ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS TRÊS PILARES FUNDAMENTAIS DA INDÚSTRIA 5.0: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

STRATEGIES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE THREE FUNDAMENTAL PILLARS OF INDUSTRY 5.0: A SYSTEMATIC REVIEW

JONAS GONÇALVES ROSSI
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

FERNANDO JOSÉ BARBIN LAURINDO
USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

JEFFERSON DE SOUZA PINTO
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

Comunicação:
O XIV SINGEP foi realizado em conjunto com a 14th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com a SPARK (Society for Promoting Academic Research and Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS TRÊS PILARES FUNDAMENTAIS DA INDÚSTRIA 5.0: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Objetivo do estudo
Analisar e sintetizar obras clássicas e contemporâneas para oferecer um guia estruturado a gestores e pesquisadores sobre como operacionalizar a centralidade humana, sustentabilidade e resiliência no contexto industrial contemporâneo.

Relevância/originalidade
O trabalho sistematiza estratégias de implementação da Indústria 5.0 que se encontravam dispersas e fragmentadas na literatura acadêmica recente, viabilizando a transição de um modelo puramente tecnocrático para um paradigma de amadurecimento ético.

Metodologia/abordagem
Trata-se de uma revisão sistemática da literatura baseada no protocolo PRISMA 2020. Foram analisadas 29 obras fundamentais, sendo 20 artigos contemporâneos extraídos das bases Scopus e Web of Science triados na plataforma Rayyan.

Principais resultados
A pesquisa propõe um roadmap estratégico de quatro fases: Visão/Alinhamento, Avaliação de Prontidão, Integração Sociotécnica e Escalonamento/Resiliência. A transição exige economia circular e adoção de tecnologias alinhadas às necessidades humanas.

Contribuições teóricas/metodológicas
O estudo integra a teoria clássica de alinhamento estratégico corporativo aos princípios de sustentabilidade e resiliência sistêmica, unificando conceitos interdisciplinares em uma estrutura metodológica coesa para a Indústria 5.0.

Contribuições sociais/para a gestão
Fornece diretrizes aplicáveis a grandes organizações e PMEs (pequenas e médias empresas), promovendo a capacitação do trabalhador como agente criativo, a mitigação de impactos ambientais e infraestruturas adaptáveis contra crises globais.

Palavras-chave: Indústria 5.0, Estratégia de Implementação, Revisão Sistemática

STRATEGIES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE THREE FUNDAMENTAL PILLARS OF INDUSTRY 5.0: A SYSTEMATIC REVIEW

Study purpose
To analyze and synthesize classic and contemporary works to offer a structured guide for managers and researchers on operationalizing human-centricity, sustainability, and resilience in the contemporary industrial context.

Relevance / originality
This study systematizes Industry 5.0 implementation strategies that were dispersed and fragmented in recent academic literature, enabling the transition from a purely technocratic model to a paradigm of ethical maturity.

Methodology / approach
This systematic literature review follows the PRISMA 2020 protocol. It analyzed 29 fundamental works, including 20 contemporary articles extracted from Scopus and Web of Science, screened via the Rayyan platform.

Main results
The research proposes a four-phase strategic roadmap: Vision/Alignment, Readiness Assessment, Socio-technical Integration, and Scaling/Resilience. The transition requires circular economy practices and technology adoption aligned with human needs.

Theoretical / methodological contributions
The study integrates classical corporate strategic alignment theory with sustainability and systemic resilience principles, unifying interdisciplinary concepts into a cohesive methodological framework for Industry 5.0.

Social / management contributions
It provides guidelines applicable to large organizations and SMEs (small and medium-sized enterprises), promoting worker empowerment as creative agents, environmental impact mitigation, and adaptable infrastructures against global crises.

Keywords: Industry 5.0, Implementation Strategy, Systematic Review

ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS TRÊS PILARES FUNDAMENTAIS DA INDÚSTRIA 5.0: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

1 Introdução

A trajetória da indústria global foi marcada por saltos tecnológicos que redefiniram as relações de produção e o papel do ser humano na economia. Desde a primeira revolução industrial focada na mecanização a vapor até a quarta revolução (Indústria 4.0) centrada na digitalização, sistemas ciberfísicos (softwares interagindo com hardwares) e na internet das coisas (IoT – *Internet of things*), o motor principal tem sido o aumento incessante da produtividade e a redução de custos através da automação. No entanto, o sucesso técnico da Indústria 4.0 trouxe desafios significativos e impactos que não podem mais ser ignorados: a desumanização dos processos produtivos em que o ser humano é visto meramente como um supervisor de máquinas ou um custo a ser eliminado, a fragilidade extrema de cadeias de suprimentos globais revelada por crises sanitárias e geopolíticas, e um impacto ecológico que ameaça a viabilidade climática do planeta. Neste cenário de saturação do modelo puramente tecnocrático, emerge a Indústria 5.0 como um paradigma evolutivo e, acima de tudo, corretivo. Conforme articulado nas obras de Piccarozzi et al. (2024) e Kaswan et al. (2025), a Indústria 5.0 não deve ser vista como uma negação da Indústria 4.0, mas como o seu amadurecimento ético. Ela é sustentada por três pilares fundamentais e interdependentes: centricidade humana (*human-centricity*), sustentabilidade (*sustainability*) e resiliência (*resilience*). Enquanto a Indústria 4.0 perguntava "como podemos produzir de forma mais eficiente?", a Indústria 5.0 pergunta "como podemos produzir de forma que beneficie o trabalhador, preserve o meio ambiente e tenha resistência a crises?". A transição para este novo modelo não é apenas uma atualização de software ou hardware, é uma mudança profunda de estratégia organizacional. A gestão estratégica, tradicionalmente voltada para a criação de vantagem competitiva sustentável (Porter, 2001), enfrenta agora o desafio de integrar métricas de bem-estar social e impacto ambiental no núcleo de suas operações. Carvalho e Laurindo (2007) argumentam que a implementação de estratégias tecnológicas exige um alinhamento fino entre a infraestrutura de TI e a visão de longo prazo da organização. Na Indústria 5.0, este alinhamento (Henderson & Venkatraman, 1993) torna-se o diferencial competitivo: empresas que conseguem harmonizar tecnologia avançada, estrutura organizacional e estratégia com propósito social tendem a atrair melhores talentos e demonstrar maior longevidade. A relevância deste artigo de revisão sistemática reside na necessidade iminente de consolidar e sistematizar as diversas estratégias de implementação que têm surgido de forma fragmentada na literatura acadêmica recente. Diante disso, o objetivo principal deste estudo é analisar e sintetizar as obras clássicas e contemporâneas para oferecer um guia estruturado a gestores e pesquisadores. Para tal, busca-se responder à seguinte questão de pesquisa: Quais são as estratégias e os caminhos práticos para operacionalizar a centralidade humana, a sustentabilidade e a resiliência no contexto industrial contemporâneo? A resposta a esta pergunta requer uma síntese que combine o conhecimento das obras clássicas com as recentes literaturas voltadas para a Indústria 5.0.

