORMANCE-BASED OPERATIONS AVIATION RULEMAKING COMMITTEE (PARC); COMMERCIAL AVIATION SAFETY TEAM (CAST). **Operational use of flight path management systems**: final report of the Performance-based operations Aviation Rulemaking Committee/Commercial Aviation Safety Team Flight Deck Automation Working Group. 2013. Disponível em: https://skybrary.aero/bookshelf/operational-use-flight-path-management-systems. Acesso em: 8 nov. 2026.

PERRY, Neil; SRIVASTAVA, Megha; KUMAR, Deepak; BONEH, Dan. Do users write more insecure code with AI assistants? In: ACM SIGSAC CONFERENCE ON COMPUTER AND COMMUNICATIONS SECURITY, 2023, Copenhagen. **Proceedings** [...]. New York: ACM, 2023. p. 2785-2799. DOI: 10.1145/3576915.3623157. Disponível em: https://doi.org/10.1145/3576915.3623157. Acesso em: 8 nov. 2026.

PRIETO, Samuel A.; MENGISTE, Eyob T.; GARCÍA DE SOTO, Borja. Investigating the use of ChatGPT for the scheduling of construction projects. **Buildings**, v. 13, n. 4, art. 857, 2023. DOI: 10.3390/buildings13040857. Disponível em: https://doi.org/10.3390/buildings13040857. Acesso em: 8 nov. 2026.

PURSNANI, Vinay; SERMET, Yusuf; KURT, Musa; DEMIR, Ibrahim. Performance of ChatGPT on the US fundamentals of engineering exam: comprehensive assessment of proficiency and potential implications for professional environmental engineering practice. **Computers and Education: Artificial Intelligence**, v. 5, art. 100183, 2023. DOI: 10.1016/j.caeai.2023.100183. Disponível em: https://arxiv.org/pdf/2304.12198. Acesso em: 8 nov. 2026.

RINTA-KAHILA, Tapani; PENTTINEN, Esko; SALOVAARA, Antti; SOLIMAN, Wael; RUISSALO, Joona. The vicious circles of skill erosion: a case study of cognitive automation. **Journal of the Association for Information Systems**, v. 24, n. 5, p. 1378-1412, 2023. DOI: 10.17705/1jais.00829. Disponível em: https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/89018. Acesso em: 8 nov. 2026.

SAHRAOUI, Islem; KIM, Kinam; GAO, Lu; DIN, Zia; SENOUCI, Ahmed. Integrating generative AI in BIM education: insights from classroom implementation. **arXiv**, 2025. Preprint, arXiv:2507.05296. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2507.05296. Acesso em: 8 nov. 2026.

SCIENCE MEDIA CENTRE. **Expert reaction to observational study looking at detection rate of precancerous growths in colonoscopies by health professionals who perform them before and after the routine introduction of AI**. Londres, 12 ago. 2025. Disponível em: https://www.sciencemediacentre.org/expert-reaction-to-observational-study-looking-at-detection-rate-of-precancerous-growths-in-colonoscopies-by-health-professionals-who-perform-them-before-and-after-the-routine-introduction-of-ai/. Acesso em: 8 nov. 2026.

SHEN, Judy Hanwen; TAMKIN, Alex. How AI impacts skill formation. **arXiv**, 2026. Preprint, arXiv:2601.20245v2. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2601.20245. Acesso em: 8 nov. 2026.

SHEPPARD, Sheri D.; MACATANGAY, Kelly; COLBY, Anne; SULLIVAN, William M. **Educating engineers**: designing for the future of the field: book highlights. Stanford, CA: The Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching, 2008. Disponível em: https://eric.ed.gov/?id=ED504076. Acesso em: 8 nov. 2026.

SILVA, Débora Bretas; FERNANDES, Luana da Silva; BOLINA, Fabrício Longhi; PACHLA, Eduardo Cesar. IA generativa no ensino de estruturas: pré-dimensionamento de pilares na arquitetura. **ES - Engineering and Science**, v. 14, n. 2, p. 1-17, 2025. DOI: 10.18607/ES20251420011. Disponível em: https://doi.org/10.18607/es20251420011. Acesso em: 8 nov. 2026.

SIMKUTE, Auste; TANKELEVITCH, Lev; KEWENIG, Viktor; SCOTT, Ava Elizabeth; SELLEN, Abigail; RINTEL, Sean. Ironies of generative AI: understanding and mitigating productivity loss in human-AI interactions. **arXiv**, 2024. Preprint, arXiv:2402.11364v1. Publicado depois em International Journal of Human-Computer Interaction, DOI: 10.1080/10447318.2024.2405782. Disponível em: https://arxiv.org/pdf/2402.11364. Acesso em: 8 nov. 2026.

