

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E SUSTENTABILIDADE: desafios e tendências

CHERYL MAUREEN DAEHN

ANA ESTER DA COSTA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

RICARDO PEREIRA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Introdução

A Transformação Digital - TD é um processo impulsionado por tecnologias digitais e as mudanças desencadeadas e seus impactos incidem sobre os mecanismos de criação, estratégia e estrutura de valor organizacional (VIAL, 2019). Nesse contexto disruptivo, observa-se também uma preocupação crescente com o meio ambiente cuja consciência das pessoas em relação ao impacto das ações do homem sobre a natureza se torna mais nítida. Isso desencadeia uma reflexão sobre a influência que a sociedade impõe neste processo (VAN BELLEN, 2004).

Problema de Pesquisa e Objetivo

Há um consenso que temas sobre TD tem um número significativo de investigações, porém estudos mais abrangentes para compreender os impactos dessa transformação na sustentabilidade ainda requerem mais atenção dos pesquisadores (FEROZ, ZO, CHIRAVURI, 2021; VERHOEF, 2019; VIAL, 2019; BEIER, 2020). Nesse escopo, o estudo busca responder, por meio de uma revisão integrativa de literatura, a seguinte questão de pesquisa: quais os impactos da transformação digital (TD) para a sustentabilidade?

Fundamentação Teórica

O conceito de sustentabilidade é discutido em vários tipos de estudos, levando a concepções e à disseminação de diversas interpretações. Isso acarretou a extensão considerável de seu significado e importância (MARTINS, et al., 2019). A Transformação Digital, para Hinings, Gegenhuber, Greenwood (2018, p. 53) corresponde aos efeitos combinados de múltiplas inovações digitais compondo um quadro com “novos atores, estruturas, práticas, valores e crenças que mudam, ameaçam, substituem ou complementam as regras” já existentes nas organizações.

Metodologia

O método utilizado foi o da revisão integrativa. Esse procedimento foi escolhido por possibilitar a síntese e análise do conhecimento científico já produzido sobre o tema investigado (Sordi et al, 2017), além de minimizar o viés por meio de pesquisas bibliográficas exaustivas de estudos publicados, explicitando as decisões, procedimentos e conclusões dos revisores (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003).

Análise dos Resultados

Os resultados obtidos podem ser visualizados no Quadro 1, onde é apresentada a relação de artigos, sua procedência, ano de publicação em ordem decrescente, autores e as principais considerações/temáticas relacionadas, quais sejam: A Indústria 4.0; Modelo de negócio, empreendedorismo, CRM (vendas, marketing e serviços); economia circular; Tecnologias da Informação para a Saúde; Sistemas de Informação; Agricultura Inteligente para o Clima, cooperativa; tecnologias agrícolas 4.0; Agricultura e pequeno agricultor; Modelo de coprodução e conhecimento; Cidades Inteligentes.

Conclusão

O estudo trouxe contribuições importantes sobre a relação entre a TD e o desenvolvimento sustentável. Portanto, muito além do caráter tecnológico, o processo de TD ou indústria 4.0 tem potencial para alcançar vantagem competitiva sustentável, através de cadeias de valor sustentáveis nos ambientes de produção e manufatura, redução de impactos ambientais negativos, redução de consumo de energia e recursos naturais, ao mesmo tempo em que é socialmente responsável e economicamente viável, ou de serviços com a redução de combustíveis a partir da inclusão do trabalho digital.

Referências Bibliográficas

ALCAIDE MUÑOZ, Laura; RODRÍGUEZ BOLÍVAR, Manuel Pedro. Different Levels of Smart and Sustainable Cities Construction Using e-Participation Tools in European and Central Asian Countries. *Sustainability*, v. 13, n. 6, p. 3561, 2021. ANDRIOLE, S. J. The Hard Truth About Soft Digital Transformation. in *IT Professional*, vol. 22, no. 5, pp. 13-16, 1 Sept.-Oct. 2020. doi: 10.1109/MITP.2020.2972169. BARBOSA, G. S. DRACH, P. R.; CORBELLA, O. D. A Conceptual Review of the Terms Sustainable Development and Sustainability. *International Journal of Social Sciences* Vol. III (2), 2014.

