



# ConBREpro

XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

03 a 05 de dezembro de 2025

## As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

### Tendências para Educação e Treinamento de Engenheiros no contexto da Transformação Digital: Uma Revisão Sistemática de Literatura

**Jocasta Oliveira Maciel**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**João Luiz Kowaleski**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Joseane Pontes**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Dayana Miluska Heredia Leon**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Resumo:** A transformação digital e a Quarta Revolução Industrial estão redefinindo as competências necessárias para os engenheiros, criando uma demanda global massiva por novas formas de educação e treinamento. Contudo, verifica-se uma lacuna na literatura sobre as principais tendências educacionais para capacitar esses profissionais no contexto da transformação digital. Assim, o objetivo deste trabalho é identificar as principais tendências em educação e treinamento para engenheiros, focando na transformação digital. Para isso, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura seguindo o protocolo PRISMA. A análise identificou que o desenvolvimento das competências requeridas exige a adoção de metodologias inovadoras. Destacam-se a aprendizagem baseada em projetos (PBL) e o uso de simuladores em realidade virtual (RV) e aumentada (RA) para treinamento em operações complexas. Além disso, os currículos devem incorporar uma visão sistêmica e transdisciplinar, preparando o engenheiro não apenas tecnicamente, mas também com uma forte base ética e sustentável, alinhando-o às futuras demandas da Indústria 5.0.

**Palavras-chave:** Treinamento em Engenharia, Educação em Engenharia, Transformação Digital, Indústria 4.0, Indústria 5.0

### Trends in Engineering Education and Training in the Context of Digital Transformation: A Systematic Literature Review

**Abstract:** Digital transformation and the Fourth Industrial Revolution are redefining the skills required of engineers, creating a massive global demand for new forms of education and training. However, the literature reveals a gap regarding the main educational trends to empower these professionals within the context of digital transformation. Thus, the aim of this study is to identify the key trends in engineering education and training, with a focus on digital transformation. To this end, a systematic literature review was conducted following the PRISMA protocol. The analysis showed that developing the required competencies demands the adoption of innovative methodologies. Project-based learning (PBL) and the use of virtual reality (VR) and augmented reality (AR) simulators for training in complex operations stand out as particularly relevant. Furthermore, curricula should incorporate a systemic and transdisciplinary perspective, preparing engineers not only technically but also with a strong ethical and sustainable foundation, aligning them with the future demands of Industry 5.0.

**Keywords:** Engineering Training, Engineering Education, Digital Transformation, Industry 4.0, Industry 5.0

## 1. Introdução

A Quarta Revolução Industrial, impulsionada pela transformação digital e pela rápida adoção de inteligência artificial, tornou os programas de desenvolvimento de pessoas uma prioridade. De acordo com o *Future of Jobs Report 2025* do Fórum Econômico Mundial (WEF, 2025), 59% da força de trabalho global necessitará de treinamento até 2030, e 63% dos empregadores identificam a lacuna de habilidades como o principal obstáculo para a transformação dos negócios.

Nesse contexto, a Indústria 4.0 exige competências alinhadas ao futuro do trabalho, especialmente para engenheiros industriais, que desempenham um papel central nessa transição (PIWOWAR-SULEJ, 2021). A educação continuada em engenharia adquire importância estratégica, uma vez que os avanços tecnológicos e os desafios ligados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU demandam atualização constante de conhecimentos e habilidades (GOMEZ-PUENTE et al., 2023).

Além disso, a transição para as indústrias 4.0 e 5.0 requer não apenas a manutenção contínua de tecnologias, mas também um capital humano altamente qualificado (SIMA et al., 2020). Os engenheiros precisarão intervir, analisar e interagir com sistemas complexos (EROL et al., 2016; HADGRAFT; KOLMOS, 2020), além de desenvolver novas formas de colaboração com sistemas ciberfísicos de última geração (GÜRDÜR BROO et al., 2022).

A qualificação profissional também se tornou um diferencial estratégico para atrair e reter talentos. Segundo a pesquisa *Global Hopes and Fears* (PWC, 2024), que ouviu 56.600 trabalhadores em 50 países, quase metade dos entrevistados considera oportunidades de treinamento como fator decisivo para permanecer ou mudar de emprego.

Diante disso, os engenheiros devem combinar seus conhecimentos técnicos com competências digitais, como análise de dados, inteligência artificial e simulações, exigindo programas de treinamentos específicos (BENIS; NELKE; WINOKUR, 2021; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ et al., 2020).

Apesar da crescente importância do tema, ainda há escassez de pesquisas que mapeiem as tendências em educação e treinamento para engenheiros no contexto da transformação digital. Portanto, o objetivo deste trabalho é identificar essas tendências por meio de uma revisão sistemática da literatura, adotando a metodologia PRISMA para consolidar evidências, boas práticas e orientar o desenho de programas de treinamentos mais eficazes e alinhados às transformações do mercado.

Este artigo está organizado da seguinte forma: (1) Introdução, com contextualização e objetivos; (2) Revisão Teórica, apresentando o estado da arte; (3) Metodologia, detalhando o protocolo PRISMA; (4) Resultados e Discussão, analisando os achados; (5) Conclusão, sintetizando contribuições; e Referências. Tal organização permite análise sistemática das tendências em educação e treinamento para engenheiros na era digital.

