



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01
de dezembro 2023

Classificação de fatores inibidores para a adoção sustentável de tecnologias da indústria 4.0: Um estudo utilizando o método Grey Relational Analysis

Tiago F. A. C. Sigahi

Instituto de Ciência e Tecnologia – Universidade Federal de Alfenas

Resumo: Este artigo aborda fatores inibidores para a adoção sustentável de tecnologias da indústria 4.0. Para isso, foi conduzida um *survey* com 18 especialistas, e os dados coletados foram analisados por meio da *Grey Relational Analysis*. Entre os 19 fatores analisados, aquele considerado mais crítico foi o “acesso limitado às tecnologias da indústria 4.0”. Os resultados deste estudo ofereceram uma visão abrangente dos desafios enfrentados pela Indústria 4.0 no Brasil, destacando barreiras significativas para a adoção sustentável. O acesso limitado a tecnologias avançadas devido a custos elevados e infraestrutura inadequada afeta a competitividade das empresas, especialmente as de pequeno e médio porte. Propõe-se a promoção de parcerias público-privadas, incentivos fiscais e financiamentos para superar essa barreira. O desenvolvimento industrial defasado prejudica a posição do Brasil na economia global, destacando a importância de programas de capacitação e colaboração entre instituições de pesquisa e empresas. A falta de equipamentos modernos também é um desafio, com recomendações para incentivos à renovação do parque industrial. Barreiras regulatórias, um sistema de inovação ineficaz e desigualdades sociais estruturais são entraves adicionais. O estudo sugere investimento em pesquisa e desenvolvimento, parcerias público-privadas e políticas de inclusão social, bem como a promoção de uma cultura de inovação e aprendizado contínuo.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Sustentabilidade, Grey systems, Tomada de decisão.

Classification of inhibitory factors for the sustainable adoption of Industry 4.0 technologies: A study using the Grey Relational Analysis method

Abstract: This article addresses inhibiting factors for the sustainable adoption of Industry 4.0 technologies. To do so, a survey was conducted with 18 experts, and the collected data was analyzed using Grey Relational Analysis. Among the 19 factors analyzed, the one considered most critical was "limited access to Industry 4.0 technologies." The results of this study provided a comprehensive view of the challenges faced by Industry 4.0 in Brazil, highlighting significant barriers to sustainable adoption. Limited access to advanced technologies due to high costs and inadequate infrastructure affects the competitiveness of companies, especially small and medium-sized enterprises. The promotion of public-private partnerships, tax incentives, and financing is proposed

to overcome this barrier. Outdated industrial development hinders Brazil's position in the global economy, emphasizing the importance of training programs and collaboration between research institutions and companies. The lack of modern equipment is also a challenge, with recommendations for incentives to renew the industrial base. Regulatory barriers, an inefficient innovation system, and structural social inequalities are additional obstacles. The study suggests investments in research and development, public-private partnerships, and social inclusion policies, as well as the promotion of a culture of innovation and continuous learning.

Keywords: Industry 4.0, Sustainability, Grey Systems, Decision Making.

1. Introdução

Num contexto de crescente pressão sobre as empresas para se adequarem às tecnologias da indústria 4.0 (GHOBAKHLOO, 2018), a gestão de conhecimento tem sido cada vez mais enfatizada como um aspecto-chave desse processo (MESKI et al., 2019; TORTORELLA et al., 2022).

No mundo todo, gestores e pesquisadores têm dedicado esforços para compreender de que maneira a indústria 4.0 pode representar um estímulo ou uma barreira ao desenvolvimento de sistemas de informação (SAURA; RIBEIRO-SORIANO; PALACIOS-MARQUÉS, 2022), impulsionando ações e pesquisas relacionadas à gestão de conhecimento na indústria 4.0 (GC-I4) (BETTIOL; DI MARIA; MICELLI, 2020; GUPTA et al., 2022).

A rápida evolução das tecnologias no cenário industrial tem dado origem a um conceito amplamente debatido e implementado: a Indústria 4.0. O advento dessa nova era industrial é um reflexo do ritmo vertiginoso das inovações tecnológicas que têm transformado os processos produtivos nas últimas décadas. A transição para a Indústria 4.0, embasada em princípios como a conectividade, automação avançada e a coleta de dados em tempo real, promete melhorias significativas em eficiência, produtividade e inovação. No entanto, essa empolgante jornada rumo à quarta revolução industrial não está isenta de desafios substanciais.

