

HABILIDADES PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO NA ERA DA SUSTENTABILIDADE 4.0: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

SKILLS FOR WORK DEVELOPMENT IN THE ERA OF SUSTAINABILITY 4.0: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

HABILIDADES PARA EL DESARROLLO LABORAL EN LA ERA DE LA SOSTENIBILIDAD 4.0: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Histórico do Artigo

Submetido em: 30/09/2025

Aceito em: 27/03/2026

Publicado em: 13/09/2026

 Alex Martins da Silva  Fagner José Coutinho de Melo  Djalma Silva Guimarães Junior 
Eryka Fernanda Miranda Sobral  Luiz Edmundo Celso Borba

RESUMO

A educação para a sustentabilidade 4.0 (S4.0) caracteriza-se pela integração de princípios de sustentabilidade às tecnologias avançadas no currículo educacional, com o propósito de preparar os estudantes para enfrentar desafios globais cada vez mais complexos. Nesse contexto, as habilidades requeridas para o desenvolvimento do trabalho extrapolam o domínio técnico, incorporando competências como adaptabilidade, resiliência, criatividade e pensamento crítico, fundamentais para a atuação em ambientes dinâmicos e tecnologicamente intensivos. Além disso, a Tecnologia da Informação (TI) assume um papel central nesse processo, ao redefinir as práticas educacionais e os papéis do educador e do aluno, promovendo uma aprendizagem mais ativa, dinâmica e centrada no estudante, o que torna essencial a colaboração entre instituições de ensino e o setor tecnológico. Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo identificar as habilidades essenciais para o desenvolvimento do trabalho na era da Sustentabilidade 4.0, utilizando como estratégia metodológica uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Para tanto, foram analisados artigos acadêmicos de acesso aberto indexados na base de dados Web of Science (WOS), publicados no período de 2021 a 2025. Após um rigoroso processo de busca, seleção e filtragem, foram selecionados 24 estudos para compor a análise. Os resultados evidenciam a necessidade de uma combinação equilibrada entre competências técnicas como interpretação e análise de grandes volumes de dados, programação, ciência de dados, cibersegurança e proficiência em Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA) e habilidades socioemocionais, incluindo resolução de problemas, pensamento crítico, trabalho em equipe, adaptabilidade, criatividade e inteligência emocional. As implicações práticas do estudo apontam para a urgência de transformar os processos educacionais e de formação profissional, destacando a importância do desenvolvimento de bancos de dados unificados de competências, da adoção da educação baseada em competências (EBC) e da implementação de metodologias de ensino inovadoras, bem como do fortalecimento da articulação entre instituições de ensino e o setor industrial.

PALAVRAS-CHAVE: competências profissionais; transformação digital; educação baseada em competências; futuro do trabalho; tecnologias educacionais.

ABSTRACT

Education for Sustainability 4.0 (S4.0) is characterized by the integration of sustainability principles with advanced technologies in the educational curriculum, with the purpose of preparing students to face increasingly complex global challenges. In this context, the skills required for work development go beyond technical mastery, incorporating competencies such as adaptability, resilience, creativity, and critical thinking, which are fundamental for working in dynamic and technologically intensive environments. Furthermore, Information Technology (IT) plays a central role in this process, redefining educational practices and the roles of educators and students, promoting more active, dynamic, and student-centered learning, making collaboration between educational institutions and the technology sector essential. Given this scenario, this study aims to identify the essential skills for work development in the era of Sustainability 4.0, using a Systematic Literature Review (SLR) as a methodological strategy. To this end, open-access

academic articles indexed in the Web of Science (WOS) database, published between 2021 and 2025, were analyzed. After a rigorous search, selection, and filtering process, 24 studies were selected for the analysis. The results highlight the need for a balanced combination of technical skills such as interpretation and analysis of large volumes of data, programming, data science, cybersecurity, and proficiency in the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI), and socio-emotional skills, including problem-solving, critical thinking, teamwork, adaptability, creativity, and emotional intelligence. The practical implications of the study point to the urgency of transforming educational and vocational training processes, emphasizing the importance of developing unified competency databases, adopting competency-based education (CBE), and implementing innovative teaching methodologies, as well as strengthening the articulation between educational institutions and the industrial sector.

KEYWORDS: professional skills; digital transformation; skills-based education; future of work; educational technologies.

RESUMEN

La Educación para la Sostenibilidad 4.0 (S4.0) se caracteriza por la integración de los principios de sostenibilidad con tecnologías avanzadas en el currículo educativo, con el fin de preparar a los estudiantes para afrontar retos globales cada vez más complejos. En este contexto, las habilidades requeridas para el desarrollo laboral van más allá del dominio técnico, incorporando competencias como la adaptabilidad, la resiliencia, la creatividad y el pensamiento crítico, fundamentales para trabajar en entornos dinámicos y tecnológicamente intensivos. Además, las Tecnologías de la Información (TI) desempeñan un papel central en este proceso, redefiniendo las prácticas educativas y los roles de educadores y estudiantes, promoviendo un aprendizaje más activo, dinámico y centrado en el estudiante, lo que hace esencial la colaboración entre las instituciones educativas y el sector tecnológico. Ante este escenario, este estudio pretende identificar las habilidades esenciales para el desarrollo laboral en la era de la Sostenibilidad 4.0, utilizando una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) como estrategia metodológica. Para ello, se analizaron artículos académicos de acceso abierto indexados en la base de datos Web of Science (WOS), publicados entre 2021 y 2025. Tras un riguroso proceso de búsqueda, selección y filtrado, se seleccionaron 24 estudios para el análisis. Los resultados destacan la necesidad de una combinación equilibrada de habilidades técnicas, como la interpretación y el análisis de grandes volúmenes de datos, la programación, la ciencia de datos, la ciberseguridad y el dominio del Internet de las Cosas (IdC) y la Inteligencia Artificial (IA), y habilidades socioemocionales, como la resolución de problemas, el pensamiento crítico, el trabajo en equipo, la adaptabilidad, la creatividad y la inteligencia emocional. Las implicaciones prácticas del estudio apuntan a la urgencia de transformar los procesos educativos y de formación profesional, destacando la importancia de desarrollar bases de datos unificadas de competencias, adoptar la educación basada en competencias (EBC) e implementar metodologías docentes innovadoras, así como de fortalecer la articulación entre las instituciones educativas y el sector industrial.

PALABRAS CLAVE: competencias profesionales; transformación digital; educación basada en competencias; futuro del trabajo; tecnologías educativas.

1 INTRODUÇÃO

A era da sustentabilidade 4.0 (S4.0) é caracterizada pela integração de tecnologias avançadas e práticas sustentáveis nas dimensões econômica, social e ambiental em todos os setores da economia (Noronha *et al.*, 2022). A (S1.0) esteve associada a uma visão inicial e reativa, centrada principalmente na mitigação de impactos ambientais e no cumprimento de normas regulatórias, por sua vez, a (S2.0) incorporou práticas de gestão ambiental e responsabilidade social corporativa, integrando gradualmente aspectos sociais e econômicos às estratégias organizacionais, a (S3.0) ampliou essa perspectiva para modelos estratégicos e proativos, incluindo economia circular, inovação sustentável e governança corporativa (Azofeifa *et al.*, 2024).

Por fim, a (S4.0) emerge como uma fase digital e inteligente, na qual tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) são utilizadas como habilitadoras de soluções sustentáveis, permitindo maior integração, rastreabilidade, eficiência e geração de valor sustentável em múltiplas dimensões. Isso envolve a utilização de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e análise de dados para otimizar processos, reduzir desperdícios e promover a eficiência energética e de recursos (Rodrigues, 2022).

Nesse cenário, as habilidades dos profissionais são fundamentais para o sucesso das organizações (Nunhes, 2021). As habilidades necessárias para o desenvolvimento do trabalho na era da sustentabilidade 4.0 incluem competências técnicas, como conhecimento em tecnologias digitais e análise de dados, e habilidades socioemocionais, como pensamento crítico, criatividade e colaboração. A combinação dessas habilidades permitirá que os profissionais sejam capazes de criar soluções sustentáveis e inovadoras, contribuindo para um futuro mais resiliente e sustentável (Reis *et al.*, 2022).

Azevedo e Aguiar Júnior (2022) destacam que, na articulação entre habilidades profissionais e o desenvolvimento do trabalho no contexto da era 4.0 orientada por princípios sustentáveis, consolida-se a atuação de profissionais de diferentes áreas, como especialistas em desenvolvimento sustentável, engenheiros voltados à produção responsável, analistas de dados aplicados a práticas ambientais, gestores de projetos com foco socioambiental, desenvolvedores de tecnologias de baixo impacto e educadores comprometidos com a formação para a sustentabilidade. Esses profissionais atuam de forma integrada na construção de soluções inovadoras e responsáveis, capazes de atender às demandas atuais sem comprometer as gerações futuras, o que exige um conjunto articulado de competências técnicas, socioemocionais e específicas para contextos sustentáveis (Germano; Mello; Motta, 2021).

Isso é importante para o sucesso dos novos profissionais e atendam às necessidades atuais sem comprometer as gerações futuras, garantindo a competitividade e a resiliência das organizações em um mercado cada vez mais exigente em termos de sustentabilidade, além de contribuir para a mitigação dos impactos ambientais e sociais negativos, promovendo um futuro mais sustentável e equitativo (Kim *et al.*, 2023).

Segundo Bag *et al.*, (2021) as últimas publicações na literatura sobre as habilidades necessárias para o desenvolvimento do trabalho na era da sustentabilidade 4.0 destacam a importância de uma combinação de competências. Além de habilidades como pensamento crítico, criatividade, colaboração e capacidade de avaliar impactos ambientais e sociais.