## 2. Revisão Teórica

### 2.1 Indústria 4.0, 5.0, Transformação Digital e Educação em Engenharia

A Indústria 4.0 caracteriza-se pela integração de tecnologias inovadoras como Internet das Coisas (IoT), Big Data, sistemas ciberfísicos e Inteligência Artificial em processos de manufatura cada vez mais personalizáveis. Essa transformação resulta em sistemas de automação contínuos, operando em tempo real com maior flexibilidade e dinamismo, o que

eleva significativamente a produtividade e eficiência industrial (KAGERMANN; WAHLSTER, 2022; OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Como destaca Schwab (2019), a quarta revolução industrial diferencia-se das anteriores pela convergência entre tecnologias disruptivas e sua interação com os domínios físico, digital e biológico, além de sua velocidade de difusão sem precedentes. Contudo, Nahavandi (2019), critica seu foco excessivo em eficiência, muitas vezes em detrimento do bem-estar humano, uma lacuna que a Indústria 5.0 busca superar.

A Indústria 5.0 fundamenta-se em três pilares essenciais: abordagem centrada no ser humano, sustentabilidade e resiliência (BREQUE; DE NUL; PETRIDES, 2021). Esta nova fase substitui a ênfase em produtividade por uma colaboração efetiva entre humanos e robôs. Aqui, máquinas assumem papéis cognitivos, como os *cobots*, que operam em sintonia com os trabalhadores (MADDIKUNTA et al., 2022; NAHAVANDI, 2019).

A disseminação dessas tecnologias para além do ambiente industrial acelerou profundamente a transformação digital na sociedade. Esse avanço, contudo, expôs uma contradição: enquanto as ferramentas digitais se sofisticam, grande parte da população ainda carece das competências básicas para utilizá-las efetivamente (BRUNETTI et al., 2020; KATERYNA et al., 2020).

Assim, tornou-se extremamente necessário para os profissionais ter fluência digital que é a capacidade de aplicar tecnologias de forma crítica e estratégica em projetos, gestão e tomada decisão, com particular relevância para engenheiros (GARCE et al., 2025; MICROSOFT, 2018; THE EUROPEAN COMMISSION, 2019). Estes precisam dominar não apenas ferramentas digitais específicas de sua área (como simulações computacionais, IoT e IA aplicada), mas também desenvolver uma mentalidade de aprendizagem contínua (GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ et al., 2020; LANTADA, 2020).

A transformação digital exige também uma reconfiguração tanto da formação acadêmica quanto dos programas de treinamento voltados a engenheiros. Os currículos precisam evoluir para além do ensino de competências técnicas e digitais, incorporando metodologias que preparem os profissionais para a colaboração efetiva entre humanos e sistemas inteligentes (GÜRDÜR BROO et al., 2022). A aprendizagem baseada em problemas reais da indústria e a integração contínua de novas tecnologias nos currículos tornam-se fundamentais para formar engenheiros capazes de liderar essa transição.

### **3. Metodologia**

#### **3.1 Revisão sistemática de literatura**

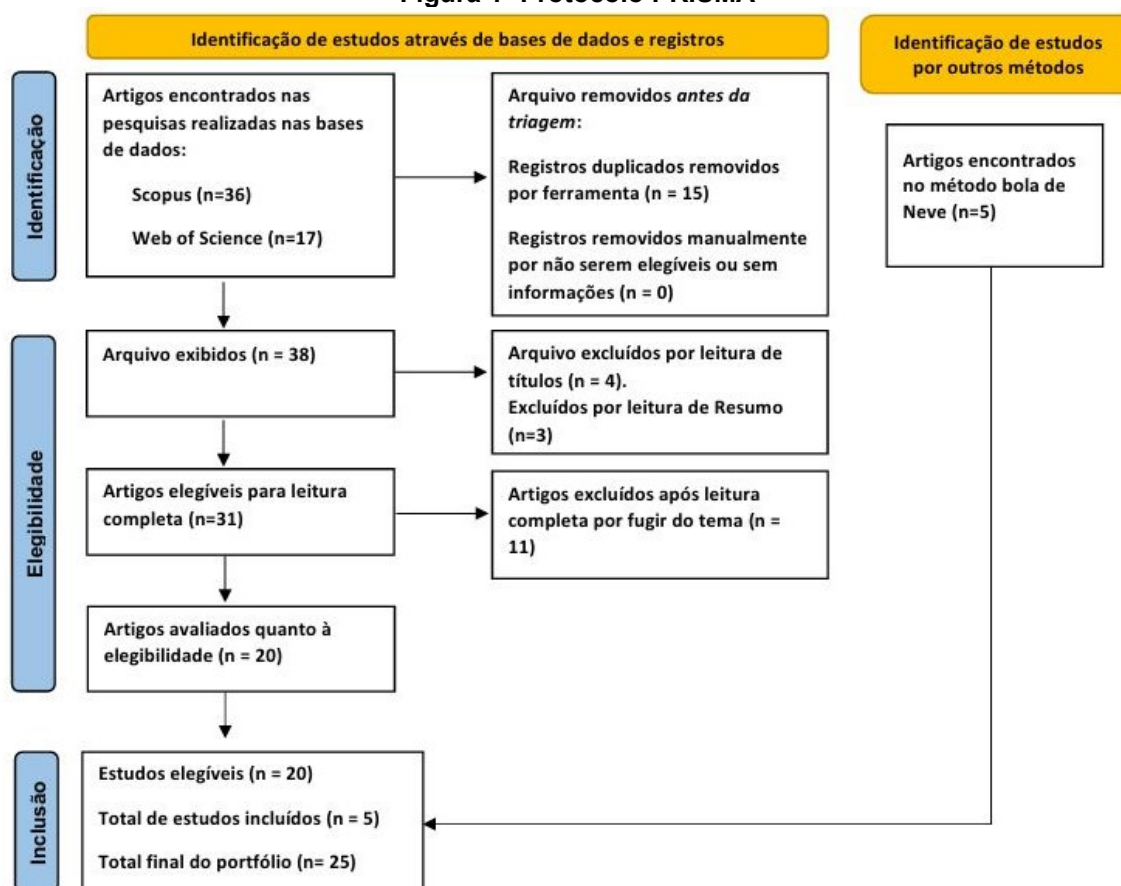
Para a revisão sistemática de literatura realizada neste trabalho optou-se por utilizar a metodologia PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (PAGE et al., 2021). Dessa forma, o processo consistiu em 3 fases: identificação, elegibilidade e inclusão. Na fase de identificação, foram definidas palavras-chave relacionadas aos termos programas de treinamento, transformação digital e engenharia, incluindo sinônimos e variações. A busca foi realizada nas bases de dados Scopus e Web of Science, utilizando operadores booleanos (AND/OR) e sem corte temporal, resultando em 53 artigos conforme mostrado no protocolo de pesquisa no Quadro 1.