À medida que as empresas buscam abraçar essas mudanças, torna-se evidente que a identificação e classificação dos fatores inibidores para a adoção sustentável de tecnologias da Indústria 4.0 emergem como um tema de pesquisa crucial. Este artigo tem como objetivo explorar essa temática, com a finalidade de lançar luz sobre os obstáculos que podem dificultar a incorporação sustentável de tais tecnologias em ambientes industriais.

Nesse contexto, a necessidade de se considerar aspectos da sustentabilidade neste processo tem sido cada vez mais enfatizada (CHING et al., 2022; GHOBAKHLOO et al., 2021a; NG et al., 2022). A adoção sustentável de tecnologias da Indústria 4.0 é um conceito que transcende a simples integração de sistemas avançados, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA) e a fabricação aditiva, em processos industriais. Ela engloba a necessidade de que essa integração ocorra de forma que seja economicamente viável, socialmente benéfica e ambientalmente consciente.

Esta abordagem holística se propõe a não apenas maximizar a eficiência e a produção, mas também a minimizar o impacto negativo sobre o meio ambiente e as comunidades circundantes. A sustentabilidade na Indústria 4.0 implica um equilíbrio delicado entre as metas econômicas, sociais e ambientais, e requer uma consideração aprofundada das implicações de longo prazo das decisões tecnológicas. É necessário assegurar que o progresso tecnológico seja acompanhado de um compromisso inabalável com a responsabilidade social e a conservação ambiental.

A relação intrínseca entre sustentabilidade e Indústria 4.0 é um ponto central para a compreensão do desafio de sua adoção. A capacidade de melhorar a eficiência energética,

reduzir resíduos e otimizar a cadeia de suprimentos são apenas algumas das formas pelas quais a Indústria 4.0 pode contribuir para a sustentabilidade ambiental. Além disso, o uso de tecnologias avançadas pode ter implicações sociais importantes, como a criação de empregos qualificados e o aprimoramento das condições de trabalho, promovendo uma melhor qualidade de vida para os trabalhadores.

No entanto, é fundamental reconhecer que a adoção da Indústria 4.0 também apresenta riscos e desafios complexos. O aumento da automação, por exemplo, levanta questões sobre a segurança no emprego e a potencial exclusão de trabalhadores não qualificados. Portanto, compreender e classificar os fatores inibidores que podem afetar a busca pela adoção sustentável dessas tecnologias é uma tarefa inadiável. Essa análise aprofundada contribuirá para orientar as empresas e os formuladores de políticas na busca de soluções que equilibrem os benefícios e os desafios associados à Indústria 4.0, garantindo que sua adoção seja verdadeiramente sustentável.

No mundo todo, gestores e pesquisadores têm dedicado esforços para compreender de que maneira a indústria 4.0 pode representar um avanço ou uma barreira ao desenvolvimento de sistemas produtivos sustentáveis (FURSTENAU et al., 2020; MACHADO; WINROTH; RIBEIRO DA SILVA, 2020), impulsionando ações e pesquisas relacionadas à adoção sustentável de tecnologias da indústria 4.0 (AS-I4) (BONILLA et al., 2018; JABBOUR et al., 2018; NG et al., 2022).

Nos últimos anos, houve importantes avanços nesta área, especialmente após 2015, quando foram estabelecidos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) pela Organização das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2015). Porém, há ainda um longo caminho a ser percorrido e inúmeras oportunidades de pesquisa e contribuição.

No contexto brasileiro, a pesquisa sobre AS-I4 é de extrema importância por várias razões. No Brasil, a indústria desempenha um papel significativo na economia, e a adoção de tecnologias da indústria 4.0 pode impulsionar a competitividade e a inovação. Entretanto, para garantir que essa adoção seja sustentável, é fundamental entender as práticas que estão sendo adotadas e como elas podem ser aprimoradas para promover o desenvolvimento sustentável das empresas e do país como um todo. A literatura existente frequentemente se concentra em estudos de casos e análises teóricas de adoção de tecnologias da indústria 4.0 em contextos globais ou europeus (GHOBAKHLOO et al., 2021b; OLIVEIRA NETO; DA CONCEIÇÃO SILVA; FILHO, 2022), com menos foco em países em desenvolvimento como o Brasil. Há uma necessidade de estudos empíricos que examinem as práticas de adoção sustentável no contexto das empresas brasileiras, considerando as particularidades econômicas, regulatórias e sociais do país.

Nesse contexto, este artigo analisa fatores inibidores para a adoção sustentável de tecnologias da indústria 4.0, utilizando a avaliação de especialistas e abordagem metodológica baseada em sistemas *grey*.