Além disso, as publicações ressaltam a importância da educação e da formação profissional para desenvolver habilidades que permitam aos trabalhadores se adaptar às mudanças tecnológicas e ambientais, e contribuir para um futuro mais sustentável e equitativo (Sharma *et al.*, 2022). A identificação das habilidades necessárias para o desenvolvimento do trabalho na era da sustentabilidade 4.0 é um desafio que requer uma análise cuidadosa da literatura (Carvalho *et al.*, 2022).

Com base nisso, o estudo busca responder a seguinte problemática: Quais são as habilidades necessárias para o desenvolvimento do trabalho na era da Sustentabilidade 4.0? Para responder à pergunta de pesquisa, o estudo tem como objetivo identificar as habilidades essenciais para o desenvolvimento do trabalho na era da Sustentabilidade 4.0, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL).

O estudo justifica-se pelo fato da S4.0 ser um campo em constante evolução, onde organizações precisam de profissionais com habilidades específicas para lidar com os desafios e oportunidades que surgem. Além disso, a falta de estudos sistemáticos sobre as habilidades necessárias para a sustentabilidade 4.0 é um obstáculo para o desenvolvimento de programas de treinamento e educação eficazes (Souza *et al.*, 2024).

Segundo aponta Gil (2019) a revisão sistemática da literatura é uma metodologia rigorosa que permite a identificação de estudos relevantes e a síntese de seus resultados. Na pesquisa, serão analisados estudos que abordam as habilidades necessárias para o desenvolvimento do trabalho na era da sustentabilidade 4.0, incluindo estudos sobre competências (conhecimento, habilidades e atitudes) para profissionais em diferentes setores.

Para Oláh *et al.*, (2020) a identificação das habilidades necessárias para a S4.0 é fundamental para o desenvolvimento de programas de treinamento e educação que preparem os profissionais para os desafios do futuro além de contribuir para a elaboração de políticas públicas e estratégias empresariais que promovam a sustentabilidade e a inovação. Neste contexto, a identificação das habilidades necessárias para a sustentabilidade 4.0 é um desafio que requer uma abordagem interdisciplinar e uma análise cuidadosa da literatura. A realização desta revisão sistemática da literatura contribui para o avanço do conhecimento sobre as habilidades necessárias para a S4.0 e para o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Sustentabilidade 4.0: Conceito, Dimensões e a Convergência com a Educação

A Sustentabilidade 4.0 (S4.0) representa a convergência entre os princípios do desenvolvimento sustentável e as tecnologias emergentes da Quarta Revolução Industrial, configurando-se como uma evolução paradigmática na forma como organizações e sociedades abordam os desafios socioambientais contemporâneos (Noronha *et al.*, 2022). Diferentemente das gerações anteriores de sustentabilidade, a S4.0 não se limita a práticas reativas de mitigação de danos ambientais, mas propõe uma integração sistêmica e proativa entre inovação tecnológica e responsabilidade socioambiental.

Historicamente, a Sustentabilidade 1.0 (S1.0) caracterizou-se por uma abordagem inicial e reativa, focada primordialmente no cumprimento de regulamentações ambientais e na mitigação de impactos negativos. A Sustentabilidade 2.0 (S2.0) avançou ao incorporar práticas de gestão ambiental e responsabilidade social corporativa, integrando gradualmente aspectos sociais e econômicos às estratégias organizacionais. Posteriormente, a Sustentabilidade 3.0 (S3.0) ampliou essa perspectiva para modelos estratégicos que incluem economia circular, inovação sustentável e governança corporativa voltada ao longo prazo (Azofeifa *et al.*, 2024).

A S4.0, por sua vez, emerge como uma fase digital e inteligente, na qual tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 (I4.0), como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data, computação em nuvem, sistemas ciberfísicos e blockchain, são estrategicamente empregadas como instrumentos para otimizar processos produtivos, reduzir desperdícios, promover eficiência energética e de recursos, além de possibilitar rastreabilidade e transparência em cadeias de suprimentos sustentáveis (Rodrigues, 2022; Germano; Mello; Motta, 2021).

Fundamentalmente, a S4.0 ancora-se no conceito de Triple Bottom Line, proposto por Elkington (1997), que preconiza o equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental como requisito para o desenvolvimento sustentável autêntico. A dimensão econômica refere-se à criação de valor financeiro e competitividade organizacional por meio da inovação tecnológica e eficiência operacional. A dimensão social abrange a promoção de trabalho decente, inclusão digital, equidade, capacitação profissional e bem-estar das comunidades. Já a dimensão ambiental enfatiza a preservação de ecossistemas, gestão responsável de recursos naturais, redução de emissões de carbono e adoção de práticas circulares (Bag *et al.*, 2021).

Neste contexto, a Educação assume papel central e estratégico como vetor de transformação social e formação de competências necessárias para operacionalizar os princípios da S4.0. Conforme destacam Maracajá e Oliveira (2020), a Educação para a Sustentabilidade 4.0 transcende a mera transmissão de conhecimentos técnicos, demandando o desenvolvimento de uma consciência crítica sobre os impactos socioambientais das ações humanas, aliada à capacidade de aplicar tecnologias digitais de forma ética, responsável e orientada à sustentabilidade.

A UNESCO, por meio do marco conceitual de Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), define competências-chave que incluem pensamento sistêmico, antecipação de cenários futuros, pensamento crítico, autoconsciência, colaboração interdisciplinar e resolução de problemas complexos (UNESCO, 2017). Essas competências são fundamentais para formar cidadãos capazes de compreender as interconexões entre sistemas econômicos, sociais e ambientais, bem como de propor soluções inovadoras e sustentáveis diante de desafios globais, tais como mudanças climáticas, desigualdades sociais e escassez de recursos.

Segundo Giesenbauer e Müller-Christ (2020), a educação voltada à S4.0 deve promover pedagogias transformadoras que estimulem a autonomia, a criatividade e a capacidade de aprender continuamente ao longo da vida. Trata-se de preparar profissionais não apenas tecnicamente proficientes, mas também dotados de sensibilidade socioambiental, habilidades colaborativas e visão estratégica de longo prazo (Gouda, 2023).

Dessa forma, a convergência entre S4.0 e Educação configura-se como um imperativo para a formação de uma força de trabalho apta a navegar em ambientes complexos, tecnologicamente avançados e comprometidos com a sustentabilidade. A educação torna-se, assim, o alicerce para a construção de sociedades mais resilientes, equitativas e ecologicamente responsáveis, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas (Kim *et al.*, 2023; Nunhes *et al.*, 2021).

2.2 Tecnologias da Informação e Comunicação como Habilitadoras da Educação para a Sustentabilidade 4.0

A Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) constitui elemento estruturante da educação contemporânea, especialmente no contexto da Indústria 4.0 e da Sustentabilidade 4.0 (Sharma *et al.*, 2022). Este novo paradigma é caracterizado pela convergência de tecnologias digitais, físicas e biológicas, que transformam não apenas os processos produtivos e modelos de

negócios, mas também as metodologias pedagógicas, os ambientes de aprendizagem e as competências requeridas dos educadores e educandos (Mukul; Büyüközkan, 2023).

As TICs, ao facilitarem o acesso democratizado à informação, promoverem interatividade e possibilitarem experiências imersivas de aprendizagem, redefinem o papel do educador, que passa de transmissor de conteúdo a mediador e facilitador do conhecimento, e do aluno, que se torna protagonista ativo de seu processo formativo (Tortorella *et al.*, 2020). Tecnologias como plataformas de aprendizagem adaptativa, realidade aumentada e virtual, simulações baseadas em Big Data e Inteligência Artificial permitem personalização do ensino, desenvolvimento de habilidades práticas em ambientes seguros e feedback contínuo sobre o progresso individual dos estudantes (Ariansyah *et al.*, 2024).

No âmbito da S4.0, a educação deve ir além da transmissão de conhecimentos técnicos especializados. Torna-se essencial que os currículos sejam redesenhados para integrar competências transversais, como pensamento crítico, resolução criativa de problemas, inteligência emocional, colaboração e alfabetização digital avançada, que são fundamentais para atuar em ambientes de trabalho dinâmicos e em constante evolução (Mukul; Büyüközkan, 2023; Santos *et al.*, 2024). A capacidade de "aprender a aprender" emerge como competência vital, permitindo que os profissionais se adaptem continuamente às inovações tecnológicas e às transformações socioambientais (Pistori; Neto, 2024).

A formação para a S4.0 demanda também a integração curricular de tecnologias emergentes, tais como Inteligência Artificial, Internet das Coisas, análise de Big Data, robótica, computação em nuvem e blockchain, ao repertório formativo dos estudantes, independentemente de suas áreas de atuação (Ferreira *et al.*, 2025). Essa integração não deve se restringir ao domínio instrumental dessas ferramentas, mas incluir reflexões éticas, sociais e ambientais sobre suas aplicações, riscos e potencialidades transformadoras (Farias, 2023).

Para tanto, a colaboração entre instituições de ensino, setor produtivo e organismos governamentais torna-se crucial para o desenvolvimento de ecossistemas educacionais responsivos às demandas da S4.0 (Da Silva; Bruno, 2023). Parcerias estratégicas podem resultar na criação de programas de formação dual, estágios supervisionados em ambientes tecnológicos avançados, laboratórios de inovação sustentável e iniciativas de capacitação docente em ferramentas digitais e metodologias ativas (Oláh *et al.*, 2020).

Adicionalmente, a capacitação de educadores em competências digitais e pedagógicas inovadoras é condição *sine qua non* para garantir que possam orientar efetivamente os alunos,

utilizando métodos de ensino que aproveitem ao máximo as possibilidades oferecidas pelas TICs (Sheikh; Abdalkrim; Shehawy, 2023). Isso inclui formação em design instrucional para ambientes virtuais, estratégias de engajamento digital, avaliação formativa mediada por tecnologia e práticas de ensino inclusivas que considerem diversidades socioculturais e de acesso tecnológico.