#### Quadro 1- Protocolo de pesquisa

|                              |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Palavras utilizadas</b>   | <b>chave</b> | <p><b>Eixo 1 (Programas de Treinamento):</b> "training and development" OR "employee training" OR "learning and development" OR "workforce training" OR "employee development" OR "human resource development" OR "human development" OR "professional development" OR "talent development" OR "workplace learning" OR "digital skills training" OR "competency development"</p> <p><b>Eixo 2 (Transformação Digital):</b> Industrie 5.0 OR "I5.0" OR "Industry 5.0" OR "Fifth Industrial Revolution" OR "society 5.0" OR "5th Industrial Revolution" OR "Industrie 4.0" OR "Industry 4.0" OR "I4.0" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Fourth Industrial Revolution Internet " OR "4th Industrial Revolution" OR "Smart Industry" OR "Smart Manufacturing" OR "Smart Factory" OR "Digital Transformation" OR "workforce digitalization" OR "digital literacy" OR "future of work" OR "digital upskilling" OR "digital era" OR "digital competence"</p> <p><b>Eixo 3 (Engenharia):</b> "engineers" OR "engineering workforce" OR "engineering education and training" OR "engineering professionals"</p> |
| <b>Processo de pesquisa</b>  |              | OR e AND operadores booleanos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Bases de dados</b>        |              | Scopus (36) and Web of Science (17)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Tipos de publicações</b>  |              | Artigos, artigos de conferência e capítulos de livros                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Linguagem</b>             |              | English                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Tempo</b>                 |              | Não houve corte temporal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Fonte: Autores (2025)</b> |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Após exportar os artigos, utilizou-se o *software* Mendeley Desktop para gerenciamento de referências e remoção de duplicatas, resultando em 38 artigos. Na fase de elegibilidade, excluíram-se 4 artigos pela leitura de títulos, 3 pelos resumos e 11 após leitura integral, restando 20 artigos. Na última fase, foi incluído mais 5 artigos identificados pelo método *bola de neve*, totalizando 25 no portfólio final (Figura 1).

Figura 1- Protocolo PRISMA



Fonte: Autores (2025)

### 3.2 Análise Bibliométrica

Para este trabalho, conduziu-se uma análise bibliométrica com os 25 artigos selecionados. O objetivo foi identificar o estado da arte e tendências futuras, utilizando o software VOSviewer para criar mapas de relacionamento entre palavras-chave e o Microsoft Excel para a tabulação e organização sistemática dos dados.