2. Materiais e métodos

A primeira etapa do estudo consistiu na realização de uma survey com especialistas no tema (pesquisadores e gestores) para verificar a incidência de fatores inibidores para a adoção sustentável de tecnologias da indústria 4.0. A estruturação da survey foi baseada no framework proposto por Maisiri et al. (2021), que consiste em três categorias: aquisição de conhecimento, disseminação de conhecimento e responsividade ao conhecimento (Tabela 1).

Tabela 1. Fatores inibidores da AS-I4.

Categoria	Fatores
Socioeconômicos	Resistência à tecnologia Desigualdades sociais estruturais Alto desemprego entre os jovens Acesso limitado à informação Desafios culturais e de conscientização Ritmo lento de adoção das tecnologias
Ambientais e contextuais	Restrições políticas Desenvolvimento industrial defasado Taxa de mudança exponencial Sistema de inovação inadequado Apoio governamental
Infraestrutura	Equipamentos que não atendem aos requisitos da Indústria 4.0 Infraestrutura de tecnologia de informação e comunicação inadequada Acesso limitado às tecnologias da Indústria 4.0 Fornecimento de eletricidade confiável limitado Disponibilidade limitada de tecnologias avançadas
Capital humano	Escassez de competências e habilidades Falta de alinhamento entre o desenvolvimento e os requisitos de competências Potencial impacto negativo sobre empregos de baixa e média qualificação

Fonte: Elaborado com base em Maisiri et al. (2021).

Os fatores listados na Tabela 1 foram utilizados para a elaboração do questionário utilizado na *survey*. Foi requerido que os especialistas avaliassem tais fatores com base na seguinte escala: ocorrência “muito baixa”, “baixa”, “média”, “alta” ou “muito alta”. Foi obtida a participação de 18 especialistas.

Os dados obtidos foram analisados por meio do método *Grey Relational Analysis* (GRA), baseado na *Grey Systems Theory* (GST), seguindo os procedimentos propostos por Kuo et al. (2008) permitindo avaliar as barreiras que devem receber prioridade.

Conforme explicado por Liu e Lin (2010), o foco da GST está nos problemas de incerteza de amostras pequenas e informações limitadas que são difíceis de serem tratados pela matemática de probabilidade e lógica fuzzy. Em contraste com métodos quantitativos tradicionais que requerem grandes volumes de dados, a GST oferece uma estrutura sólida para conduzir análises de tomada de decisão, especialmente quando confrontada com cenários caracterizados por informações limitadas, distribuições desconhecidas e tamanhos de amostra restritos (LIU; LIN, 2010). Métodos baseados na GST têm sido amplamente utilizados em várias áreas do conhecimento, incluindo gestão (PRAKASH et al., 2023).

Como delineado por Kuo et al. (2008), a etapa inicial envolve a definição da matriz de relações cinzas, na qual os dados coletados são normalizados para valores variando de 0 a 1. Neste estudo, os atributos são representados pelos "respondentes" e, portanto, o conceito de "maior é melhor" e "menor é melhor" proposto por Kuo et al. (2008) não é aplicável. Um método de normalização deve ser selecionado, e seu impacto nos resultados finais deve ser compreendido. Neste estudo, foi utilizada a Equação 1, conforme proposta por Kuo et al. (2008). Como resultado, a classificação final gera a dificuldade considerada mais intensa na primeira posição e a dificuldade relativamente menos intensa na última posição.

$$X_{ij} = \frac{y_{ij} - \text{Min}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\}}{\text{Max}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \text{Min}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad (\text{Equation 1})$$

Posteriormente, a sequência de referência foi estabelecida como $X_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0j}, \dots, x_{0n}) = (1, 1, \dots, 1, \dots, 1)$, e as diferenças mais próximas a essa referência foram analisadas e normalizadas. Seguindo a abordagem delineada por Kuo et al. (2008), o terceiro passo envolve o cálculo dos *Grey Relational Coefficients* (GRC). Esses coeficientes avaliam a proximidade entre x_{ij} e x_{0j} , sendo que valores mais altos indicam uma relação mais próxima entre eles. A Equação 2 apresenta o método de cálculo para os coeficientes relacionais γ :

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta_{\max}} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Equation 2})$$

Where:

$$\begin{aligned} \Delta_{ij} &= |x_{0j} - x_{ij}| \\ \Delta_{\min} &= \text{Min}\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\} \\ \Delta_{\max} &= \text{Max}\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\} \end{aligned}$$

Em seguida, o coeficiente de distinção ζ foi determinado, onde $\zeta \in [0,1]$. Este coeficiente permite a expansão ou compressão do intervalo dos coeficientes relacionais. Para estabelecer a classificação padrão, foi atribuído um valor intermediário de 0,5 ao coeficiente de distinção, como proposto pelo autor.