2 Referencial Teórico

A fundamentação teórica desta revisão apoia-se na intersecção entre a estratégia organizacional clássica e a transformação digital. Para Michael Porter (2001) a tecnologia da informação e a internet não anularam os princípios básicos da estratégia competitiva, mas tornaram a diferenciação e o posicionamento estratégico ainda mais vitais. Porter alerta que a

facilidade de adotar tecnologias genéricas pode levar a uma 'paridade competitiva' onde todos são eficientes, mas ninguém tem vantagem. Na Indústria 5.0 a verdadeira diferenciação reside na capacidade da empresa em entregar valor ético e sustentável — ativos que são muito mais difíceis de replicar do que um algoritmo de automação. O modelo de Alinhamento Estratégico de Henderson e Venkatraman (1993) fornece a estrutura lógica para esta transformação. Ele propõe quatro domínios que devem estar em equilíbrio: estratégia de negócios (aonde a empresa quer chegar), infraestrutura organizacional (como ela se organiza), estratégia de TI (como a tecnologia apoia a visão) e infraestrutura de TI (as ferramentas específicas). O modelo sugere que o alinhamento não é estático, mas ocorre dinamicamente através de perspectivas que se alternam entre si. Uma das perspectivas é a do "Potencial Competitivo" que se mostra relevante para a Indústria 5.0, onde a estratégia de TI influencia diretamente novos modelos de negócio conforme vemos abaixo:

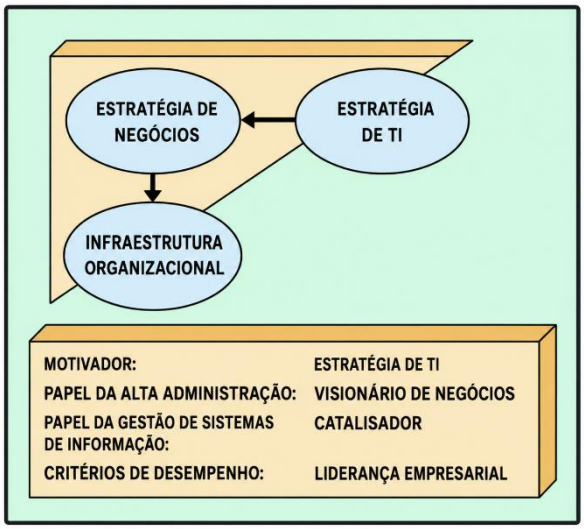


Figura 1. Perspectiva de alinhamento do Potencial Competitivo
Fonte: Adaptado e traduzido de Henderson e Venkatraman (1993)

A Figura 1 ilustra como, na perspectiva "Potencial Competitivo" de Henderson e Venkatraman (1993), a Estratégia de TI é o motor de mudança da organização. O objetivo não é apenas apoiar o negócio, mas criar novas vantagens competitivas através da tecnologia. Neste fluxo de alinhamento a Estratégia de TI influencia a Estratégia de Negócios, que por sua vez molda a Infraestrutura Organizacional. O papel da alta administração atua como visionário de negócios, procurando entender como a tecnologia pode abrir novos mercados ou modelos de produtos. Por sua vez, o gestor de sistemas de informação desempenha o papel de catalisador, identificando e antecipando tendências tecnológicas que impactarão o mercado, sendo primordial a liderança empresarial como um fator de desempenho.

Na transição para a Indústria 5.0, este alinhamento deve ser expandido. A estratégia de negócios agora inclui metas de descarbonização e bem-estar (sustentabilidade), a infraestrutura organizacional deve ser mais horizontal e participativa (centricidade humana), e a infraestrutura de TI deve incorporar Inteligência Artificial (Borges et al., 2021) e Gêmeos Digitais (Tyagi & Tyagi, 2025) que priorizam a transparência e a segurança humana (resiliência). Complementando esta visão, o conceito de 'estratégia como regras simples' de Eisenhardt e Sull (2001) é particularmente relevante em ambientes de alta volatilidade e complexidade como o da Indústria 5.0. Em vez de planos estratégicos rígidos de centenas de páginas, as empresas que prosperam são aquelas que definem diretrizes claras (regras de contorno) que orientam a tomada de decisão rápida. No contexto da Indústria 5.0 essas regras poderiam incluir: 'nenhuma tecnologia deve ser adotada se degradar a ergonomia do

trabalhador' ou 'todo novo processo deve reduzir a pegada de carbono em pelo menos 10%'. Mapear essas estratégias é o próximo passo lógico e mais complexo. Kaplan e Norton (2000) introduziram o *Balanced Scorecard* e os mapas estratégicos para ajudar as empresas a visualizarem como ativos intangíveis (como o conhecimento dos funcionários e a cultura de inovação) criam valor financeiro. Na Indústria 5.0, o mapa estratégico deve ser redesenhado para incluir as perspectivas de sustentabilidade e resiliência como bases fundamentais para a lucratividade a longo prazo. Por fim, a teoria da mudança de ruptura de Christensen e Overdorf (2000) oferece um alerta crítico: as organizações muitas vezes falham em adotar novas revoluções não por incapacidade técnica, mas por rigidez de processos e valores. Os processos que tornaram uma empresa eficiente na Indústria 4.0 podem ser exatamente o que a impede de ser humana na 5.0. Portanto, a implementação estratégica na Indústria 5.0 exige uma corajosa reavaliação da cultura organizacional, movendo-se da visão do trabalhador como um recurso variável para a visão do humano como o núcleo de inteligência criativa da organização.

3 Metodologia

Este trabalho adota a revisão sistemática da literatura como procedimento metodológico. Trata-se de uma abordagem científica rigorosa e estruturada, delineada especificamente para responder a uma pergunta de pesquisa claramente formulada. Conforme explicitado por Page et al. (2021), esse tipo de abordagem diferencia-se das revisões narrativas tradicionais por empregar métodos explícitos e sistemáticos na identificação, seleção, avaliação crítica e síntese dos estudos coletados. O objetivo central dessa estruturação é minimizar vieses no processo de busca e análise, garantindo que o mapeamento do conhecimento seja conduzido de forma objetiva, auditável e fundamentado em critérios de elegibilidade previamente estabelecidos.