### 3.3 Análise de conteúdo

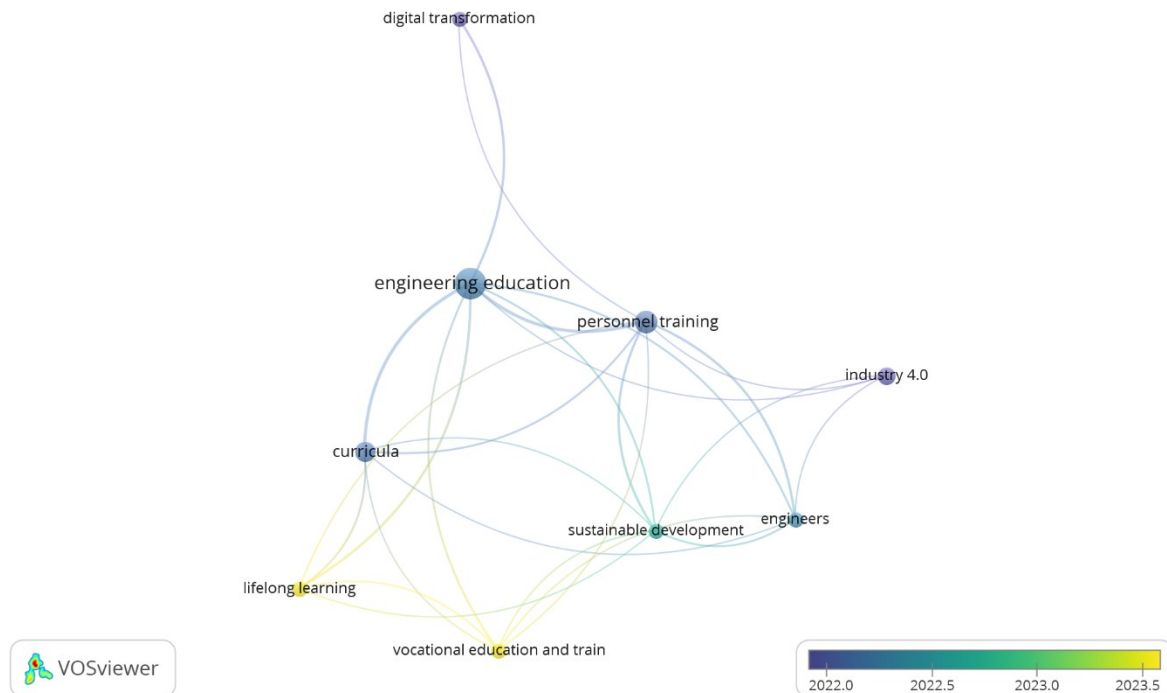
A análise de conteúdo foi realizada com o software MAXQDA®, utilizando o portfólio de 25 artigos. Foram criados códigos para representar os pontos de investigação das questões de pesquisa, permitindo a categorização e análise do conteúdo. Essa abordagem permitiu identificar padrões e tendências, além de responder às questões de pesquisa.

## 4. Resultados

### 4.1 Análise Bibliométrica

A análise de coocorrência de palavras-chave com o software VOSviewer do portfólio de 25 artigos (Figura 2), revelou que a palavra-chave "*engineering education*" (educação em engenharia) é a mais central e está fortemente ligada a palavras como "*curricula*" (currículos), "*personnel training*" (treinamento de pessoal) e "*engineers*" (engenheiros). Isso forma um eixo principal que relaciona currículo e treinamento.

**Figura 2- Análise de coocorrências de palavras-chave**



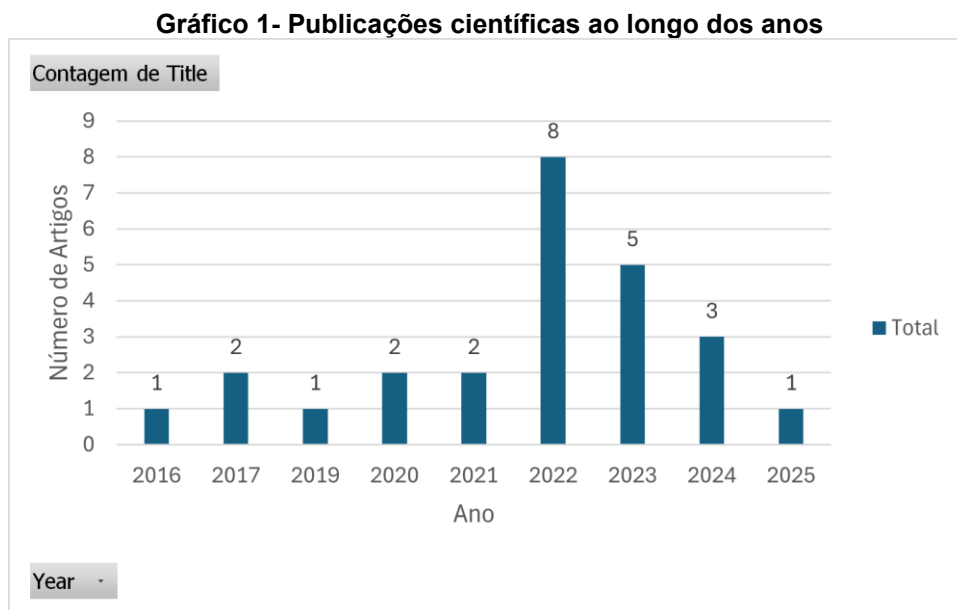
**Fonte: Autores (2025)**

Um segundo grupo de termos, como "*digital transformation*" (transformação digital) e "*industry 4.0*", está mais ligado ao treinamento de profissionais. Isso sugere um foco em capacitar pessoas para usar novas tecnologias, mas essa discussão ainda não influenciou muito os currículos das faculdades.