Por fim, a Equação 3 foi utilizada para calcular os *Grey Relational Grades*. Nessa equação, ω_j representa o peso atribuído a cada respondente. Para este estudo, pesos iguais foram atribuídos a todos os respondentes ($\omega_j = 1/20$).

$$\Gamma(X_0, X_i) = \sum_{j=1}^n \omega_j \gamma(x_{0j}, x_{ij}) \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{Equation 3})$$

De acordo com Kuo et al. (2008), o grau relacional obtido representa o nível de similaridade entre as pontuações atribuídas a cada dificuldade e a sequência de referência estabelecida na segunda etapa do método. Neste caso, como mencionado anteriormente, um valor mais elevado de Γ indica uma maior proximidade em relação à referência, denotando uma maior intensidade da respectiva dificuldade. Por outro lado, um valor menor de Γ sugere um desvio maior em relação à referência, implicando uma intensidade relativamente menor da dificuldade observada.

Após a conclusão de todas as análises qualitativas e quantitativas, os resultados foram apresentados e discussões foram conduzidas. Por fim, as conclusões foram tiradas e as considerações finais do estudo foram fornecidas.

3. Resultados e discussão

Com base no framework apresentado por Maisiri et al. (2021), e nos procedimentos do método GRA propostos por Kuo et al. (2008), um ranking dos fatores foi gerado conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 1. Ranking das barreiras para a AS-I4 segundo os especialistas

Barreira	Γ	Ranking geral	Ranking por categoria
Acesso limitado às tecnologias da Indústria 4.0	0.872	1 ^a	SE
Desenvolvimento industrial defasado	0.861	2 ^a	AC
Equipamentos que não atendem aos requisitos da Indústria 4.0	0.852	3 ^a	I
Restrições políticas	0.834	4 ^a	AC
Sistema de inovação inadequado	0.803	5 ^a	AC
Desigualdades sociais estruturais	0.798	6 ^a	SE
Taxa de mudança exponencial	0.742	7 ^a	AC
Desafios culturais e de conscientização	0.715	8 ^a	SE
Alto desemprego entre os jovens	0.673	9 ^a	SE
Disponibilidade limitada de tecnologias avançadas	0.652	10 ^a	I
Acesso limitado à informação	0.617	11 ^a	SE
Apoio governamental	0.576	12 ^a	AC
Infraestrutura de tecnologia de informação e comunicação inadequada	0.539	13 ^a	I
Resistência à tecnologia	0.517	14 ^a	SE
Fornecimento de eletricidade confiável limitado	0.458	15 ^a	I
Potencial impacto negativo sobre empregos de baixa e média qualificação	0.412	16 ^a	CH
Ritmo lento de adoção das tecnologias	0.387	17 ^a	SE
Escassez de competências e habilidades	0.346	18 ^a	CH
Falta de alinhamento entre o desenvolvimento e os requisitos de competências	0.141	19 ^a	CH

Nota: Socioeconômicos (SE), Ambientais e contextuais (AC), Infraestrutura (I) e Capital humano (CH).

Neste artigo, foca-se a discussão nos dez fatores considerados mais críticas pelos especialistas. A adoção sustentável da Indústria 4.0 é um desafio complexo que envolve diversos fatores inibidores no contexto brasileiro. Na perspectiva dos especialistas, muitas empresas no Brasil, especialmente as pequenas e médias, enfrentam dificuldades no acesso a tecnologias avançadas devido aos altos custos e à falta de infraestrutura tecnológica. A falta de acesso a tecnologias de ponta limita a capacidade das empresas de competir globalmente e adotar práticas de produção eficientes. O governo e organizações empresariais podem promover parcerias para subsidiar o acesso a tecnologias da Indústria 4.0, oferecendo incentivos fiscais e financiamentos para empresas que desejam investir em atualizações tecnológicas.

O Brasil enfrenta desafios na modernização de seu setor industrial, com muitas empresas ainda utilizando tecnologias e processos ultrapassados. O desenvolvimento industrial defasado afeta a competitividade do país no mercado global e dificulta a adoção de práticas mais sustentáveis. Investir em programas de capacitação e treinamento para atualizar a força de trabalho e incentivar a modernização das indústrias, além de promover a colaboração entre instituições de pesquisa e empresas.