Dessa forma, a revisão sistemática serve para consolidar a evidência empírica disponível sobre um determinado tema, integrando resultados de pesquisas independentes para extrair conclusões de maior robustez e poder de generalização. O método cumpre a função essencial de fornecer um panorama confiável do estado da arte, auxiliando na identificação de contradições e lacunas conceituais na literatura, além de orientar o desenvolvimento de novas investigações científicas (Page et al., 2021). Trata-se, portanto, de um instrumento indispensável para a validação do conhecimento existente e para o direcionamento estratégico de futuras pesquisas no campo acadêmico.

Para garantir o rigor metodológico, a transparência e a reprodutibilidade desta revisão sistemática, a pesquisa foi conduzida e estruturada em conformidade com as diretrizes do protocolo PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), tomando como base o referencial teórico estabelecido por Page et al. (2021).

O PRISMA 2020 consiste em uma diretriz de relato (*reporting guideline*) atualizada que substituiu a versão anterior de 2009. Ele foi projetado para refletir os avanços metodológicos na identificação, seleção, avaliação e síntese de estudos científicos (Page et al., 2021). O protocolo tem como finalidade fundamental guiar os autores na estruturação transparente do processo de revisão, permitindo que os leitores avaliem criticamente a validade dos resultados por meio de um checklist de 27 itens e um fluxograma operacional.

A escolha pelo protocolo PRISMA 2020 justifica-se por sua ampla aceitação internacional e pelo reconhecimento de sua eficácia em atenuar vieses de seleção e de publicação. Ao exigir a explicitação detalhada de cada etapa — desde a formulação da estratégia de busca até a extração definitiva dos dados — o protocolo confere auditabilidade ao estudo.

No contexto específico desta pesquisa, que investiga as estratégias para implementação dos três pilares fundamentais da Indústria 5.0 (centralidade humana, sustentabilidade e resiliência), a adoção do PRISMA 2020 é fundamental devido à natureza emergente, complexa e transdisciplinar do tema. Dado que a literatura sobre Indústria 5.0 engloba áreas como engenharia de produção, ciência da computação, gestão estratégica e ciências ambientais, o volume de publicações científicas é vasto e heterogêneo. O PRISMA 2020 atua, portanto, como uma diretriz rigorosa de filtragem, assegurando que o portfólio bibliográfico final seja robusto, focado e livre de subjetividades arbitrárias na inclusão de artigos.

Para fins de transparência e em conformidade com as diretrizes editoriais científicas, declara-se o uso da ferramenta de Inteligência Artificial (IA) Gemini como tecnologia de suporte na etapa de finalização deste manuscrito. A utilização da IA restringiu-se estritamente à revisão gramatical do texto, ao auxílio na formatação das referências de acordo com as normas da *American Psychological Association* (APA) e ao aprimoramento das figuras apresentadas no trabalho. Ressalta-se, contudo, que o delineamento da pesquisa, a seleção e triagem dos artigos via protocolo PRISMA, a extração de dados, a análise crítica dos achados e a validação final de todo o conteúdo intelectual da obra são de inteira e exclusiva responsabilidade dos autores, não havendo delegação de funções analíticas, metodológicas ou de autoria à referida tecnologia.

O referencial teórico deste estudo fundamenta-se em duas vertentes: a literatura clássica sobre tecnologia e estratégia, e produções contemporâneas voltadas aos pilares da Indústria 5.0. Para a seleção destas últimas, adotou-se o protocolo recomendado por Page et al. (2021), operacionalizando a triagem em quatro etapas sequenciais documentadas pelo fluxograma PRISMA 2020:

Identificação: Esta etapa consistiu na busca automatizada nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, realizada entre abril e maio de 2026. Delimitou-se o recorte temporal entre 2021 e 2026 para capturar o estado da arte do tema, justificável pelo recente avanço do conceito de Indústria 5.0 e pela rápida evolução de suas tecnologias de suporte. A consulta foi aplicada aos campos de título, resumo e palavras-chave (*title, abstract, keywords*), empregando-se a seguinte string booleana: ("Industry 5.0") AND ("Human-centricity" OR "Sustainability" OR "Resilience") AND ("Strategy" OR "Implementation" OR "Strategic Alignment"). O levantamento inicial retornou 562 publicações (306 na *Scopus* e 256 na *Web of Science*), um volume expressivo que reitera a relevância e a premência da estratégia organizacional frente a esse novo paradigma. Na sequência, foram aplicados filtros de refinamento nas próprias plataformas para restringir o escopo a artigos científicos (*articles*) vinculados às áreas de gestão e negócios (*Business, Management and Accounting; Decision Sciences; Management; Business; Operations Research Management Science*), resultando em 219 documentos (119 na *Scopus* e 100 na *Web of Science*). Esses documentos foram importados para a plataforma Rayyan, um software em ambiente web e mobile voltado à otimização e semiautomação da análise inicial de revisões sistemáticas (Ouzzanni et al., 2016). O primeiro procedimento consistiu na detecção de redundâncias, mapeando e removendo 47 artigos duplicados, o que resultou em um saldo de 172 registros únicos.

Triagem: Na sequência, realizou-se o exame de títulos e resumos para verificar a aderência dos estudos às perguntas de pesquisa, sendo adotados como critérios de inclusão artigos que discutissem modelos de gestão, alinhamento estratégico ou métricas de desempenho aplicados à Indústria 5.0. Em contrapartida, excluíram-se os trabalhos focados estritamente na Indústria 4.0 (sem articulação com os pilares humano, sustentável ou de resiliência) e produções puramente técnicas, desprovidas de uma camada estratégica organizacional. A aplicação desses critérios culminou na exclusão de 144 artigos que não

abordavam substancialmente as questões de pesquisa, avançando 28 registros remanescentes para a etapa de leitura integral.