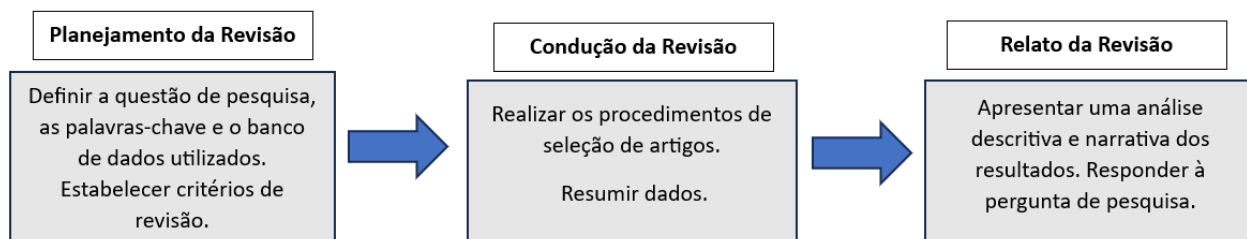
Portanto, a educação para a S4.0 deve ser compreendida como um esforço colaborativo, multisetorial e de longo prazo, que envolve governos, instituições educacionais, empresas, sociedade civil e organismos internacionais (Sharma *et al.*, 2022). O compromisso coletivo com a transformação educacional é necessário para assegurar que os estudantes adquiram as habilidades cognitivas, técnicas, socioemocionais e éticas indispensáveis para prosperar em um mundo digitalizado, interconectado e comprometido com a sustentabilidade (Abulibdeh; Zaidan; Abulibdeh, 2024).

Assim, as TICs não são meramente ferramentas de suporte ao ensino, mas funcionam como geradores de mudança que impulsionam a evolução da educação, preparando as gerações para enfrentar os desafios complexos da Indústria 4.0 e contribuir para a construção de um futuro mais sustentável (González; Gorgoso; Queiruga, 2024).

3 METODOLOGIA

Para abordar as habilidades para o desenvolvimento do trabalho na era da sustentabilidade 4.0, esta pesquisa conduziu uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Este procedimento deve ser capaz de ser replicado por qualquer pessoa que utilize os critérios do estudo, obtendo sempre as mesmas respostas (Magnago *et al.*, 2024). Consequentemente, uma revisão sistemática da literatura tem maior chance de ganhar mais confiança e credibilidade do que uma revisão tradicional (Liu *et al.*, 2022). Dessa forma, a RSL seguiu os três estágios de desenvolvimento utilizados por Gomes *et al.* (2022) - (1) planejamento, (2) execução e (3) revisão, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Etapas da Revisão Sistemática da Literatura.



Fonte: Adaptado de Gomes *et al.*, (2021).

Na fase de planejamento, foi realizada uma discussão aprofundada entre os autores com base em artigos acadêmicos relacionados ao tema, a fim de compreender os potenciais campos deste estudo. Como resultado, surgiu o problema da pesquisa, palavras-chave e a escolha da base de dados que foi definida como Web of Science (WOS). Posteriormente, foram avaliadas diversas combinações de termos, categorias e conectivos, o que levou à apresentação do Quadro 1.

Quadro 1 – Combinação de Palavras-chave.

Descrição dos títulos	Descrição dos tópicos	Descrição dos tópicos
Sustainability 4.0	and	Skills of the future
work in the digital age	and	Skills of the future
Education for sustainability 4.0	and	Skills of the future
Skills for sustainability	and	Skills of the future
Education for sustainability 4.0	and	Information Technology
Sustainability 4.0	and	Information Technology
work in the digital age	and	Information Technology
work in the digital age	and	Sustainability 4.0
Skills of the future	and	Information Technology
Sustainability 4.0	and	Digital skills
Education for sustainability 4.0	and	Digital skills
Sustainability 4.0	and	Education 4.0

Fonte: Esta Pesquisa (2025).

O termo Sustainability 4.0 foi utilizado como principal palavra-chave na base de dados WOS, sendo encontrados mais de doze mil resultados. Dessa forma, compreendeu-se que, o termo em questão ligado à I4.0, Competências do Futuro, Trabalho na era digital, Educação para a sustentabilidade 4.0 e Tecnologia da Informação trazem muitos estudos e análises. Assim, os sprints foram descritos no Quadro 2.

Quadro 2 – Forma de busca na base de dados WOS

Sustainability 4.0 (All Fields) and **Skills of the Future (All Fields)** or **Working in the Digital Age (All Fields)** and **Skills of the Future (All Fields)** or **Education for Sustainability 4.0 (All Fields)** and **Skills of the Future (All Fields)** or **Skills for Sustainability (All Fields)** and **Skills of the Future (All Fields)** or **Education for Sustainability 4.0 (All Fields)** and **Information Technology (All Fields)** or **Sustainability 4.0 (All Fields)** and **Information Technology (All Fields)** or **Working in the Digital Age (All Fields)** and **Information Technology (All Fields)** or **Working in the Digital Age (All Fields)** and **Sustainability 4.0 (All Fields)** or **Skills of the Future (All Fields)** and **Information Technology (All Fields)** or **Sustainability 4.0 (All Fields)** and **Digital Skills (All Fields)** or **Education for Sustainability 4.0 (All Fields)** and **Digital Skills (All Fields)** or **Sustainability 4.0 (All Fields)** and **Education 4.0 (All Fields)** 2025 or 2024 or 2023 or 2022 and 2021 (Publication Years) and English (Idioms) and **Educational Research** or **Scientific Disciplines in Education** (Web of Science Categories) and Articles (Document Types).

Fonte: Esta Pesquisa (2025).

Em seguida, o período de busca foi definido como sendo de 2021 a 2025; optou-se por buscar artigos acadêmicos de acesso aberto em inglês devido à relevância deste idioma para o meio científico; por fim, foram escolhidos como categorias de busca apenas os artigos que tivessem relação com pesquisa Educacional e disciplinas científicas na educação, considerando o alcance deste trabalho para este segmento. A classificação dos critérios de inclusão e exclusão utilizados juntamente com os motivos para sua seleção, são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Critério de Inclusão, Exclusão e Justificativa.

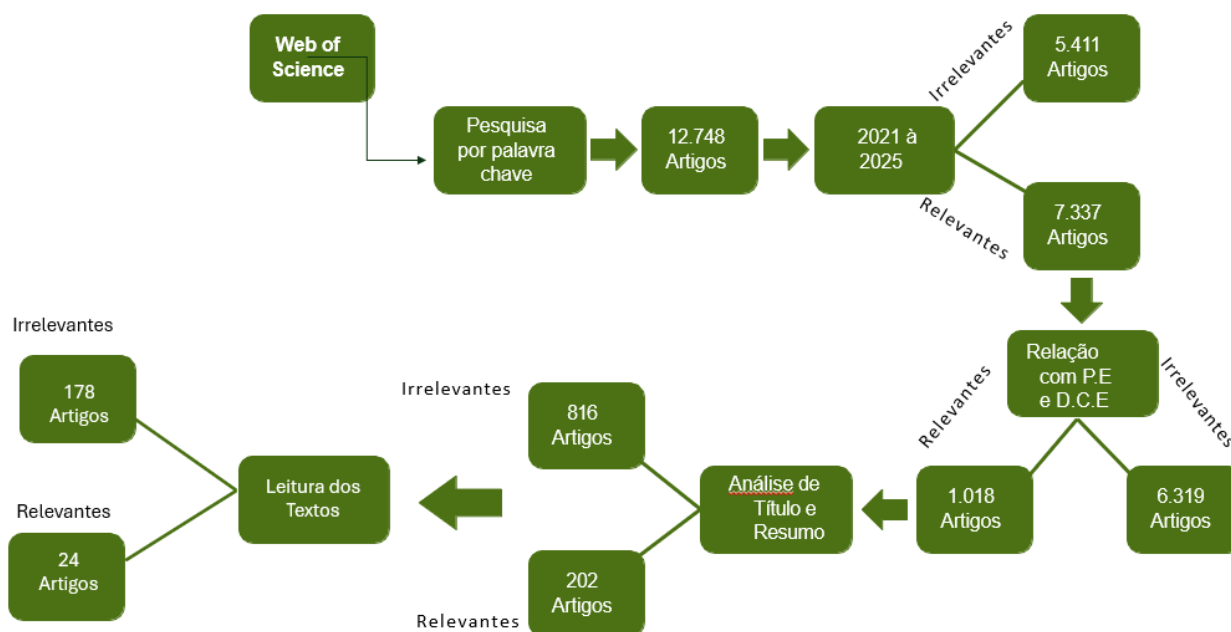
Critério de Inclusão	Critério de Exclusão	Justificativa
Artigos publicados entre os anos de 2021 e 2025	Trabalhos publicados fora desse período	Necessidade de compreender como as recentes transformações tecnológicas e ambientais têm impactado o mundo do trabalho e quais habilidades são exigidas para que os profissionais se adaptem a essa nova realidade.
Artigos publicados em periódicos científicos (journals)	Registros que não correspondam a artigos científicos (anais, editoriais, resenhas, capítulos de livros, entre outros)	Artigos de periódicos científicos oferecem maior profundidade teórica e metodológica, sendo mais adequados para uma análise sistemática rigorosa.
Estudos relacionados à pesquisa educacional e às disciplinas científicas da educação	Estudos não vinculados à pesquisa educacional ou às disciplinas científicas da educação	Garantia de que a revisão sistemática esteja focada em pesquisas relevantes e aplicáveis ao contexto educacional, no qual as habilidades para a Sustentabilidade 4.0 são desenvolvidas.
Análise do título e do resumo	Estudos que não apresentem relação direta com a problemática da pesquisa	Exclusão de estudos que, a partir da leitura do título e do resumo, não demonstrem aderência ao objetivo e à questão de pesquisa.
Leitura integral do texto	Estudos cujo texto completo não esteja disponível ou que não tenham sido analisados na íntegra	Inclusão apenas de estudos que atendam diretamente ao objetivo da pesquisa e apresentem contribuições consistentes para a fundamentação teórica e analítica.