Um terceiro grupo, com termos como "*lifelong learning*" (aprendizado ao longo da vida), "*vocational education and training*" (educação e treinamento profissional) e "*sustainable development*" (desenvolvimento sustentável), conecta a engenharia às políticas de educação continuada e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. A análise ao longo do tempo mostrou que "*industry 4.0*" e "*digital transformation*" foram tópicos muito discutidos por volta de 2022. Já "*lifelong learning*" e "*sustainable development*" ganharam mais força recentemente, em 2023.

Em conjunto, os achados apontam para uma transição na agenda de pesquisa: de um enfoque tecnocêntrico para uma visão mais sistêmica. Esta nova perspectiva integra educação ao longo da vida, sustentabilidade e um alinhamento estratégico entre currículo e demandas do mundo do trabalho na concepção de programas de treinamento para engenharia.

A análise de produção científica sobre educação em engenharia e treinamento apresentou crescimento ao longo dos anos, ainda que de forma irregular (Gráfico 1). Entre 2016 e 2021, o número de publicações manteve-se baixo, variando entre um e dois artigos por ano. O ano de 2022 destacou-se com oito publicações, possivelmente impulsionadas pela intensificação das transformações digitais e pelas novas demandas de competências profissionais no pós-pandemia. Nos anos seguintes, houve uma queda gradual, com cinco artigos em 2023, três em 2024 e apenas um em 2025 (até o momento da coleta), o que pode indicar a limitação temporal dos dados recentes.



**Fonte: Autores (2025)**

## 4.2 Análise de Conteúdo

O avanço da transformação digital e das indústrias 4.0 e 5.0 traz uma nova demanda para o mercado de trabalho, as empresas buscam profissionais de engenharia com habilidades multidisciplinares, capazes de integrar tecnologia, dados e sustentabilidade (BENIS; NELKE; WINOKUR, 2020; GÜRDÜR BROO; KAYNAK; SAIT, 2022). Nesse cenário dinâmico, a aprendizagem ao longo da vida torna-se crucial para manter a competitividade e a empregabilidade dos profissionais em meio a rápidas mudanças tecnológicas (POSCHAUKO et al., 2024). Portanto, é essencial desenvolver programas de formação contínua e adaptáveis, que acompanhem o engenheiro em todas as etapas de sua trajetória profissional.

Uma das formas de preparar esses profissionais é por meio da incorporação de tecnologias da Indústria 4.0 na educação e no treinamento em engenharia (CHAENG PROMMA; PATTANAPAIROJ, 2022). Por exemplo, o uso de gêmeos digitais permite a simulação de processos reais com alto grau de precisão, enquanto a Realidade Virtual e Aumentada facilita o treinamento em operações complexas, manutenção de equipamentos e até mesmo em situações de risco, como explosões, acidentes e evacuações de fábrica, contribuindo para a adoção de comportamentos seguros (VAVENKOV, 2022).

Além do domínio técnico, é fundamental que o engenheiro desenvolva competências que integrem tanto *soft skills*, como comunicação, trabalho em equipe, criatividade, pensamento crítico e liderança, quanto *hard skills*, a exemplo de análise de dados, programação, inteligência artificial e manipulação de sistemas ciberfísicos (GHANI, 2022; SILVA et al., 2022). Tudo isso deve ser realizado dentro de uma perspectiva de sustentabilidade ambiental e social, alinhando inovação tecnológica à responsabilidade socioambiental (GÜRDÜR BROO; KAYNAK; SAIT, 2022; LANTADA, 2020; TAKACS; POGATSNIK, 2023).

Diante dessas demandas, a análise de conteúdo realizada permitiu identificar pontos críticos a serem priorizados nos programas de educação e capacitação de engenheiros, desde a graduação até a formação continuada. Essas prioridades estão sintetizadas no Quadro 2, que apresenta as principais tendências em educação e treinamento em engenharia no contexto da transformação digital.