Elegibilidade: Os 28 artigos pré-selecionados foram recuperados em texto completo para leitura integral. Aqueles que não respondiam diretamente à questão de pesquisa ou que não apresentavam estratégias práticas de implementação dos pilares da Indústria 5.0 foram excluídos, sendo os motivos da exclusão devidamente registrados e quantificados, conforme exigência do PRISMA 2020 (PAGE et al., 2021). Nesta etapa, após a análise criteriosa do texto integral dos manuscritos, foram identificados e excluídos 8 artigos que não atenderam aos critérios de inclusão delimitados para esta revisão sistemática. Desse total, 1 artigo foi desconsiderado devido a critérios formais de integridade científica por se tratar de um artigo retratado pela revista de origem. Outros 2 trabalhos foram eliminados por apresentarem desvio do escopo conceitual e cronológico, uma vez que limitavam suas discussões a horizontes industriais distintos da pesquisa, focando exclusivamente na consolidação da Indústria 4.0 ou avançando precocemente para a modelagem da Indústria 6.0. Adicionalmente, 2 artigos foram descartados devido à ausência de alinhamento com o framework da Indústria 5.0, englobando abordagens estritamente ambientais ou de comunidades de usuários que não se conectavam com as diretrizes operacionais do ecossistema estudado. Por fim, 3 manuscritos foram excluídos por direcionarem seu foco temático para outras disciplinas, centrando suas análises em aspectos puramente jurídicos de conformidade, estratégias de marketing ou desenvolvimento matemático, sem apresentar contribuições práticas para a implementação da sustentabilidade, resiliência ou centralidade humana.

Inclusão: O conjunto de dados e seleção final incluiu 20 artigos selecionados. Estes foram escolhidos por sua abrangência na temática abordada e na cobertura de tópicos interdisciplinares relevantes para a Indústria 5.0 e implementação de estratégias. Uma descrição do processo de seleção encontra-se resumida na Figura 2.

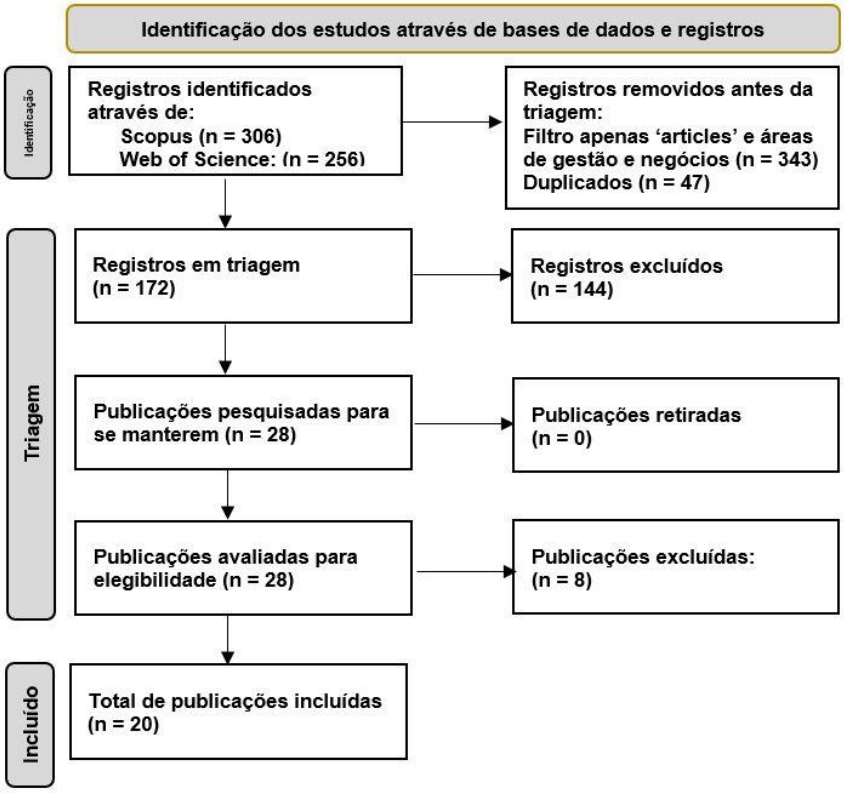


Figura 2. Fluxograma PRISMA
Fonte: Desenvolvido com base em Page et al. (2021)

Para sistematizar o escopo teórico e empírico levantado, as obras do portfólio final foram classificadas conforme sua aderência aos vetores de transformação da Indústria 5.0. A análise temática indica uma abordagem plural na literatura, evidenciando desde investigações concentradas em pilares isolados até proposições que conectam múltiplos eixos operacionais de forma integrada. Refletindo essa dinâmica multidimensional, o Tabela 1 apresenta o mapeamento estruturado dos estudos selecionados, detalhando como cada autor contribui estrategicamente para a operacionalização da Sustentabilidade, da Resiliência e da Centricidade Humana no ambiente industrial contemporâneo.

Tabela 1
Mapeamento estruturado dos estudos selecionados

Referência (Autor, Ano)	Pilares da Indústria 5.0	Contexto da Aplicação
Piccarozzi et al. (2024); Kaswan et al. (2025)	Centricidade Humana, Resiliência, Sustentabilidade	Definem a Indústria 5.0 como uma evolução ética da 4.0, exigindo a integração de métricas sociais e ambientais como base para o amadurecimento tecnológico.
Oeij et al. (2024)	Centricidade Humana	Aborda o empoderamento do trabalhador por meio de sistemas sociotécnicos avançados, reposicionando o operário como um agente criativo.
Pacheco e Iwaszczenko (2024); Poltronieri et al. (2025)	Centricidade Humana	Exploram o 'paradoxo da automação' e exigem interfaces explicáveis (usabilidade cognitiva) para garantir que a IA não aliene o operador.
Jawo et al. (2025); Brückner et al. (2025)	Centricidade Humana	Destacam o aprendizado contínuo e propõem um protótipo para medir a inclusão como indicador de sucesso fabril em processos decisórios.
Bravi et al. (2025)	Centricidade Humana, Resiliência, Sustentabilidade	Analisa a transição em pequenas e médias empresas, indicando que adoções tecnológicas híbridas impulsionadas por liderança humanizada aceleram a resposta a mudanças.
Ivanov (2023, 2025); Dacre et al. (2025)	Centricidade Humana, Resiliência	Mapeiam a resiliência por meio do conceito de viabilidade estrutural e da integração da criatividade humana como a principal defesa corporativa.
Shadravan e Parsaei (2023); Cuevas-Lopez-de-Baro et al. (2025); Kumar et al. (2024)	Centricidade Humana, Resiliência, Sustentabilidade	Estruturam as fases de maturidade digital e prontidão necessárias para operacionalizar a transição prática da Indústria 4.0 para a 5.0.
Beheshtinia et al. (2026); Ghobakhloo et al. (2023); Van Erp et al. (2024)	Sustentabilidade	Estruturam a sustentabilidade sistêmica e inclusiva, onde o impacto ambiental se torna o principal indicador gerencial para a transformação industrial.
Wankhede e Vinodh (2026)	Sustentabilidade	Utilizam métodos multicritério para demonstrar que ferramentas digitais verdes, atreladas a decisões gerenciais internas, trazem resultados ambientais rápidos.
Tyagi e Tyagi (2025); Song et al. (2026)	Resiliência, Sustentabilidade	Aplicam *Digital Twins* (Gêmeos Digitais) para a simulação preditiva de ciclos de vida circulares e reconfiguração de sistemas frente a interrupções.