Fonte: Esta Pesquisa (2025).

A partir dos critérios de inclusão e exclusão, foi possível desenhar o processo de filtragem com critérios de busca inicial e final. Este procedimento pode ser visualizado na Figura 2. Em maio de 2025, sem aplicar nenhum critério de exclusão, foram encontrados um total de 12.748 artigos na base de dados WOS. Após a aplicação do primeiro critério (intervalo de datas), este número foi reduzido para 7.337. Posteriormente, foram utilizados os seguintes critérios (relação com pesquisa educacional e disciplinas científicas na educação, em inglês) e o terceiro critério (artigos duplicados e análise de título ou resumo), foi possível encontrar 1.018 artigos. Por fim, utilizando os dois últimos critérios (Análise de Título ou Resumo e Leitura completa do artigo, um total de 24 artigos tiveram as condições estabelecidas. O número final de artigos usados para a análise da RSL foi 24.

Para Liberati *et al.*, (2009) não há um número mínimo ou máximo de artigos que compõe uma revisão sistemática da literatura, pois os artigos escolhidos passam por protocolos e critérios pré-determinados para garantir a transparência e a confiabilidade do processo.

Figura 2 – Processo de Filtragem.



Fonte: Esta Pesquisa (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação meticulosa desses critérios de filtragem foi crucial para refinar a vasta quantidade de dados inicial. De um total de 12.748 artigos encontrados na base de dados Web of Science (WOS) inicialmente, o processo seletivo resultou em apenas 24 estudos relevantes para a análise sob duas perspectivas - a primeira sendo descritiva e a segunda, narrativa.

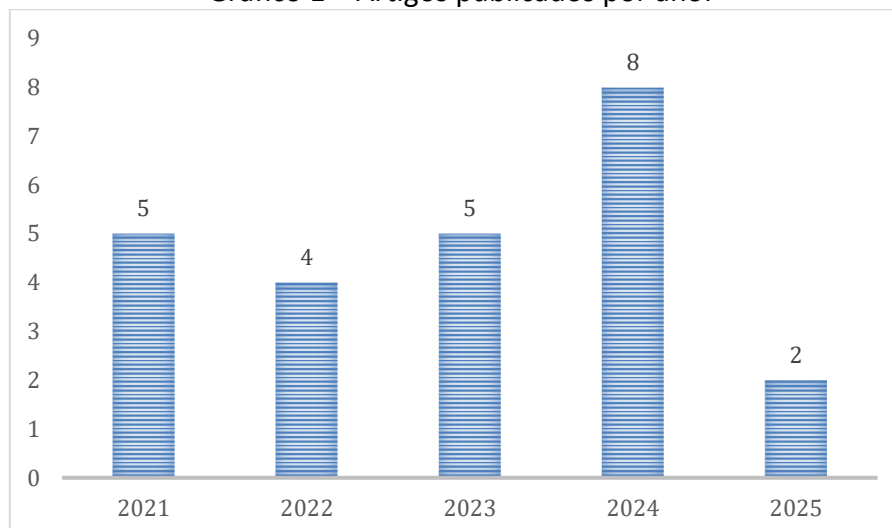
Esse rigoroso processo permitiu à pesquisa focar na identificação das habilidades essenciais para o desenvolvimento do trabalho na era da Sustentabilidade 4.0, abrangendo tanto competências técnicas quanto socioemocionais. Essa precisão foi fundamental para preencher uma lacuna de estudos sistemáticos sobre as habilidades necessárias para a S4.0, fornecendo uma base sólida para a criação de programas de treinamento e educação eficazes, alinhados às demandas futuras da indústria e da sociedade, um ponto reforçado por autores como Zancul *et al.*, (2021).

4.1 Análise descritiva

Na análise descritiva, houve um mapeamento dos períodos publicados por países e uma sistematização dos artigos publicados por ano, ambos feitos no *RStudio*. Em seguida, foi criada uma nuvem de palavras-chave de todas encontradas na base de dados, e utilizando os 24 artigos encontrados na WOS foi criada uma rede de ocorrências dessas palavras nos artigos examinados.

Em 2021, a produção registrou 5 artigos relacionados ao tema da revisão. Houve uma pequena diminuição na produção para 4 artigos no ano subsequente, 2022. A produção recuperou em 2023, retornando ao patamar de 5 artigos publicados. O pico de publicações no período ocorreu em 2024, atingindo 8 artigos. Entretanto, os dados para 2025 indicam uma queda acentuada, com apenas 2 artigos. Isso aconteceu porque a pesquisa teve como marco maio do atual ano. Essa variação ao longo do período analisado evidencia uma oscilação na produção científica relacionada ao tema, com maior concentração de estudos nos anos mais recentes, especialmente em 2024. Tal comportamento pode indicar um aumento do interesse acadêmico pelas discussões sobre habilidades associadas à Sustentabilidade 4.0, embora a redução observada em 2025 esteja diretamente relacionada ao recorte temporal da pesquisa, cujo levantamento foi realizado até o mês de maio, conforme apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Artigos publicados por ano.



Fonte: Esta Pesquisa (2025).

Os dados da análise detalhada dos 24 artigos em estudo são apresentados no Quadro 4. Esses os dados foram categorizados da seguinte forma: ano de publicação, autores, países de publicação, palavras encontradas nos periódicos, tipo de artigo e áreas do editor.

Quadro 4 – Análise descritiva dos artigos selecionados.

Ano	Autores	País	Palavras-Chave	Journal	Área do editor	Fator de Impacto (FI)
2021	Alvarez e Torres	México	Competitividade Tecnológica; Economias Emergentes; indústria 4.0; indústria 5.0.	Journal of Applied Engineering Sciences	Ciências da engenharia	1,0
2021	Arcelay, Goti, Zubillaga, Akyazi, Alberdi e Garcia-Bringas	Espanha	energia renovável; competências; Indústria 4.0; empregos; digitalização; futuro	Energies	Energia	3,0
2021	Spöttl e Windelband	Alemanha	Indústria 4.0; competências profissionais; digitalização; educação e formação profissional	Education and Work	Educação e Trabalho	1,5
2021	Mancilla, Ornelas-Vargas, Osuna, Molina	México	mecatrônica educacional; Internet das coisas; sistema de sensoriamento; sistemas dinâmicos	Sensors	Sensores	3,5

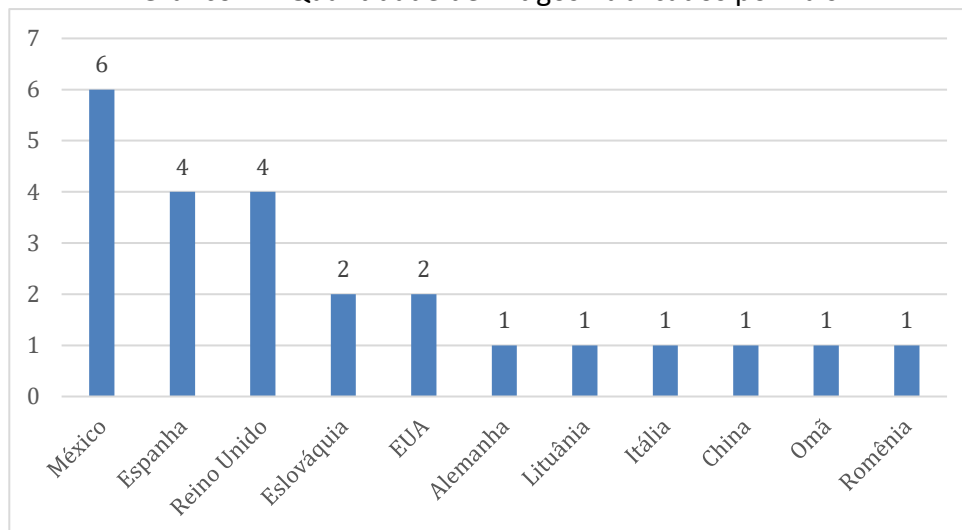
2021	Bartusevičienė e Valionienė	Lituânia	Digitalização; Indústria 4.0; competências / habilidades; aprendizagem integrada ao trabalho (AIT)	Transnav Journal	Navegação Marítima e Segurança do Transporte Marítimo	1,4
2022	López, Jiménez, Sandoval, Leyva	México	Indústria 4.0; educação baseada em competências; sistemas ciberfísicos; competências específicas; educação em engenharia	Processes	Processos	2,8
2022	Pérez e Montoya	México	Educação 4.0; Habilidades/Competências; Digitalização	Sustainability	Sustentabilidade	3,3
2022	Smaldone, Ippolito, Lager, Pellicano	Itália	Mineração de texto; Modelagem de tópicos e Habilidades	European Management Journal	Gestão	7,5
2022	Sharma, Luthra, Joshi e Kumar	Reino Unido	Tecnologias da Indústria 4.0; Gestão Sustentável de Recursos Humanos; Competências de Empregabilidade	International Journal of Labor	Gestão de Recursos Humanos	3,5
2023	Jiménez, García, Martínez, Heredero	Espanha	competências técnicas, formação contínua, digitalização, indústria 4.0	Journal of Industrial Engineering and Management	Engenharia e Gestão Industrial	2,0
2023	Szabó, Ikva, Marková, Samáková e Janík	Eslováquia	competências, Indústria 4.0, mercado de trabalho	Applied Sciences	Engenharia Industrial e Gestão	2,5
2023	Saniuk, Caganova e Saniuk	Eslováquia	Indústria 4.0, Conhecimento e habilidades, Recursos humanos e Habilidades gerenciais	Mobile Networks and Applications	Tecnologia da Informação	2,3
2023	Akyazi, Goti, Bayón, Kohlgrüber e Schröder	Espanha	Competências, Força de trabalho, Sustentabilidade e Economia circular	Environmental Sciences Europe	Sustentabilidade	6,0
2023	Mei, Feng e Cavallaro	China	Competências, Transformação digital, Tecnologias digitais e Era digital	Journal of Innovation and Knowledge	Inovação	15,6