Muitas empresas ainda utilizam equipamentos obsoletos que não são compatíveis com as demandas da Indústria 4.0. A falta de equipamentos modernos dificulta a implementação de tecnologias avançadas e a melhoria da eficiência produtiva. Incentivar a renovação do parque industrial, oferecendo incentivos para a substituição de equipamentos desatualizados e promovendo a integração de novas tecnologias.

Barreiras regulatórias, burocráticas e fiscais podem dificultar a adoção da Indústria 4.0 no Brasil. A falta de um ambiente regulatório favorável pode atrasar a inovação e a modernização industrial. O governo deve trabalhar em parceria com o setor privado para

eliminar barreiras regulatórias, criar incentivos fiscais e simplificar processos para empresas que desejam adotar tecnologias da Indústria 4.0.

O sistema de inovação no Brasil enfrenta desafios, como falta de financiamento para pesquisa e desenvolvimento e pouca integração entre universidades, empresas e governo. Um sistema de inovação ineficiente limita a capacidade de desenvolver soluções tecnológicas locais e de promover a adoção da Indústria 4.0. Investir em pesquisa e desenvolvimento, promover parcerias público-privadas e fortalecer a cooperação entre instituições de pesquisa, empresas e universidades.

O Brasil enfrenta desafios de desigualdade social, com disparidades no acesso à educação e oportunidades econômicas. A desigualdade social afeta a capacidade de inclusão de segmentos da população na economia digital, limitando o potencial da Indústria 4.0. Implementar políticas de inclusão social, com foco em educação, capacitação e acesso a oportunidades econômicas, para reduzir as desigualdades.

A rápida evolução das tecnologias da Indústria 4.0 exige adaptação constante por parte das empresas. A falta de agilidade para acompanhar as mudanças tecnológicas pode deixar as empresas em desvantagem. Promover uma cultura de inovação e aprendizado contínuo nas empresas, além de investir em programas de treinamento e desenvolvimento da força de trabalho.

4. Conclusões

Este artigo abordou os fatores inibidores para a adoção sustentável de tecnologias da Indústria 4.0 no contexto brasileiro, utilizando a avaliação de especialistas e uma abordagem metodológica baseada em sistemas *grey*. O objetivo geral foi identificar os principais desafios enfrentados pelas empresas, particularmente no Brasil, ao tentar adotar práticas de produção eficientes e competir globalmente por meio da Indústria 4.0.

Os resultados desta pesquisa proporcionaram uma visão abrangente dos desafios que a Indústria 4.0 enfrenta no contexto brasileiro, evidenciando a complexidade desse processo de adoção sustentável. Uma das principais barreiras identificadas foi o acesso limitado a tecnologias avançadas, principalmente devido aos custos elevados e à falta de infraestrutura tecnológica adequada. Isso restringe a capacidade das empresas, especialmente as de pequeno e médio porte, de competir efetivamente em um mercado global cada vez mais digital e automatizado. Para superar essa barreira, a pesquisa propôs parcerias público-privadas, incentivos fiscais e financiamentos para subsidiar o acesso a tecnologias da Indústria 4.0, uma ação que poderia desempenhar um papel crucial na melhoria da competitividade das empresas brasileiras.

O desenvolvimento industrial defasado é outra barreira crítica, pois impacta a capacidade do Brasil de se posicionar como um jogador relevante na economia global. A pesquisa enfatizou a necessidade de investir em programas de capacitação e treinamento para atualizar a força de trabalho e fomentar a modernização das indústrias. A colaboração entre instituições de pesquisa e empresas também foi sugerida, uma vez que a inovação e a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 dependem da sinergia entre esses setores.

A falta de equipamentos modernos compatíveis com as demandas da Indústria 4.0 representa um desafio adicional para a sustentabilidade dessa transição tecnológica. Para superar essa barreira, a pesquisa recomendou incentivos para a renovação do parque industrial e a integração de novas tecnologias. Essa ação poderia potencialmente melhorar a eficiência produtiva e facilitar a adoção de práticas mais sustentáveis.

Além disso, barreiras regulatórias, burocráticas e fiscais se apresentam como entraves significativos. Essa questão enfatiza a importância de um ambiente regulatório favorável e

de parcerias entre o governo e o setor privado para eliminar obstáculos regulatórios e simplificar processos para empresas que desejam adotar tecnologias da Indústria 4.0.