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

A aplicação criteriosa do protocolo sistemático de busca, triagem e elegibilidade permitiu filtrar o volume inicial de publicações e consolidar um portfólio bibliográfico robusto, consistente e estritamente aderente ao problema de pesquisa. Concluída a etapa metodológica, este capítulo avança do plano operacional para a síntese analítica dos dados,

revelando os caminhos e padrões identificados na literatura recente. Para tanto, as seções subsequentes organizam e discutem os achados a partir de uma análise temática estruturada, articulando a convergência das estratégias organizacionais em torno dos três pilares fundamentais da Indústria 5.0 — centricidade humana, sustentabilidade e resiliência — de modo a explicitar como as organizações podem traduzir as diretrizes conceituais da Indústria 5.0 em estratégias de implementação integradas.

4 Análise dos Resultados e Discussões

O Pilar da Centricidade Humana: do Operário ao Agente Criativo

O pilar da Centricidade Humana (Human-Centricity) representa o redirecionamento da atenção para o fator humano dentro da indústria. Enquanto a Indústria 4.0 focou em como as máquinas poderiam se comunicar entre si (M2M), a Indústria 5.0 foca em como a máquina pode servir ao humano. De acordo com Oeij et al. (2024), a centricidade humana não é apenas sobre segurança no trabalho, mas sobre o empoderamento do trabalhador através de sistemas sociotécnicos avançados (integração entre pessoas e tecnologias para atingir um objetivo comum). Como apontam Oeij et al. (2024), a transição do operário fabril tradicional para um agente criativo e central na Indústria 5.0 exige uma reestruturação profunda nas competências da força de trabalho. Esse ecossistema de desenvolvimento de habilidades pode ser compreendido a partir do modelo conceitual apresentado na Figura 3.

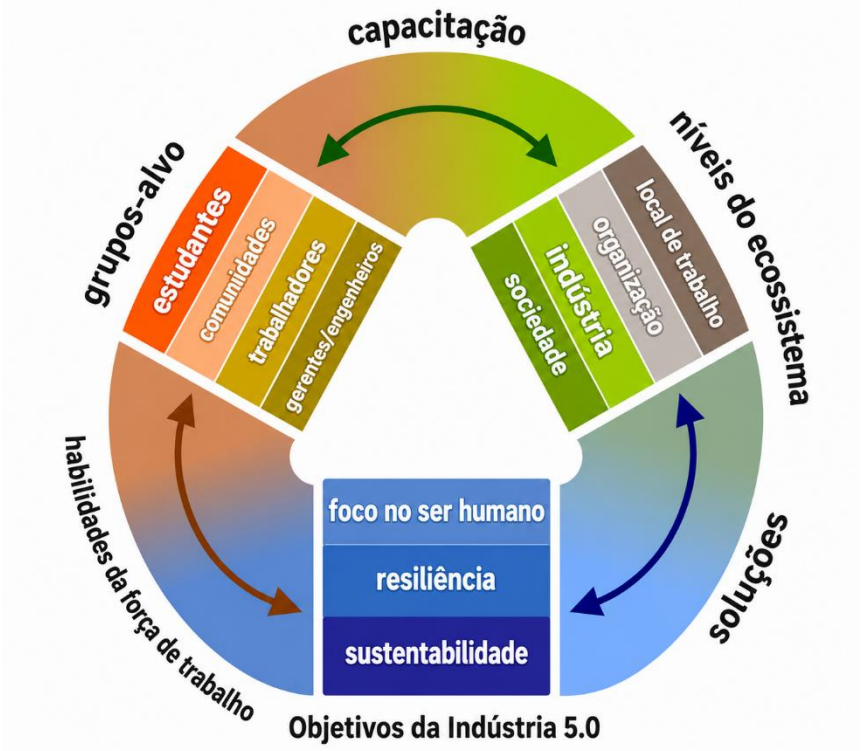


Figura 3. Modelo de framework para habilidades da força de trabalho na Indústria 5.0
Fonte: Adaptado e traduzido de Oeij et al. (2024)

Pacheco e Iwaszczenko (2024) realizaram uma análise profunda das tensões inerentes a este pilar. Eles identificam que o principal obstáculo é o 'paradoxo da automação': quanto mais automatizado um sistema, mais crítico se torna o papel do operador humano quando algo falha, porém menos engajado o humano se sente no dia a dia. A estratégia de resolução proposta envolve o 'trabalho aumentado', onde a tecnologia (como realidade aumentada ou

exoesqueletos) é utilizada para expandir as capacidades humanas, e não para ditar o ritmo do trabalho. Conectado a isso, Poltronieri et al. (2025) sugerem que a prontidão para essa centricidade deve ser avaliada através da usabilidade cognitiva. Isso implica desenhar interfaces de IA que sejam transparentes e explicáveis, evitando a lógica invisível da IA que aliena o trabalhador.

Avançando nessa transição, Jawo et al. (2025) introduzem o conceito de *'mindset tecnopreneurial'* e inovação social. Eles argumentam que a implementação da Indústria 5.0 exige que os trabalhadores operacionais desenvolvam competências de resolução de problemas e pensamento crítico. A estratégia organizacional, portanto, deve migrar do treinamento técnico operacional para a educação continuada (*lifelong learning*) focada em criatividade e ética. Bravi et al. (2025) reforçam que, especialmente em Pequenas e Médias Empresas (PMEs), a adoção híbrida da 4.0 e 5.0 pode melhorar significativamente o engajamento dos funcionários se for acompanhada de uma liderança humanizada. Finalmente, para consolidar esse cenário, Brückner et al. (2025) propõem um indicador global que mede o bem-estar e a inclusão como indicadores de sucesso tão importantes quanto o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

Para transpor esses conceitos teóricos para a realidade fabril, propõem-se três Estratégias Práticas de Implementação:

1. *Design* Participativo: envolver os operadores no design de novos robôs colaborativos (cobots) para garantir que a tecnologia atenda às necessidades reais de ergonomia e fluxo de trabalho.