2024	Abulibdeh, Zaidan e Abulibdeh	Reino Unido	Inteligência Artificial; Educação e Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS)	Journal of Cleaner Production	Educação e sustentabilidade	8,3
2024	González, Gorgoso e a Queiruga	Espanha	agenda 2030, competências profissionais e educação 5.0	Educar	Educação	1,1
2024	Boltsi, kalovrektis, xenakis e chaikalis	EUA	Tecnologias educacionais, 5G, Indústria 4.0, e IoT	IEEE Explore	Educação	3,6
2024	Azofeifa, Rueda-Castro, Zuñiga e Caratozzolo	México	Indústria 4.0, ensino superior, competências para o futuro, inteligência artificial	Educational Forum	Educação	4,5
2024	Akhtar, Ashraf, Moazzam e Khan	Reino Unido	Habilidades; Análise de Big Data e Indústria 4.0	International Journal of Management Education	Educação em Gestão	6,0
2024	Ariansyah, Pardamean, Bárbaro e Erkoyuncu	Reino Unido	Realidade Aumentada, Aprendizagem, Treinamento, Indústria 4.0	CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology	Educação e Tecnologia	4,6
2024	Nwaogu, Yang e Wang	EUA	desenvolvimento de habilidades; força de trabalho e treinamento	Buildings	Gestão da Construção	3,1
2024	Al-Maskari, Al Riyami e Ghnimi	Omã	Estrutura, quarta revolução industrial, Instituições de ensino superior	Journal of Applied Research in Higher Education	Educação Superior	1,9
2025	Cretu, Banta, Serban e Barna	Romênia	Inteligência artificial, negócios, competências e educação	Systems Research and Behavioral Science	Negócios, Economia e Educação	1,8
2025	Cedillo, Rodríguez, Ávila, Sánchez e Martínez	México	Indústria 5.0, Educação 5.0, Sociedade 5.0, Estudante 5.0	Engineering Education	Educação em Engenharia	3,9

Fonte: Esta Pesquisa (2025).

Ao analisar a distribuição dos artigos publicados por país, observa-se uma concentração significativa da produção científica na América Central e na Europa, conforme apresentado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Quantidade de Artigos Publicados por País.



Fonte: Esta Pesquisa (2025).

Destaque para o México, que lidera o número de publicações, seguido pela Espanha e pelo Reino Unido. Esse padrão de distribuição evidencia o investimento desses países em pesquisas voltadas ao desenvolvimento de competências alinhadas à Sustentabilidade 4.0, refletindo a preocupação com a formação de profissionais aptos a enfrentar os desafios da quarta revolução industrial. A Figura 3 teve como objetivo organizar todas as palavras encontradas nos 24 artigos incluídos na WOS em uma nuvem de palavras.

Figura 3 – Nuvem de Palavras-chave do artigo.



Fonte: Esta Pesquisa (2025).

Dessa forma, é possível visualizar as principais expressões que chamam atenção para o tema: Gestão, Inovação, Currículo, Desafios, Internet, big data, Indústria 4.0, Inteligência Artificial, projeto, Habilidades e Competências. Outros pontos que tiveram pouca recorrência, mas que também se vincularam ao estudo são: comportamento, experimentação, ensino superior, fábricas e funcionários.

A concentração de termos como "Gestão", "Inovação", "Habilidades" e "Competências" no centro da nuvem de palavras evidencia o foco central do estudo: identificar as capacidades essenciais para o desenvolvimento do trabalho no contexto da Indústria 4.0. Paralelamente, a presença marcante de expressões como "Indústria 4.0", "Inteligência Artificial", "Internet" e "Big Data" demonstra a forte associação do tema com as tecnologias emergentes. Isso sugere que as competências profissionais requeridas estão diretamente vinculadas ao domínio técnico dessas ferramentas digitais, bem como à capacidade de aplicá-las estrategicamente e adaptar-se continuamente às transformações tecnológicas do setor.

4.2 Análise narrativa

Após a identificação dos 24 estudos selecionados, foi realizado uma análise narrativa. Os destaques podem ser vistos a partir do Quadro 5, que demonstra sistematicamente as tecnologias habilitadoras da I4.0 por cada um dos 24 artigos, a dimensão de impacto para a sustentabilidade e a habilidade que é requerida para o futuro profissional.

Quadro 5 – Habilidades em tecnologias e impacto nas dimensões de sustentabilidade.

Referência	Tecnologia Habilitadora	Dimensão Impactada	Habilidade Requerida
Alvarez e Torres (2021)	Inteligência artificial (IA, Big data e Internet das Coisas (IoT)	Econômico/social	Operar técnicas de engenharia, como educação em STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática).
Arcelay <i>et al.</i> (2021)	Computação em Nuvem, Cibersegurança e Realidade Aumentada (RA)	Econômico/ambiental	Programar computadores, conhecimento matemático avançado, gerenciamento de dados, software técnico, cibersegurança e manutenção preditiva/proativa.
Spöttl e Windelband (2021)	Internet das Coisas (IoT), Digitalização e Sistemas Ciberfísicos (SFC/CPS)	Ambiental/social	Analisar dados baseados em software, realizar pequenas modificações, analisar mensagens estatísticas.

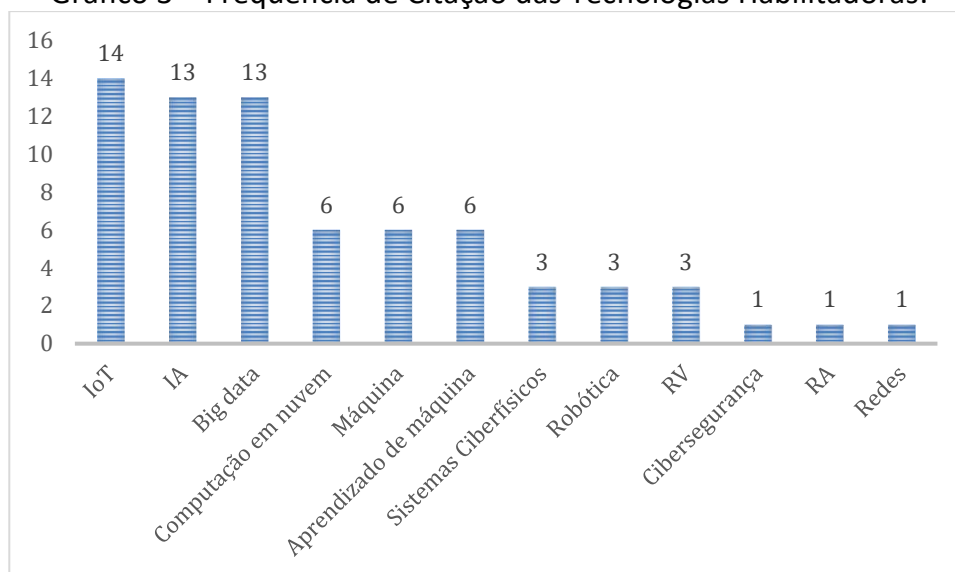
Mancilla <i>et al.</i> (2021)	Redes (Networking), Computação em Nuvem	Econômico/social	Acessar, monitorar e visualizar dados.
Bartusevičienė e Valionienė (2021)	Inteligência Artificial (IA), Algoritmos de Aprendizado de Máquina (Machine Learning)	Econômico/social	Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados.
López <i>et al.</i> (2022)	Sistemas Ciberfísicos (CPS), Internet das Coisas (IoT), Big Data	Ambiental/social	Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados, coletar, processar em engenharia de dados
Pérez e Montoya (2022)	inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (ML) e robótica	Econômico/social	Capacidade de pesquisar, projetar, criar e implementar novas tecnologias.
Smaldone <i>et al.</i> (2022)	robótica, computação em nuvem e inteligência artificial	Ambiental/social	Conhecer de ciência de dados, uso de software e equipamentos específicos, formas de trabalho sistemático com dados, desenvolvimento/programação de software.
Sharma <i>et al.</i> (2022)	Inteligência artificial (IA, Big data e Internet das Coisas (IoT)	Econômico/social	Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados.
Jiménez <i>et al.</i> (2023)	Computação em Nuvem, Internet das Coisas (IoT), Big Data	Econômico/ambiental	Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados.
Szabó <i>et al.</i> (2023)	Internet das Coisas (IoT), Big Data e Sistemas Ciberfísicos (CPS)	Econômico/ambiental	Conhecer de ciência de dados, uso de software e equipamentos específicos, formas de trabalho sistemático com dados, desenvolvimento/programação de software.
Saniuk, Caganova e Saniuk (2023)	Inteligência artificial (IA, Big data e Internet das Coisas (IoT)	Econômico/social	Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados e Acessar, monitorar e visualizar dados.
Akyazi <i>et al.</i> (2023)	Digitalização, Big Data e Internet das Coisas (IoT)	Econômico/ambiental	otimizar sistemas e análise e monitoramento de processos, coleta e análise de dados, gestão de processos, sistemas e equipamentos
Mei, Feng e Cavallaro (2023)	Computação em Nuvem, Internet das Coisas (IoT), Big Data	Econômico/ambiental	Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados.