**Quadro 2- principais tendências em educação e treinamento em engenharia no contexto da transformação digital**

| <b>Tendência</b>                                              | <b>Conceito</b>                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Fonte</b>                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL)                        | A aprendizagem ocorre através do uso de projetos reais, muitas vezes em parceria com as empresas. Desenvolve <i>Hard</i> e <i>Soft Skills</i> por meio de trabalho em equipe e resolução de problemas complexos.                                                           | (ANDERSEN; ROSIO, 2023; BORONINA; BALIASOV; SHOLINA, 2017; CHOOKAEW; HOWIMANPORN, 2022; KUHN; LUCKE, 2021; MAISIRI, 2024; VESELOV et al., 2022)           |
| Transdisciplinaridade                                         | Ensino com a integração de conhecimentos de engenharia, dados, ciências sociais, ética e sustentabilidade.                                                                                                                                                                 | (GÜRDÜR BROO; KAYNAK; SAIT, 2022; LANTADA, 2020; VESELOV et al., 2022)                                                                                    |
| Fluência em dados e segurança cibernética                     | Ensino de gestão de dados, visualização, ética de dados, segurança cibernética, machine learning aplicados à engenharia. Treinamentos devem incluir simulações de ameaças cibernéticas, conscientização sobre fatores humanos e conformidade com políticas de segurança.   | (CHAENG PROMMA; PATTANAPAIROJ, 2022; GÜRDÜR BROO et al., 2022; KUHN; LUCKE, 2021; TAKACS; POGATSIK, 2023)                                                 |
| Integração de Tecnologias Digitais da Indústria 4.0           | Ênfase em Internet das coisas (IoT), computação em nuvem, <i>big data</i> , Inteligência Artificial e segurança cibernética. Uso de PLC (Controlador Lógico Programável), modelagem digital e simulação em processos industriais.                                          | (CHAENG PROMMA; PATTANAPAIROJ, 2022; CHOOKAEW; HOWIMANPORN, 2022; VAVENKOV, 2022)                                                                         |
| Metodologias Ativas e personalização da aprendizagem          | Aprendizagem focada em metodologias ativas e uso de IA para adaptar o conteúdo ao perfil e necessidade do usuário. Exemplos: MOOCs, e-learning adaptativo, gamificação, simulação, gêmeos digitais e abordagens pedagógicas que envolvam estudos de caso e projetos reais. | (GÜRDÜR BROO et al., 2022; HAZRAT et al., 2023; KUHN; LUCKE, 2021; MAISIRI, 2024; MUZAM et al., 2023; SHAHLAEI; LUNDH SNIS, 2022; TAKACS; POGATSIK, 2023) |
| Colaboração Humano-Máquina                                    | Desenvolvimento de habilidades para trabalhar com sistemas ciberfísicos e IA de forma colaborativa.                                                                                                                                                                        | (GÜRDÜR BROO; KAYNAK; SAIT, 2022; SILVA et al., 2022; TAKACS; POGATSIK, 2023)                                                                             |
| Parcerias Universidade-Indústria                              | Programas de estágio, treinamentos conjuntos entre universidade e indústria e desenvolvimento de currículos alinhados às demandas do mercado.                                                                                                                              | (BORONINA; BALIASOV; SHOLINA, 2017; CHAENG PROMMA; PATTANAPAIROJ, 2022; CHOOKAEW; HOWIMANPORN, 2022; SILVA et al., 2022; VAVENKOV, 2022)                  |
| Competências Transversais e Emergentes ( <i>Soft Skills</i> ) | Foco no desenvolvimento de Habilidades como comunicação, trabalho em equipe, criatividade, pensamento crítico, e liderança são centrais.                                                                                                                                   | (GÜRDÜR BROO; KAYNAK; SAIT, 2022; LANTADA, 2020; SHAHLAEI; LUNDH SNIS, 2022; SILVA et al., 2022; TAKACS; POGATSIK, 2023)                                  |
| Educação 5.0                                                  | Ensino através do foco na centralidade humana, com ênfase em ética, sustentabilidade, responsabilidade social e bem-estar.                                                                                                                                                 | (GÜRDÜR BROO; KAYNAK; SAIT, 2022; LANTADA, 2020; SILVA et al., 2022; TAKACS; POGATSIK, 2023)                                                              |
| Microcredenciais                                              | As microcredenciais são certificações de pequena escala (cursos curtos) que comprovam a aquisição de competências específicas, conhecimentos ou habilidades.                                                                                                               | (CHAENG PROMMA; PATTANAPAIROJ, 2022; CHOOKAEW; HOWIMANPORN, 2022; GOMEZ-PUENTE et al., 2022)                                                              |

|                                                              |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                              |                                                                                                                                                                                                                 | 2023; KUHN; LUCKE, 2021; LANTADA, 2020)                                                                                           |
| Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e Simulação | Uso de RV, RA e simulação para criar simuladores de alta imersão para treinamento em operações perigosas, manutenção de equipamentos complexos e visualização de projetos em escala real.                       | (GÜRDÜR BROO; KAYNAK; SAIT, 2022; HAZRAT et al., 2023; SHAHLAEI; LUNDH SNIS, 2022; TAKACS; POGATSNIK, 2023; VAVENKOV, 2022)       |
| Sustentabilidade, ética e centralidade humana                | Ética dos dados, confiança e sustentabilidade são fundamentais para os engenheiros do futuro. Eles precisarão entender os impactos social e ambiental da tecnologia, alinhando-se aos valores da Indústria 5.0. | (CHAENG PROMMA; PATTANAPAIROJ, 2022; GÜRDÜR BROO; KAYNAK; SAIT, 2022; LANTADA, 2020; SILVA et al., 2022; TAKACS; POGATSNIK, 2023) |

**Fonte: Autores (2025)**

## 5. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo geral analisar as principais tendências em educação e treinamento em engenharia no contexto da transformação digital, por meio de uma revisão sistemática da literatura. Os resultados alcançados confirmam que o profissional de engenharia necessitará de formação contínua e atualização constante para acompanhar as demandas impulsionadas pela transformação digital, bem como pelo advento da Indústria 4.0 e da emergente Indústria 5.0.

Entre as tendências identificadas, foi encontrado as competências essenciais necessárias para o profissional de engenharia, destacando: pensamento crítico, comunicação, criatividade, liderança, análise de dados, colaboração humano-máquina, além do domínio no uso e desenvolvimento de inteligência artificial e sistemas ciberfísicos. Para desenvolvê-las, torna-se imperativo que os programas de treinamento, de educação continuada e de formação em engenharia adotem metodologias inovadoras, como aprendizagem baseada em projetos (PBL), simulações em realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA), especialmente para capacitação em operações complexas ou perigosas.