2. Personalização de Cargos: utilizar a flexibilidade da Indústria 5.0 para adaptar as tarefas às habilidades individuais e limitações dos trabalhadores, promovendo uma força de trabalho inclusiva (diversidade de idade, gênero e habilidades físicas).

3. Sistemas de Apoio à Decisão Ética: implementar ferramentas de IA que não apenas otimizem a produção, mas que alertem sobre potenciais riscos à saúde mental do trabalhador (fadiga, estresse).

O Pilar da Sustentabilidade: Circularidade e Responsabilidade Ética

A sustentabilidade na Indústria 5.0 é uma resposta direta à crise ambiental global e ao esgotamento de recursos. Diferente do '*greenwashing*' ou da simples conformidade legal, a estratégia 5.0 busca a regeneração e a circularidade absoluta. Beheshtinia et al. (2026) propõem um framework estruturado para o que chamam de 'sustentabilidade inclusiva', garantindo que o progresso ambiental não deixe comunidades vulneráveis para trás. Tyagi e Tyagi (2025) destacam os 'fatores de prontidão' para implementar Gêmeos Digitais em cadeias de suprimentos sustentáveis. O Gêmeo Digital atua como uma estratégia instrumental: ele permite simular o ciclo de vida completo de um produto antes mesmo de ele ser fabricado, identificando oportunidades para reciclagem, reuso e redução de consumo energético. Essa abordagem *'digital-first'* para a circularidade é uma das estratégias mais eficazes identificadas nesta revisão. Ghobakhloo et al. (2023) oferecem um *roadmap* estratégico detalhado para a transformação industrial sustentável. Eles dividem as ações em curto, médio e longo prazo, começando pela eficiência energética e evoluindo para modelos de negócio baseados em 'servitização' (Sistemas Produto-Serviço). Nestes modelos, a empresa mantém a propriedade do produto e vende o seu uso, o que cria um incentivo econômico direto para fabricar itens duráveis e fáceis de reparar (Song et al., 2026). Wankhede e Vinodh (2026) utilizam ferramentas de decisão multicritério (MCDM) para analisar os fatores críticos de sucesso na

adoção da sustentabilidade inclusiva. Eles concluem que a 'infraestrutura verde digital' e o 'apoio governamental' são vitais, mas a estratégia interna de 'gerenciamento de resíduos inteligente' é o que gera resultados imediatos. Van Erp et al. (2024) sugerem que as empresas adotem uma 'estratégia de gestão da sustentabilidade sistêmica', onde o impacto ambiental é um KPI (Key Performance Indicator) primário em todas as reuniões de diretoria. Estratégias de Implementação Identificadas:

1. Economia Circular Habilitada por Dados: Utilizar IoT e *Blockchain* para rastrear a origem e o destino de cada componente, garantindo que nada seja descartado de forma inadequada.
2. Eficiência Energética Autônoma: Implementar algoritmos de IA que ajustam o consumo de energia de máquinas e sistemas de climatização em tempo real, baseando-se na demanda produtiva e no custo da energia renovável disponível.
3. Parcerias Estratégicas para o *Eco-Design*: Colaborar com fornecedores e concorrentes para padronizar componentes e facilitar a reciclagem em nível industrial.

O Pilar da Resiliência: Viabilidade e Adaptação em Tempos de Incerteza

A resiliência industrial, no contexto da Indústria 5.0, evoluiu do conceito de 'recuperação de desastres' para o de 'adaptabilidade sistêmica'. Dmitry Ivanov (2023, 2025) é a voz principal nesta área, introduzindo o conceito de 'viabilidade' (*viability*). Um sistema industrial viável é aquele que mantém sua função essencial mesmo sob estresse severo, alterando sua estrutura se necessário. Dacre et al. (2025) realizaram uma exploração sistemática de cadeias de suprimentos 5.0, identificando que a estratégia de resiliência deve ser integrada à centricidade humana. Quando ocorre uma crise, não são os algoritmos que salvam a empresa, mas a capacidade criativa dos humanos de encontrar soluções improvisadas. Portanto, a estratégia de resiliência 5.0 foca em 'dar ferramentas aos humanos para serem resilientes'.

Alinhado a isso, Ivanov (2025) propõe um framework de adaptação bio-inspirado. Assim como organismos vivos se adaptam ao ambiente, as fábricas 5.0 devem ter a capacidade de reconfiguração rápida. Isso é habilitado pela modularidade e pela inteligência descentralizada (*edge computing*). Nessa mesma linha de suporte tecnológico, Song et al. (2026) apresentam um framework de gerenciamento de resiliência autoadaptável para sistemas produto-serviço, onde o próprio sistema aprende com as interrupções passadas para municiar os gestores com previsões de vulnerabilidades futuras. A estratégia de resiliência também passa pela diversificação geográfica e técnica. Bravi et al. (2025) mostram que PMEs que adotaram tecnologias híbridas foram capazes de mudar sua produção mais rapidamente durante interrupções de fornecimento. O uso de Digital Twins para simulação de cenários (*what-if analysis*) é citado por Tyagi e Tyagi (2025) como uma estratégia de prontidão crucial: a empresa deve 'viver a crise' virtualmente para saber como agir na realidade.

Estratégias de Implementação Chave:

1. Redundância Inteligente: Em vez do '*Just-in-Time*' extremo, adotar o '*Just-in-Case*' estratégico para componentes críticos, equilibrando custo e segurança.
2. Monitoramento de Riscos Preditivo: Utilizar Big Data para monitorar eventos geopolíticos, climáticos e sociais que possam afetar a produção, permitindo uma resposta proativa.
3. Agilidade de Reconfiguração: Investir em máquinas multipropósito e infraestrutura modular que permitam trocar o mix de produtos em questão de horas, não semanas.

Síntese das Estratégias e Alinhamento Estratégico Integrado

A Implementação em Pequenas e Médias Empresas (PMEs)

A adoção da Indústria 5.0 em PMEs apresenta desafios e oportunidades únicas, conforme discutido por Bravi et al. (2025). Enquanto grandes corporações possuem capital para investimentos massivos em Digital Twins e IA, as PMEs dependem de uma adoção 'híbrida'. A estratégia para essas empresas foca na flexibilidade. Bravi et al. (2025) mostram que a centricidade humana pode ser implementada mais rapidamente em PMEs devido à proximidade entre a gestão e o chão de fábrica, permitindo uma transição cultural mais ágil do que em grandes burocracias. A estratégia recomendada é começar com 'ilhas de excelência 5.0', onde um processo específico é redesenhado para ser sustentável e resiliente, servindo como prova de conceito para o restante da organização.