Abulibdeh, Zaidan e Abulibdeh (2024)	Digitalização, Big Data e Internet das Coisas (IoT)	Econômico/ambiental	otimizar sistemas e análise e monitoramento de processos, coleta e análise de dados, gestão de processos, sistemas e equipamentos
González, Gorgoso e Queiruga (2024)	Inteligência artificial (IA, Big data e Internet das Coisas (IoT)	Econômico/social	Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados.
Boltsi <i>et al.</i> (2024)	Digitalização, Big Data e Internet das Coisas (IoT)	Econômico/ambiental	otimizar sistemas e análise e monitoramento de processos, coleta e análise de dados, gestão de processos, sistemas e equipamentos.
Azofeifa <i>et al.</i> (2024)	Inteligência Artificial (IA), Realidade Virtual (RV) e Aprendizado de máquina	Econômico/ambiental	otimizar sistemas e análise e monitoramento de processos, coleta e análise de dados, gestão de processos, sistemas e equipamentos.
Akhtar <i>et al.</i> (2024)	Inteligência artificial (IA, Big data e Internet das Coisas (IoT)	Ambiental/social	Conhecer de ciência de dados, uso de software e equipamentos específicos, formas de trabalho sistemático com dados, desenvolvimento/programação de software.
Ariansyah <i>et al.</i> (2024)	Inteligência Artificial (IA), Algoritmos de Aprendizado de Máquina (Machine Learning)	Econômico/ambiental	Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados.
Nwaogu, Yang e Wang (2024)	Inteligência Artificial (IA), Realidade Virtual (RV) e Aprendizado de máquina	Econômico/ambiental	Otimizar sistemas e análise e monitoramento de processos, coleta e análise de dados, gestão de processos, sistemas e equipamentos.
Al-Maskari, Al Riyami e Ghnimi (2024)	Digitalização, Big Data e Internet das Coisas (IoT)	Econômico/ambiental	Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados.
Cretu <i>et al.</i> , (2025)	robótica, computação em nuvem e inteligência artificial	Econômico/ambiental	Otimizar sistemas e análise e monitoramento de processos, coleta e análise de dados, gestão de processos, sistemas e equipamentos.
Cedillo <i>et al.</i> , (2025)	Inteligência Artificial (IA), Realidade Virtual (RV) e Aprendizado de máquina	Econômico/social	Conhecer de ciência de dados, uso de software e equipamentos específicos, formas de trabalho sistemático com dados, desenvolvimento/programação de software.

Fonte: Esta Pesquisa (2025).

Pelos dados do Quadro 5, que se concentra mais diretamente nas competências técnicas e digitais diretamente ligadas às "tecnologias habilitadoras" reforça a urgência de reformar os currículos acadêmicos e programas de formação profissional, fica claro que as instituições de ensino precisam capacitar os futuros profissionais com um forte domínio da ciência de dados, programação e a aplicação prática de tecnologias avançadas para otimizar sistemas e processos. A partir das informações, o Gráfico 3 destaca a frequência de citação (quantas vezes aparece por artigo) das principais tecnologias habilitadoras identificadas nos periódicos selecionados.

Gráfico 3 – Frequência de Citação das Tecnologias Habilitadoras.



Fonte: Esta Pesquisa (2025).

Os dados mostram que Internet das Coisas (IoT) com 14 menções, e a Inteligência Artificial (IA) e Big data, ambas com 13 citações, indicam claramente que essas três tecnologias são consideradas os pilares centrais e mais relevantes para o desenvolvimento do trabalho na era da Sustentabilidade 4.0, sendo fundamentais para a automação inteligente, otimização de processos, coleta e análise de dados, e tomada de decisões.

Na análise descritiva, é possível notar que existe uma distribuição interessante da produção científica entre os países, conforme demonstrado no Gráfico 1. O México lidera a lista de publicações, seguido pela Espanha. Isso sugere que esses países estão investindo significativamente em pesquisa e desenvolvimento de habilidades para a sustentabilidade 4.0, o que pode ser um indicativo de sua preocupação com a formação de profissionais capacitados para lidar com os desafios da quarta revolução industrial (Jiménez *et al.*, 2023).

Outro ponto para essa discussão é a presença de países como a China, Itália e Alemanha, considerando a importância desses países na economia global e sua capacidade de influenciar a agenda de desenvolvimento sustentável. A Alemanha, em particular, é conhecida por sua ênfase na indústria 4.0 e na sustentabilidade, o que pode explicar sua presença na lista. Já a Índia, com sua grande população e economia em crescimento, pode estar investindo em pesquisa e desenvolvimento de habilidades para a sustentabilidade 4.0 como uma forma de se preparar para os desafios futuros (Al-Maskari; Al Riyami; Ghnimi, 2024).

Ao revisar os resumos dos 24 artigos selecionados, observa-se que 20 deles enfatizam, de diferentes formas, a relevância e a necessidade de habilidades de natureza técnica, digital e em tecnologia da informação, entre outras, diretamente associadas às tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Os demais estudos abordam temáticas correlatas, porém distintas, como competências voltadas a aplicações específicas no campo da sustentabilidade (SI/EE), o conceito ampliado de aprendizagem ao longo da vida ou, ainda, o uso das próprias tecnologias digitais como recursos para potencializar os processos educacionais e de formação profissional. Com base nos resultados da leitura e análise desses periódicos, as habilidades identificadas e sistematizadas no Quadro 6 foram propostas, buscando, assim, responder à problemática que orienta este estudo.

Quadro 6: Habilidades Necessárias para o Desenvolvimento do Trabalho na Era da S4.0

Habilidade Requerida
HAB01. Operar técnicas de engenharia, como educação em STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática).
HAB02. Programar computadores, conhecimento matemático avançado, gerenciamento de dados, software técnico, cibersegurança e manutenção preditiva/proativa.
HAB03. Analisar dados baseados em software, realizar pequenas modificações, analisar mensagens estatísticas.
HAB04. Acessar, monitorar e visualizar dados.
HAB05. Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados.
HAB06. Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados, coletar, processar em engenharia de dados.
HAB07. Capacidade de pesquisar, projetar, criar e implementar novas tecnologias.
HAB08. Conhecer de ciência de dados, uso de software e equipamentos específicos, formas de trabalho sistemático com dados, desenvolvimento/programação de software.
HAB09. Capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados e Acessar, monitorar e visualizar dados.
HAB10. Otimizar sistemas e análise e monitoramento de processos, coleta e análise de dados, gestão de processos, sistemas e equipamentos.

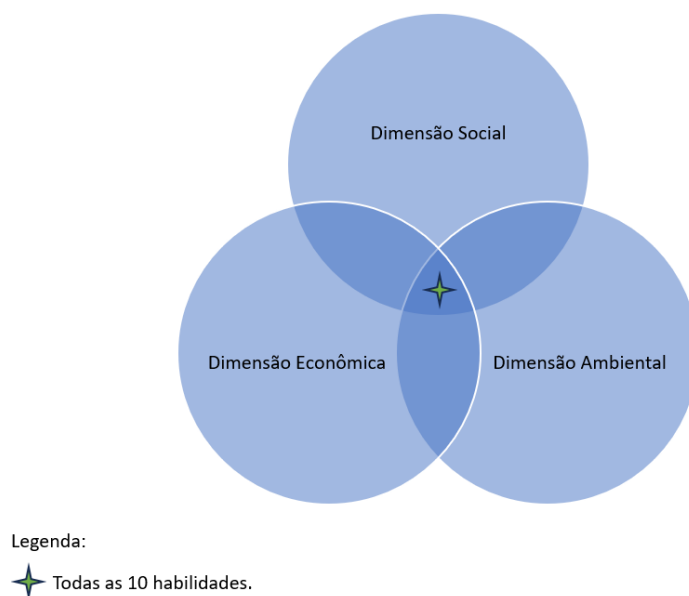
Fonte: Esta Pesquisa (2025).

O Quadro 6 destaca que a partir dos resultados obtidos, observa-se que as habilidades identificadas não se restringem a exigências externas do mercado de trabalho, mas configuram-se como competências inerentes aos discentes no contexto da Sustentabilidade 4.0 englobando dimensões técnicas, digitais e socioemocionais, que podem e devem ser desenvolvidas ao longo da formação educacional, evidenciando o papel central da educação na constituição de sujeitos críticos.

Os resultados também indicam que a aplicação dessas habilidades discutidas se concentra majoritariamente no contexto do ensino superior e da formação profissional, especialmente em áreas vinculadas às engenharias e matemática. Observa-se uma ampliação dessas habilidades para a educação básica, principalmente no que se refere às competências socioemocionais, cognitivas e digitais, elas dialogam diretamente com as competências gerais previstas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), sobretudo no que se refere ao pensamento crítico, cultura digital, resolução de problemas, colaboração e projeto de vida.

A Figura 4 procura demonstrar como estas habilidades estão diretamente relacionadas às dimensões da sustentabilidade.

Figura 4 – Relação Habilidades x Dimensões de Sustentabilidade.



Fonte: Esta Pesquisa (2025).