Além disso, evidencia-se a necessidade de uma visão sistêmica e transdisciplinar, que permita ao futuro engenheiro compreender os impactos sociais, ambientais e éticos das tecnologias digitais. Dessa forma, o profissional estará melhor preparado para atuar com centralidade humana, sustentabilidade e responsabilidade ética.

Este trabalho contribui para a literatura ao sintetizar e destacar tendências em educação e treinamento que são fundamentais para a formação ao longo da vida do engenheiro na era digital.

### 5.1 Limitações do estudo e sugestões para trabalhos futuros

Como limitação, reconhece-se que a pesquisa baseou-se exclusivamente em revisão de literatura, não envolvendo coleta de dados primários ou validação empírica das tendências identificadas. Além disso, a seleção de bases de dados pode ter influenciado o escopo dos resultados.

Sugere-se para pesquisas futuras: 1- Investigar como as instituições de ensino e empresas estão integrando a formação em competências socioemocionais e éticas em seus currículos e programas de treinamento. 2- Desenvolver casos de aplicação de realidade virtual e aumentada em cursos e programas de treinamento de engenharia, avaliando o impacto na retenção de conhecimento e capacitação prática.

Agradecimentos: Este artigo foi desenvolvido com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Código Financeiro N<sup>o</sup> 001.

## Referências

ANDERSEN, A. L.; ROSIO, C. Continuing Engineering Education in Changeable and Reconfigurable Manufacturing - Implications of Problem- Based Learning in Industrial Practice. **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION**, v. 39, n. 5, p. 1118- 1130 WE- Science Citation Index Expanded (S, 2023).

BENIS, A.; NELKE, S. A.; WINOKUR, M. **Upgrading industrial engineering and management curriculum to industry 4.0**. Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology. **Anais...**2020. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85084118228&doi=10.1109%2FICIT45562.2020.9067243&partnerID=40&md5=395c9c0632a93171df734dd442cee909>>

BENIS, A.; NELKE, S. A.; WINOKUR, M. Training the next industrial engineers and managers about industry 4.0: A case study about challenges and opportunities in the covid-19 era. **Sensors**, v. 21, n. 9, 2021.

BORONINA, L. N.; BALIASOV, A. A.; SHOLINA, I. I. **PROFESSIONAL POTENTIAL OF FUTURE ENGINEERS IN RUSSIA'S OLD-INDUSTRIAL REGION: INSTITUTIONAL CHALLENGES AND RISKS** (L. G. Chova, A. L. Martinez, I. C. Torres, Eds.)**10TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF EDUCATION, RESEARCH AND INNOVATION (ICERI2017)**, 2017.

BREQUE, M.; DE NUL, L.; PETRIDES, A. **Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry**. [s.l: s.n.].

BRUNETTI, F. et al. Digital transformation challenges: strategies emerging from a multi-stakeholder approach. **TQM Journal**, v. 32, n. 4, p. 697–724, 2020.

CHAENGPRORMMA, N.; PATTANAPAIROJ, S. A gap study between industry expectations and current competencies of bachelor ' s degree graduates in industrial engineering in Thailand 4 . 0 era : A case study of industrial engineering graduates of Khon Kaen University current competencies of bachelor ' s degree graduates in industrial engineering in Thailand 4 . 0 era : A case study of industrial engineering graduates of Khon Kaen University. **Cogent Education**, v. 9, n. 1, 2022.

CHOOKAEW, S.; HOWIMANPORN, S. Upskilling and reskilling for engineering workforce: implementing an automated manufacturing 4.0 technology training course. **Global Journal of Engineering Education**, v. 24, n. 1, p. 34–39, 2022.

EROL, S. et al. **Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production**. Procedia CIRP. **Anais...**2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84999648342&doi=10.1016%2Fj.procir.2016.03.162&partnerID=40&md5=e16ba0e6b8692deb96aeccf28575388>>

GARCÉ, G. et al. Future engineering competencies for a sustainable world: an integral framework for engineering education in the Industry 4.0 era. **INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABILITY IN HIGHER EDUCATION**, 2025.

GHANI, A. Engineering education at the age of Industry 5.0 - higher education at the crossroads. **World Transactions on Engineering and Technology Education**, v. 20, n.

2, p. 112–117, 2022.

GOMEZ-PUENTE, S. M. et al. **TOWARDS BUILDING A FRAMEWORK FOR CONTINUING ENGINEERING EDUCATION IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS: A COMPARATIVE STUDY**. SEFI 2023 - 51st Annual Conference of the European Society for Engineering Education: Engineering Education for Sustainability, Proceedings. **Anais...**2023. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85179848374&doi=10.21427%2FP43B-6Z03&partnerID=40&md5=5690fa20fec37951e8543473e4258a37>>

GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, I. J. et al. Competences of Industrial Engineers in Industry 4.0. **Revista Electronica de Investigacion Educativa**, v. 22, 2020.