Roadmap Estratégico de Transformação 5.0

A mudança da Indústria 4.0 para a 5.0 não é automática; ela exige uma fase robusta de prontidão digital e cultural (Shadravan & Parsaei, 2023). Para operacionalizar os conceitos de implementação prática de Carvalho e Laurindo (2007), e integrando as visões de Ghobakhloo et al. (2023) e Kumar et al. (2024), propõe-se um *roadmap* de quatro fases sequenciais:

1. Fase de Visão e Alinhamento (meses 1 a 6): definição das 'Regras Simples' de Eisenhardt e Sull (2001) e mapeamento estratégico conforme Kaplan e Norton (2000). O foco é garantir que a liderança compreenda a 5.0 como um gerador de valor, não como um custo.

2. Fase de Avaliação de Prontidão (meses 6 a 12): aplicação do 'Digital Index' (BRÜCKNER et al., 2025) e de modelos de maturidade (Cuevas-Lopez-De-Baro et al., 2025). Identificação de lacunas de competências (*skills gaps*) na força de trabalho.

3. Fase de Integração Sociotécnica (meses 12 a 23): implementação de projetos piloto de IA e Cobots focados estritamente na centricidade humana - materializando as 'ilhas de excelência 5.0' nas PMEs. Início prático da transição para energias renováveis e monitoramento inteligente de resíduos para consolidação do pilar da sustentabilidade.

4. Fase de Escalonamento e Resiliência (mês 24 em diante): integração total de sistemas autoadaptáveis (Song et al., 2026) e expansão dos modelos de economia circular para toda a cadeia de suprimentos, estabelecendo a 'viabilidade sistêmica' proposta por Ivanov (2023).

Para fins de visualização da progressão e das metas de cada etapa, a Figura 4 ilustra a sequência cronológica das fases e sintetiza graficamente o *roadmap* estratégico proposto.

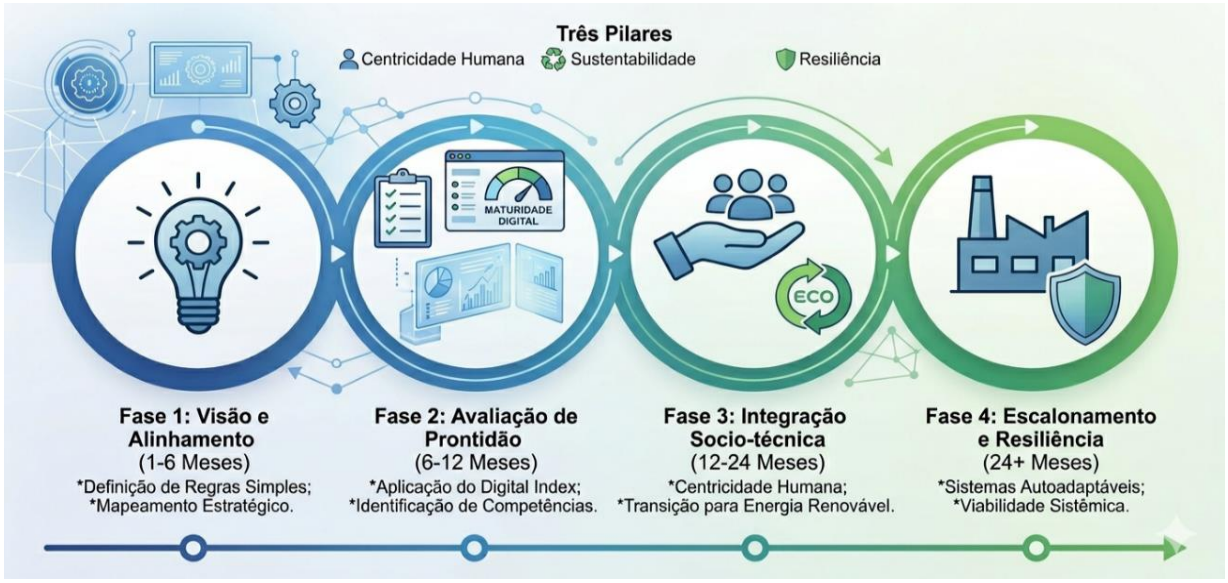


Figura 4. *Roadmap* Estratégico de Transformação para a Indústria 5.0
Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Em resumo, a integração bem-sucedida deste *roadmap* ocorre quando:

- A Tecnologia serve ao Humano: decisões de automação são precedidas por avaliações de impacto ergonômico.
- A Sustentabilidade é o Objetivo: o lucro é visto como consequência de uma operação eficiente e circular.
- A Resiliência é a Defesa: a agilidade e a flexibilidade humana são cultivadas como o ativo de segurança final.

5 Conclusões/Considerações Finais

A jornada rumo à Indústria 5.0 representa um grande desafio estratégico das últimas décadas. Esta revisão sistemática permitiu identificar que a implementação dos pilares de centricidade humana, sustentabilidade e resiliência não é um ato isolado de adoção tecnológica, mas uma metamorfose organizacional profunda. Os resultados desta pesquisa consolidam o entendimento de que as estratégias de sucesso são aquelas que conseguem fundir a precisão da estratégia clássica (Porter, Henderson, Kaplan) com a humanidade e a visão ecológica da 5.0. O alinhamento estratégico surge como o fator crítico de sucesso número um: sem a sincronia entre a visão da alta gestão e as ferramentas de IA e Gêmeos Digitais no ambiente produtivo, a Indústria 5.0 permanecerá apenas um conceito teórico. Conclui-se que a centricidade humana é a chave para a inovação; a sustentabilidade é o vetor fundamental para o futuro econômico; e a resiliência é a blindagem contra as incertezas globais. As organizações que primeiro dominarem este equilíbrio não apenas sobreviverão, mas tenderão a liderar a próxima era da civilização industrial. Como limitação deste estudo, aponta-se que muitos *frameworks* propostos (2024-2026) ainda estão em fase de teste piloto. Estudos de caso longitudinais serão necessários para validar a eficácia financeira e mercadológica dessas estratégias a longo prazo. No entanto, o caminho está traçado: a indústria do futuro tende a ser mais humana, verde e resiliente.