Sendo assim, observa-se uma forte interconexão entre as três dimensões, refletida na sobreposição de todas as habilidades em mais de uma dimensão. Isso indica que os desafios contemporâneos exigem uma atuação integrada, onde competências técnicas, socioemocionais e

ambientais caminham juntas. Assim, a principal conclusão é que a formação e o desempenho dos profissionais sustentáveis devem estar pautados em uma visão sistêmica, ética e colaborativa, capazes de promover soluções inovadoras que atendam simultaneamente às necessidades sociais, econômicas e ecológicas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A era da S4.0 é definida pela integração de tecnologias avançadas e práticas sustentáveis nas dimensões econômica, social e ambiental em todos os setores da economia. Nesse contexto, a pesquisa enfatizou que as habilidades dos profissionais são fundamentais para o sucesso das organizações.

O estudo buscou identificar quais são essas habilidades essenciais para o desenvolvimento do trabalho, revelando que elas abrangem uma combinação crucial de competências técnicas, socioemocionais e específicas para a sustentabilidade. Esta combinação permite que os profissionais criem soluções inovadoras e responsáveis, garantindo a competitividade e resiliência das organizações, ao mesmo tempo em que contribuem para a mitigação de impactos ambientais e sociais negativos.

Um ponto central destacado pelos artigos analisados é a necessidade imperativa de transformação na educação e formação profissional para preparar os indivíduos para as novas demandas da S4. Isso vai além da simples transmissão de conhecimento técnico, exigindo que os currículos incluam habilidades como pensamento crítico, resolução de problemas e criatividade.

A capacidade de "aprender a aprender" emerge como uma competência vital, permitindo que os alunos se adaptem às novas tecnologias e às constantes mudanças do mercado de trabalho. A colaboração entre instituições de ensino e o setor de tecnologia é, portanto, crucial para desenvolver um ecossistema educacional que atenda a essas exigências, utilizando métodos de ensino inovadores que aproveitem ao máximo as possibilidades da Tecnologia da Informação.

As descobertas da revisão sistemática da literatura revelaram consistentemente a necessidade de habilidades digitais e técnicas específicas, como a capacidade de interpretar e analisar grandes quantidades de dados, proficiência em ciência de dados, programação, uso de software e equipamentos específicos, além de conhecimento em cibersegurança e gerenciamento de dados.

Embora esta revisão sistemática tenha identificado as habilidades essenciais para o desenvolvimento do trabalho na era da Sustentabilidade 4.0, algumas lacunas e oportunidades de pesquisa emergiram ao longo do estudo, abrindo caminhos relevantes para investigações futuras. Nesse sentido, questiona-se: como as diferentes regiões geográficas, especialmente os países em desenvolvimento, podem adaptar essas competências às suas realidades socioeconômicas e culturais específicas? De que forma as metodologias pedagógicas podem ser efetivamente redesenhadas para integrar simultaneamente competências técnicas e socioemocionais no contexto educacional brasileiro?

Adicionalmente, permanece em aberto a investigação sobre quais estratégias de capacitação continuada são mais eficazes para profissionais já inseridos no mercado de trabalho que necessitam desenvolver as habilidades demandadas pela S4.0. Outra questão relevante diz respeito ao impacto longitudinal dessas competências: qual a relação entre o desenvolvimento dessas habilidades e o desempenho profissional sustentável a longo prazo? Por fim, sugere-se a realização de estudos empíricos que investiguem a aplicação prática dessas competências em diferentes setores produtivos, bem como pesquisas que analisem as barreiras e facilitadores para a implementação de programas formativos alinhados à Sustentabilidade 4.0 em diferentes níveis educacionais. Tais questionamentos reforçam a necessidade de aprofundamento científico contínuo sobre o tema, evidenciando que este campo de estudo permanece fértil e demanda investigações multidisciplinares que possam orientar políticas públicas educacionais e estratégias organizacionais mais efetivas e contextualizadas.

REFERÊNCIAS

ABULIBDEH, A.; ZAIDAN, E.; ABULIBDEH, R. Navigating the confluence of artificial intelligence and education for sustainable development in the era of industry 4.0: challenges, opportunities, and ethical dimensions. **Journal of Cleaner Production**, v. 437, n.01, p. 140527, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140527>.

AKHTAR, P. et al. The interdisciplinary curriculum alignment to enhance graduates' employability and universities' sustainability. **The International Journal of Management Education**, v. 22, n. 3, p. 101037, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijme.2024.101037>.

AKYAZI, T. et al. Identifying competency requirements related to industrial symbiosis and energy efficiency for the European process industry. **Environmental Sciences Europe**, v. 35, p. 54, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s12302-023-00762-z>.

AL-MASKARI, A.; AL RIYAMI, T.; GHNIMI, S. Factors affecting students' preparedness for the Fourth Industrial Revolution in higher education institutions. **Journal of Applied Research in Higher Education**, v. 16, n. 1, p. 246–264, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/JARHE-05-2022-0169>.

ALVAREZ, E. A.; TORRES, C. A. Competitividade tecnológica e tecnologias emergentes na Indústria 4.0 e na Indústria 5.0. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, n. 1, e20191290, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765202120191290>.

ARCELAY, I. et al. Defining future skills needs for job profiles in the renewable energy sector. **Energies**, v. 14, n. 9, p. 2609, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/en14092609>.

ARIANSYAH, D. et al. Augmented reality training for improved learnability. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 48, p. 19–27, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.11.003>.

AZEVEDO, P. E. O. de; AGUIAR JUNIOR, E. A. de. Análise de possíveis impactos da Indústria 4.0 na sustentabilidade ambiental. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 1, p. 1-19, 2023. Disponível em: <https://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/2144/1475>. Acesso em: 29 set. 2025.

AZOFEIFA, J. D. et al. Future skills for Industry 4.0 integration and innovative learning for continuing engineering education. **Frontiers in Education**, v. 9, e1412018, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1412018>.

BAG, S.; GUPTA, S.; KUMAR, S. Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development. **International Journal of Production Economics**, v. 231, p. 107844, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844>.

BARTUSEVIČIENĖ, I.; VALIONIENĖ, E. An Integrative Approach for Digitalization Challenges of the Future Maritime Specialists: A Case Study of the Lithuanian Maritime Academy. **TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation**, v. 15, n. 2, p. 04-26, 2021. DOI: <https://doi.org/10.12716/1001.15.02.11>.

BOLTSI, A. et al. Digital Tools, Technologies, and Learning Methodologies for Education 4.0 Frameworks: A STEM Oriented Survey. **IEEE Access**, v. 12, p. 141741, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3355282>.

CARVALHO, A. D. P.; ZARELLI, P. R.; DALAROSA, B. M.; VIEIRA, A. M. A relação da Indústria 4.0 com a sustentabilidade: uma revisão. **Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial**, [S. l.], v. 15, n. 1, 2022. DOI: 10.18624/etech.v15i1.1197.

CREȚU, R.-F.; ȚȚUI, D.; BANȚA, V.-C.; ȘERBAN, E. C.; BARNĂ, L.-E.-L.; CREȚU, R.-C. Skills and competencies needed to use the smart technologies for Industry 4.0. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 0, n. 1, p. 1-12, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1002/sres.3144>.

DA SILVA, A. D. O. F.; BRUNO, D. R. Produção mais limpa: contribuições da Indústria 4.0 para a sustentabilidade: uma análise crítica. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, SP, v. 20, n. 2, p.

634–644, 2023. DOI: [10.31510/infa.v20i2.1798](https://doi.org/10.31510/infa.v20i2.1798). Disponível em: https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/pt_BR/article/view/1798. Acesso em: 29 set. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1412018>.

ELKINGTON, J. Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. **Oxford: Capstone Publishing**, 1997.

FARIAS, V. S. de. Educação ambiental e práticas ambientais na Era 4.0: desafios e oportunidades para as indústrias. **Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável**, [S. l.], v. 2, n. 7, 2023. DOI: [10.17271/rtgs.v2i7.4640](https://doi.org/10.17271/rtgs.v2i7.4640). Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rtgs/article/view/4640>. Acesso em: 29 set. 2025.

FERREIRA, E. de S.; SOUZA, F. G. de; CASTRO, A. R. A. de; ROBERTO, J. C. A.; ALMEIDA, V. da S. Capacitação de mão de obra para a logística 4.0 no Brasil: uma revisão de literatura sobre lacunas de habilidades e propostas de formação profissional. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, [S. l.], v. 17, n. 7, p. e8924, 2025. DOI: [10.55905/cuadv17n7-073](https://doi.org/10.55905/cuadv17n7-073). Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/8924>. Acesso em: 29 set. 2025.

GERMANO, A. X. D. S.; MELLO, J. A. V. B.; MOTTA, W. H. Contribuição das tecnologias da Indústria 4.0 para a sustentabilidade: uma revisão sistemática. **Palavra Chave**, v. 11, n. 1, p. 142-142, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24215/18539912e142>.

GIESENBAUER, B.; MÜLLER-CHRIST, G. University 4.0: promoting the transformation of higher education institutions towards sustainable development. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3371, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12083371>.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOMES, P. et al. Artificial intelligence-based methods for business processes: a systematic literature review. **Applied Sciences**, v. 12, n. 5, p. 2314, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12052314>.

GONZÁLEZ, P.; GORGOSO, M. C.; QUEIRUGA, O. El aprendizaje a lo largo de la vida como respuesta a los desafíos de la revolución 5.0 rumbo a 2030. **Educar**, v. 60, n. 2, p. 305–319, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/educar.2054>.

GOUDA, M. A. Sustainability in higher education: digital transformation of the fourth industrial revolution and its impact on open knowledge. **Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 2473, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15032473>.

JIMÉNEZ, J.-R. et al. Continuous vocational training in response to the challenge of industry 4.0: Required skills and business results. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 16, n. 2, p. 319-341, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3926/jiem.4665>.