GÜRDÜR BROO, D. et al. Rethinking engineering education at the age of industry 5.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 25, n. October 2021, p. 100311, 1 jan. 2022.

GÜRDÜR BROO, D.; KAYNAK, O.; SAIT, S. M. Rethinking engineering education at the age of industry 5.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 25, 1 jan. 2022.

HADGRAFT, R. G.; KOLMOS, A. Emerging learning environments in engineering education. **Australasian Journal of Engineering Education**, v. 25, n. 1, p. 3–16, 2020.

HAZRAT, M. A. et al. Developing a Skilled Workforce for Future Industry Demand: The Potential of Digital Twin-Based Teaching and Learning Practices in Engineering Education. **SUSTAINABILITY**, v. 15, n. 23, 2023.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W. Ten Years of Industrie 4.0. **Sci**, v. 4, n. 3, p. 26, 2022.

KATERYNA, A. et al. Digital literacy development trends in the professional environment. **International Journal of Learning, Teaching and Educational Research**, v. 19, n. 7, p. 55–79, 2020.

KUHN, C.; LUCKE, D. **Supporting the Digital Transformation: A Low-Threshold Approach for Manufacturing Related Higher Education and Employee Training**. (M. D., Ed.) Hochschule Reutlingen, ESB Business School, Alteburgstraße 150, Reutlingen, 72762, Germany: Elsevier B.V., 2021. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85121649680&doi=10.1016%2Fj.procir.2021.11.109&partnerID=40&md5=6be5f3578f1c9893980dde752c3929c3>>

LANTADA, A. D. Engineering Education 5.0: Continuously Evolving Engineering Education. **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION**, v. 36, n. 6, p. 1814–1832, 2020.

MADDIKUNTA, P. K. R. et al. Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 26, n. August 2021, p. 100257, 2022.

MAISIRI, W. HOLISTIC HUMAN CAPITAL DEVELOPMENT: DRIVER OF SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN AFRICA IN THE 4IR ERA. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 35, n. 3, p. 113–123, 2024.

MICROSOFT. **Future proof yourself tomorrow's jobs microsoft**. [s.l: s.n.].

MUZAM, J. et al. The state-of-the-art of modern workplace learning: an applied assessment method of a pre-train deep learning on modern learning tools. **LEARNING ORGANIZATION**, v. 30, n. 5, p. 607–629, 2023.

NAHAVANDI, S. Industry 5.0-a human-centric solution. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 16, p. 43–71, 2019.

- OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 1, p. 127–182, 2020.
- PAGE, M. J. et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. **bmj**, v. 372, 2021.
- PIWOWAR-SULEJ, K. Human resources development as an element of sustainable HRM – with the focus on production engineers. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, 2021.
- POSCHAUKO, V. C. et al. **Engineering Education goes Lifelong Learning: Modularized Technical Vocational Education and Training Program for the Automotive Sector**. (F. Longo, W. Shen, A. Padovano, Eds.)Procedia Computer Science. **Anais...Graz Univ Technol, Life Long Learning Unit, Rechbauerstr 12, A-8010 Graz, Austria: 2024**. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85189780066&doi=10.1016%2Fj.procs.2024.02.002&partnerID=40&md5=de1ca5655edcf0d69817fd0f723886e9>
- PWC. **Pesquisa Global Hopes and Fears**. [s.l: s.n.].
- SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. [s.l.] Edipro, 2019.
- SHAH LAEI, C. A.; LUNDH SNIS, U. Conceptualizing industrial workplace learning: an information systems perspective. **Journal of Workplace Learning**, 2022.
- SILVA, L. B. P. DA et al. **Evolution of Soft Skills for Engineering Education in the Digital Era**. Communications in Computer and Information Science. **Anais...2022**.
- SIMA, V. et al. Influences of the industry 4.0 revolution on the human capital development and consumer behavior: A systematic review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 10, 2020.
- TAKACS, J. M.; POGATSNIK, M. **A systematic review of Human Aspects in Industry 4.0 and 5.0: Cybersecurity Awareness and Soft Skills**. INES 2023 - 27th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems 2023, Proceedings. **Anais...2023**. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85178612836&doi=10.1109%2FINES59282.2023.10297768&partnerID=40&md5=ae0ab2d49cf4eb30df0798f412d59>
- THE EUROPEAN COMMISSION. Key competences for lifelong learning - Publications Office of the EU. **European Union**, p. 1–20, 2019.
- VAVENKOV, M. V. VR/AR technologies and staff training for mining industry. **Mining Science and Technology (Russian Federation)**, v. 7, n. 2, p. 180–187, 2022.
- VESELOV, G. et al. **Training of Engineers: Approaches to Customization of Educational Programs**. (I. Kallel et al., Eds.)PROCEEDINGS OF THE 2022 IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON 2022). **Anais...Southern Fed Univ, Inst Comp Technol & Informat Secur, Taganrog, Russia: 2022**. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85130456288&doi=10.1109%2FEDUCON52537.2022.9766804&partnerID=40&md5=416a7b93c9e39826e7315f120ef5a087>
- WEF. **Future of jobs report 2025**. [s.l: s.n.].