TEXAS BOARD OF PROFESSIONAL ENGINEERS AND LAND SURVEYORS (TBPELS). **Policy advisory opinion regarding the use of artificial intelligence software by licensees under the Board's jurisdiction**: Policy Advisory Request No. 71. 14 nov. 2024. Disponível em: https://www.pels.texas.gov/nm/2024/pao-71-response.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2024/1689 do Parlamento Europeu e do Conselho de 13 de junho de 2024 que cria regras harmonizadas em matéria de inteligência artificial (Regulamento da Inteligência Artificial). **Jornal Oficial da União Europeia**, Série L, 12 jul. 2024. Disponível em: http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj. Acesso em: 8 nov. 2026.

UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2026/1744 do Parlamento Europeu e do Conselho de 8 de julho de 2026 que altera os Regulamentos (UE) 2024/1689, (UE) 2018/1139 e (UE) 2023/1230 no que diz respeito à simplificação da aplicação das regras harmonizadas em matéria de inteligência artificial. **Jornal Oficial da União Europeia**, Série L, 24 jul. 2026. Disponível em: http://data.europa.eu/eli/reg/2026/1744/oj. Acesso em: 8 nov. 2026.

VACCARO, Michelle; ALMAATOUQ, Abdullah; MALONE, Thomas. When combinations of humans and AI are useful: a systematic review and meta-analysis. **Nature Human Behaviour**, v. 8, n. 12, p. 2293-2303, dez. 2024. DOI: 10.1038/s41562-024-02024-1. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41562-024-02024-1. Acesso em: 8 nov. 2026.

VICENTE, L.; MATUTE, H. Humans inherit artificial intelligence biases. **Scientific Reports**, v. 13, art. 15737, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-42384-8. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-023-42384-8. Acesso em: 8 nov. 2026.

WAN, Qixin; WANG, Zilong; ZHOU, Jingwen; WANG, Wanting; GENG, Ziheng; LIU, Jiachen; CAO, Ran; CHENG, Lu. SoM-1K: a thousand-problem benchmark dataset for strength of materials. **arXiv**, 2026. Preprint, arXiv:2509.21079v2. DOI: 10.48550/arxiv.2509.21079. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2509.21079. Acesso em: 8 nov. 2026.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF); PWC. **Artificial intelligence and the future of entry-level work**: a framework for safeguarding and reinventing early career pathways. Cologny/Geneva: WEF, jun. 2026. Insight Report. Disponível em: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Artificial_Intelligence_and_the_Future_of_Entry_Level_Work_2026.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

YU, F.; MOEHRING, A.; BANERJEE, O.; SALZ, T.; AGARWAL, N.; RAJPURKAR, P. Heterogeneity and predictors of the effects of AI assistance on radiologists. **Nature Medicine**, v. 30, n. 3, p. 837-849, 2024. DOI: 10.1038/s41591-024-02850-w. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41591-024-02850-w. Acesso em: 8 nov. 2026.

YU, Sumin; MOON, Taesup. Who will become the next senior? How generative AI erodes the development pathway in software engineering. In: AAAI/ACM CONFERENCE ON AI, ETHICS, AND SOCIETY, 2026. **Proceedings** [...], v. 9, n. 4, p. 2825-2837, 2026. DOI: 10.1609/aies.v9i4.43353. Disponível em: https://doi.org/10.1609/aies.v9i4.43353. Acesso em: 8 nov. 2026.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Durante a elaboração deste artigo, foi utilizada a ferramenta de Inteligência Artificial Generativa Claude, desenvolvida pela Anthropic, como recurso de apoio ao processo de elaboração do trabalho, especialmente para a localização de fontes, a extração preliminar de dados, a redação inicial, a revisão linguística e a adequação da redação acadêmica.

A ferramenta foi utilizada de maneira complementar e supervisionada, não substituindo a análise crítica, as decisões metodológicas, a interpretação dos resultados nem a autoria do pesquisador. Todo conteúdo sugerido ou produzido com o auxílio da ferramenta foi analisado, revisado, adaptado e validado pelo autor antes de sua incorporação ao trabalho.

As referências bibliográficas, os dados, as análises, as interpretações, as decisões metodológicas e as conclusões apresentadas neste artigo são de responsabilidade integral do autor. A ferramenta de Inteligência Artificial não foi utilizada para fabricar dados, resultados, citações ou referências bibliográficas.

O uso da ferramenta ocorreu de forma transparente e responsável, em conformidade com os princípios de integridade científica, responsabilidade autoral e transparência previstos na Portaria CNPq nº 2.664, de 6 de março de 2026.