KIM, V. N. P.; CONTI, D. de M.; SANTIBAÑEZ GONZALEZ, E. D. R.; SILVA, L. F. da. A inter-relação entre Indústria 4.0 e economia circular: revisão sistemática da literatura. **Revista Gestão &**

Tecnologia, [S. l.], v. 22, n. 4, p. 277–303, 2023. DOI: 10.20397/2177-6652/2022.v22i4.2246. Disponível em: <https://revistagt.fpl.emnuvens.com.br/get/article/view/2246>. Acesso em: 29 set. 2025.

LIBERATI, A. et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 62, n. 10, e1–34, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>.

LIU, X. et al. A systematic review and meta-analysis of the prevalence and risk factors of depression in type 2 diabetes patients in China. **Frontiers in Medicine**, v. 9, p. 759499, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.759499>.

LÓPEZ, E. J. et al. Technical considerations for the conformation of specific competences in mechatronic engineers in the context of industry 4.0 and 5.0. **Processes**, vol. 10, n.º 8, p. 1445, 2022. DOI: doi.org/10.3390/pr10081445

MAGNAGO, W. et al. Education 4.0: the role of technology and artificial intelligence in the future of learning. **Proceedings New Science Publishers** | Editora Impacto, v. 1, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56238/I-CIM-006>.

MANCILLA, M. A. et al. Educational Mechatronics and Internet of Things: A Case Study on Dynamic Systems Using MEIoT Weather Station. **Sensores**, v. 21, n. 1, p. 181, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21010181>.

MARACAJÁ, K. F. B.; OLIVEIRA, B. R. S. de. Indústria 4.0 e sustentabilidade: um estudo de caso sobre o processo de reciclagem de paletes de uma grande empresa em Campina Grande - PB. **Revista Qualitas**, v. 21, n. 2, p. 1-22, maio/ago. 2020. DOI: 10.18391/req.v21i2.5624.

MEI, L.; FENG, X.; CAVALLARO, F. Evaluate and identify the competencies of the future workforce for digital technologies implementation in higher education. **Journal of Innovation & Knowledge**, v. 8, n. 4, p. 100445, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100445>.

Mukul, E.; Büyüközkan, G. Digital transformation in education: a systematic review of education 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 194, p. 122664, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122664>

NORONHA, M. E. S. de; SILVA, R. S. V.; RODRIGUES, J. C.; VALENTE, L. L. F.; SOUZA, L. J. Sustentabilidade 4.0. **Journal of Urban Technology and Sustainability**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. e51, 2022. DOI: 10.47842/juts.v5i1.51. Disponível em: <https://journaluts.emnuvens.com.br/journaluts/article/view/51>. Acesso em: 29 set. 2025.

NUNHES, T.; GARCIA, E. V.; ESPUNY, M.; SANTOS, V. H. de M.; ISAKSSON, R.; OLIVEIRA, O. J. de. Where to go with corporate sustainability? Opening paths for sustainable businesses through the collaboration between universities, governments, and organizations. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1429, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031429>.

NWAOGU, J. M. et al. Enhancing Drone Operator Competence in the Construction Industry: Assessing Training Needs and the Roadmap for Skills Development. **Buildings**, v. 14, n. 4, p. 1153, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14041153>.

OLÁH, J.; ABURUMMAN, N.; POPP, J.; KHAN, M. A.; HADDAD, H.; KITUKUTHA, N. Impacto da Indústria 4.0 na sustentabilidade ambiental. **Sustainability**, v. 12, n. 11, p. 4674, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12114674>.

PÉREZ, L. I.; MONTOYA, M. S. Components of Education 4.0 in 21st Century Skills Frameworks: Systematic Review. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1493, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14031493>.

PISTORI, E. M. L.; NETO, M. M. Agricultura 4.0: transformação digital na cadeia produtiva para eficiência e sustentabilidade no setor agroindustrial. **Aracê**, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 13579–13603, 2024. DOI: 10.56238/arev6n4-153. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/2098>. Acesso em: 29 set. 2025.

RAMÍREZ-CEDILLO, E.; ARMENDÁRIZ-RODRÍGUEZ, M.; GARCÍA-ÁVILA, J.; QUINTERO-SÁNCHEZ, D.; ORTIZ-ESPINOZA, A. A.; VARGAS-MARTÍNEZ, A. Student 5.0: immersive learning in next-gen automation of manufacturing systems courses for the Industry 5.0 era. **Frontiers in Education**, v. 10, p. 1416761, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1416761>.

REIS, J. S. da M.; ESPUNY, M.; CARDOSO, R. P.; SAMPAIO, N. A. de S.; BARROS, J. G. M. de; BARBOSA, L. C. F. M.; OLIVEIRA, O. J. de. Mapping sustainability 4.0: contributions and limits of the symbiosis. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 1426–1438, 2022. DOI: 10.7769/gesec.v13i3.1417. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/1417>. Acesso em: 29 set. 2025.

RODRIGUES, L. D. S. G.; SENNA, P.; MARUJO, L. G. Estratégia omnichannel na perspectiva da economia circular: uma estrutura conceitual. **Journal of Urban Technology and Sustainability**, v. 5, n. 1, p. e50, 2022. DOI: <https://doi.org/10.47842/juts.v5i1.50>.

SANIUK, S.; CAGANOVA, D.; SANIUK, A. Knowledge and Skills of Industrial Employees and Managerial Staff for the Industry 4.0 Implementation. **Mobile Networks and Applications**, v. 28, p. 220–230, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11036-021-01788-4>.

SANTOS, A. de M.; BECKER, A. M.; AYALA, N. F.; SANT'ANNA, Â. M. O. Industry 4.0 as an enabler of sustainability for small and medium enterprises. **Academia Revista Latinoamericana de Administración**, v. 34, n. 2, p. 120-135, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/ARLA-07-2023-0118>.

SHARMA, M. et al. Analyzing the impact of sustainable human resource management practices and the adoption of Industry 4.0 technologies on employability skills. **International Journal of Manpower**, v. 43, n. 2, p. 463–485, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJM-02-2021-0085>

SHEIKH, R. A.; ABDALKRIM, G. M.; SHEHAWY, Y. M. Assessing the impact of business simulation as a teaching method for developing 21st century future skills. **Journal of International Education in Business**, v. 16, n. 3, p. 351–370, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1108/JIEB-11-2022-0085>.

SMALDONE, F. et al. Employability skills: profiling data scientists in the digital labour market. **European Management Journal**, v. 40, n. 5, p. 671–684, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.emj.2022.05.005>.

SOUZA, J. B. de; OLIVEIRA JÚNIOR, N. J. de; MADURO, M. R.; LIMA, O. P. de. Impactos da Indústria 4.0 na sustentabilidade no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S. l.], v. 15, n. 6, p. e3937, 2024. DOI: 10.7769/gesec.v15i6.3937. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/3937>. Acesso em: 29 set. 2025.

SPÖTTL, G.; WINDELBAND, L. The 4th industrial revolution – its impact on vocational skills. **Journal of Education and Work**, v. 34, n. 1, p. 29–52, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/13639080.2020.1858230>

SZABÓ, P. et al. Change of Competences in the Context of Industry 4.0 Implementation. **Applied Sciences**, v. 13, n. 14, p. 8547, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13148547>

TORTORELLA, G. L.; FRANK, A. G.; MATTHIENSEN, A.; GOMES, L. A. V. Industry 4.0 skills gap in manufacturing companies: a framework for the development of capabilities. **International Journal of Production Economics**, v. 236, p. 108121, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108121>.

UNESCO. **Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives**. Paris: UNESCO, 2017.

ZANCUL, E. S. et al. Competências para a Indústria 4.0: perspectivas do setor produtivo brasileiro. **Revista Produção Online**, v. 21, n. 2, p. 562–586, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i2.4170>.

AUTORES E CONTRIBUIÇÕES

Alex Martins da Silva: Mestrando em Gestão do Desenvolvimento Local Sustentável. Afiliação: Universidade de Pernambuco (UPE). Contato: alex.msilva@upe.br. Contribuição no artigo (Taxonomia CRediT): Conceitualização, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Recursos, Software/programas de computador, Validação, Visualização, Escrita - esboço original e Escrita - revisão e edição.

Fagner José Coutinho de Melo: Doutorado em Engenharia de Produção. Afiliação: Universidade de Pernambuco (UPE). Contato: fagner.melo@upe.br. Contribuição no artigo (Taxonomia CRediT): Conceitualização, Curadoria de dados, Análise formal, Aquisição de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Recursos, Supervisão, Software/programas de computador, Validação, Visualização, Escrita - esboço original e Escrita - revisão e edição.

Djalma Silva Guimarães Junior: Doutorado em Engenharia de Produção. Afiliação: Universidade de Pernambuco (UPE). Contato: djalma.guimaraes@upe.br. Contribuição no artigo (Taxonomia CRediT): Metodologia, Recursos, Validação, Visualização e Escrita - revisão e edição.



Eryka Fernanda Miranda Sobral: Doutorado em Economia. Afiliação: Universidade de Pernambuco (UPE). Contato: eryka.sobral@upe.br. Contribuição no artigo (Taxonomia CRediT): Metodologia, Recursos, Validação, Visualização e Escrita - revisão e edição.

Luiz Edmundo Celso Borba: Doutorado em Direito. Afiliação: Universidade de Pernambuco (UPE). Contato: luiz.borba@upe.br. Contribuição no artigo (Taxonomia CRediT): Metodologia, Recursos, Validação, Visualização e Escrita - revisão e edição.

EDITORES RESPONSÁVEIS

Geovany Pachelly Galdino Dantas. Editor-Chefe. Afiliação: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Contato: geovany.dantas@ifrn.edu.br.

Andrey Luna Saboia. Editor de Seção. Afiliação: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Contato: andrey.saboia@ifrn.edu.br.