O sistema de inovação ineficiente é outra barreira crítica que prejudica a capacidade do Brasil de desenvolver soluções tecnológicas locais e promover a adoção da Indústria 4.0. A pesquisa destacou a necessidade de investir em pesquisa e desenvolvimento, parcerias público-privadas e uma maior cooperação entre instituições de pesquisa, empresas e universidades.

As desigualdades sociais estruturais, com disparidades no acesso à educação e oportunidades econômicas, também impactam a sustentabilidade da Indústria 4.0 no Brasil. Nesse contexto, a pesquisa enfatizou a importância de políticas de inclusão social que se concentrem em educação, capacitação e acesso a oportunidades econômicas, reduzindo assim as desigualdades.

A rápida evolução das tecnologias da Indústria 4.0 exige adaptabilidade contínua das empresas. A pesquisa enfatizou a necessidade de promover uma cultura de inovação e aprendizado constante nas empresas, juntamente com investimentos em programas de treinamento e desenvolvimento da força de trabalho.

Apesar das contribuições significativas, é fundamental reconhecer as limitações deste estudo, como o enfoque na perspectiva de especialistas e a falta de dados quantitativos. Estudos futuros podem abordar essas limitações e, além disso, podem considerar uma análise comparativa entre diferentes contextos regionais para fornecer insights mais abrangentes sobre as barreiras e soluções para a adoção sustentável da Indústria 4.0.

Referências

BETTIOL, M.; DI MARIA, E.; MICELLI, S. **Knowledge Management and Industry 4.0**. Cham: Springer International Publishing, 2020. v. 9

BONILLA, S. H. et al. Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 10, 2018.

CHING, N. T. et al. Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 334, p. 130133, fev. 2022.

FURSTENAU, L. B. et al. Link Between Sustainability and Industry 4.0: Trends, Challenges and New Perspectives. **IEEE Access**, v. 8, p. 140079–140096, 2020.

GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 6, p. 910–936, 13 jul. 2018.

GHOBAKHLOO, M. et al. Industry 4.0, innovation, and sustainable development: A systematic review and a roadmap to sustainable innovation. **Business Strategy and the Environment**, v. 30, n. 8, p. 4237–4257, 2021a.

GHOBAKHLOO, M. et al. Industry 4.0 ten years on: A bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants. **Journal of Cleaner Production**, v. 302, p. 127052, jun. 2021b.

GUPTA, A. et al. Knowledge management in industry 4.0 environment for sustainable competitive advantage: a strategic framework. **Knowledge Management Research & Practice**, v. 20, n. 6, p. 878–892, 2 nov. 2022.

JABBOUR, A. B. L. DE S. et al. When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 18–25, jul. 2018.

KUO, Y.; YANG, T.; HUANG, G.-W. The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. **Computers & Industrial Engineering**, v. 55, n. 1, p. 80–93, ago. 2008.

MACHADO, C. G.; WINROTH, M. P.; RIBEIRO DA SILVA, E. H. D. Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 5, p. 1462–1484, 3 mar. 2020.

MAISIRI, W.; VAN DYK, L.; COEZTEE, R. Factors that inhibit sustainable adoption of Industry 4.0 in the South African manufacturing industry. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1013, 2021.

MESKI, O. et al. Integrated Data and Knowledge Management as Key Factor for Industry 4.0. **IEEE Engineering Management Review**, v. 47, n. 4, p. 94–100, 1 dez. 2019.

NG, T. C. et al. The Application of Industry 4.0 Technological Constituents for Sustainable Manufacturing: A Content-Centric Review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 7, 2022.

OLIVEIRA NETO, G. C.; DA CONCEIÇÃO SILVA, A.; FILHO, M. G. How can Industry 4.0 technologies and circular economy help companies and researchers collaborate and accelerate the transition to strong sustainability? A bibliometric review and a systematic literature review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 16 maio 2022.

SAURA, J. R.; RIBEIRO-SORIANO, D.; PALACIOS-MARQUÉS, D. Evaluating security and privacy issues of social networks based information systems in Industry 4.0. **Enterprise Information Systems**, v. 16, n. 10–11, p. 1694–1710, 3 out. 2022.

TORTORELLA, G. et al. Boosting the impact of knowledge management on innovation performance through industry 4.0 adoption. **Knowledge Management Research & Practice**, p. 1–17, 25 ago. 2022.

UNITED NATIONS. **Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. [s.l: s.n.].