6 Referências

Beheshtinia, M. A., Ghorbani, A., Fathi, M., Ghobakhloo, M., & Foroughi, B. (2026). Strategies for realizing Industry 5.0 inclusive sustainability goals for sustainable development: A structured framework for overcoming barriers and guiding transformation. *Business Strategy and the Environment*, *0*, 1–30. https://doi.org/10.1002/bse.70755

Borges, A. F. S., Laurindo, F. J. B., Spínola, M. M., Gonçalves, R. F., & Costa, C. A. (2021). The strategic use of artificial intelligence in the digital era: Systematic literature review and future research directions. *International Journal of Information Management*, *57*, Artigo 102225. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102225

Bravi, L., Pierli, G., Murmura, F., & Musso, F. (2025). Integrating Industry 4.0 and Industry 5.0: a study of hybrid adoption in SMEs and its impact on sustainability, human-centricity, resilience. *International Journal of Production Research*, *64*(13), 5656-5680. https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2596960

Brückner, A., Wölke, M., Hein-Pensel, F., Schero, E., Winkler, H., & Jabs, I. (2025). Assessing industry 5.0 readiness-Prototype of a holistic digital index to evaluate sustainability, resilience and human-centered factors. *International Journal of Information Management Data Insights*, *5*, 100329. https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2025.100329

Carvalho, M. M., & Laurindo, F. J. B. (2007). *Estratégia competitiva: Dos conceitos à implementação* (Vol. 1). Atlas.

Christensen, C. M., & Overdorf, M. (2000, março-abril). Meeting the challenge of disruptive change. *Harvard Business Review*, 3–12.

Cuevas-Lopez-de-Baro, C., Mira-Solves, I., & Verdú-Jover, A. (2025). Assessment model for Industry 5.0: A holistic approach to readiness and integration. *Journal of Industrial Information Integration*, *46*, Artigo 100855. https://doi.org/10.1016/j.jii.2025.100855

Dacre, N., Yan, J., Frei, R., Al-Mhdawi, M. K. S., & Dong, H. (2025). Advancing sustainable manufacturing: A systematic exploration of Industry 5.0 supply chains for sustainability, human-centricity, and resilience. *Production Planning & Control*, *36*(11), 1499–1528. https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2380361

Eisenhardt, K. M., & Sull, D. N. (2001). Strategy as simple rules. *Harvard Business Review*, 107–116.

Ghobakhloo, M., Nilashi, M., Iranmanesh, M., Morales, M. E., & Amran, A. (2023). Actions and approaches for enabling Industry 5.0-driven sustainable industrial transformation: A strategy roadmap. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, *30*, 1473–1494. https://doi.org/10.1002/csr.2431

Henderson, J. C., & Venkatraman, N. (1993). Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. *IBM Systems Journal*, *32*(1), 472–484.

Ivanov, D. (2025). No risk, no fun? A bioinspired adaptation-based framework for supply chain resilience in Industry 5.0. *International Journal of Production Research*, *63*(19), 7153–7173. https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2496962

Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*, *61*(5), 1683–1695. https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2118892

Jawo, M., Fernando, Y., & Wijayanti, R. (2025). Harnessing technopreneurial mindset and social innovation: a framework for Industry 5.0. *Journal of Science and Technology Policy Management*. https://doi.org/10.1108/JSTPM-10-2024-0416

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2000). Having trouble with your strategy? Then map it. *Harvard Business Review, 78*(5), 167–176.

Kaswan, M. S., Chaudhary, R., Garza-Reyes, J. A., & Singh, A. (2025). A review of Industry 5.0: From key facets to a conceptual implementation framework. *International Journal of*

Quality & Reliability Management, *42*(4), 1196–1223. https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2024-0030

Kumar, U., Kaswan, M. S., Kumar, R., Chaudhary, R., Garza-Reyes, J. A., Rathi, R., & Joshi, R. (2024). A systematic review of Industry 5.0 from main aspects to the execution status. *The TQM Journal*, *36*(6), 1526–1549. https://doi.org/10.1108/TQM-06-2023-0183

Oeij, P. R. A., Lenaerts, K., Dhondt, S., Van Dijk, W., Schartinger, D., Sorko, S. R., & Warhurst, C. (2024). A conceptual framework for workforce skills for Industry 5.0: Implications for research, policy and practice. *Journal of Innovation Management, 12*(1), 205–233. https://doi.org/10.24840/2183-0606_012.001_0010

Ouzzani, M., Hammady, H., Fedorowicz, Z., & Elmagarmid, A. (2016). Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews, 5*(1), Artigo 210. https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4

Pacheco, D. A. de J., & Iwaszczenko, B. (2024). Unravelling human-centric tensions towards Industry 5.0: Literature review, resolution strategies and research agenda. *Digital Business*, *4*, Artigo 100090. https://doi.org/10.1016/j.digbus.2024.100090

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, *372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Piccarozzi, M., Silvestri, L., Silvestri, C., & Ruggieri, A. (2024). Roadmap to industry 5.0: Enabling technologies, challenges, and opportunities towards a holistic definition in management studies. *Technological Forecasting & Social Change, 205*, Artigo 123467. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123467

Poltronieri, C. F., Leite, L. R., Xavier, Y. S. M., Domingues, J. P. T., Toledo, J. C., & Oliveira, O. J. (2025). Toward industry 5.0: Mapping technologies, competencies, and research opportunities. Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation, 21(4), 103–129. https://doi.org/10.7341/20252145

Porter, M. E. (2001). Strategy and the internet. *Harvard Business Review*, 63–78.

Shadravan, A., & Parsaei, H. R. (2023). The paradigm shift from industry 4.0 implementation to industry 5.0 readiness. *Application of Emerging Technologies, 115*, 1–10. https://doi.org/10.54941/ahfe1004296

Song, W., Zhang, T., & Zhou, C. (2026). Towards resilient product-service systems in Industry 5.0: a self-adaptive resilience management framework. *International Journal of Production Research*, *64*(13), 5315–5337. https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2539307

Tyagi, M., & Tyagi, K. (2025). Industry 5.0 readiness factors for implementing digital twins in sustainable supply chains: A pathway to circularity. *Journal of Cleaner Production, 529*, Artigo 146795. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146795

Van Erp, T., Carvalho, N. G. P., Gerolamo, M. C., Gonçalves, R., Rytter, N. G. M., & Gladysz, B. (2024). Industry 5.0: A new strategy framework for sustainability management and beyond. *Journal of Cleaner Production*, *461*, Artigo 142271. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142271

Wankhede, V. A., & Vinodh, S. (2026). Analysis of critical success factors for Industry 5.0 adoption ensuring sustainability using MCDM tool: a case study. *International Journal of Quality & Reliability Management, 43*(2), 686-714. https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2025-0118