Palavras Chave

Transformação digital, Sustentabilidade, Revisão integrativa

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E SUSTENTABILIDADE: desafios e tendências

1. INTRODUÇÃO

A sociedade atual está entrando em um período de avanços tecnológicos sem precedentes, mudanças na velocidade e em escala muito além do que qualquer outra civilização já experimentou antes. Historicamente, as disrupções foram relativamente lentas e isoladas, no entanto, em 2020 pode-se assistir a disrupções que afetaram, ao mesmo tempo, todos os setores da economia. E, cada setor tem o potencial para impactar outros múltiplos setores (energia, transportes, alimentação, informação, etc.). No entanto, observa-se a convergência e combinações entre as tecnologias, trazendo a diferentes setores, melhoria nos custos e capacidades de novos produtos e serviços (PACHECO, NERI, WAHRHAFTIG, 2020).

A Transformação Digital - TD é um processo impulsionado por tecnologias digitais e as mudanças desencadeadas e seus impactos incidem sobre os mecanismos de criação, estratégia e estrutura de valor organizacional (VIAL, 2019). Dessa forma, altera produtos, processos, estruturas e aspectos organizacionais (MATT, 2015). Para Feroz, Zo, Chiravuri, (2021) vai mais além, criando novas oportunidades tanto na competitividade dos negócios quanto uma remodelagem na forma de atuação e impacto sobre o meio ambiente.

Nesse contexto disruptivo, observa-se também uma preocupação crescente com o meio ambiente cuja consciência das pessoas em relação ao impacto das ações do homem sobre a natureza se torna mais nítida. Isso desencadeia uma reflexão sobre a influência que a sociedade impõe neste processo (VAN BELLEN, 2004). A partir dessa conscientização sobre os desafios na relação entre o meio ambiente e a sociedade humana inspira-se ações que estão sendo desenvolvidas para alcançar um nível mais elevado de dignidade humana conectado com a defesa e proteção ao meio ambiente (VAN BELLEN, 2004).

Disrupções e avanços tecnológicos como inteligência artificial, *big data analytics*, computação em nuvem e Internet das Coisas (IoT), entre outros, podem apoiar e facilitar o engajamento com os desafios da sustentabilidade. Essas novas tecnologias trazem mudanças fundamentais nas organizações e resulta na criação de oportunidades adicionais de melhoria. Um fenômeno que desencadeia mudanças na indústria, na sociedade e no ambiente, com enormes potenciais no domínio da sustentabilidade (VIAL, 2019; SHARMA, 2020; VON KUTZSCHENBACH, DAUB, 2021, WEERSINK, 2018). A TD deve ter evidência na sustentabilidade, e estar incorporada nos aspectos social, econômico e ambiental, juntamente com princípios (KAMBLE, 2018; UKKO, 2019).

Há um consenso que temas sobre TD tem um número significativo de investigações, porém estudos mais abrangentes para compreender os impactos dessa transformação na sustentabilidade ainda requerem mais atenção dos pesquisadores (FEROZ, ZO, CHIRAVURI, 2021; VERHOEF, 2019 VIAL, 2019; BEIER, 2020).

Essa pesquisa parte do pressuposto que a TD vem sendo discutida no campo, entretanto carece de investigações específicas e mais aprofundadas quanto aos seus impactos na sustentabilidade e como ocorre a convergência entre os temas. Nesse escopo, o estudo busca responder, por meio de uma revisão integrativa de literatura, a seguinte questão de pesquisa: *quais os impactos da transformação digital (TD) para a sustentabilidade?*

Para possibilitar a adequada compreensão do tema estudado, o artigo apresenta quatro seções, incluída esta introdução. A seção seguinte aborda os referenciais teóricos sobre TD e sustentabilidade. A terceira seção descreve os procedimentos metodológicos da pesquisa. A quarta seção traz a análise e discussão dos resultados. Por fim, a última seção apresenta as considerações finais, limitações e recomendações para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Sustentabilidade

À medida que a sociedade se conscientiza e desperta para a degradação ambiental, resultante do processo de desenvolvimento, torna-se mais nítido os desafios na relação entre o meio ambiente e a sociedade humana inspirando ações para alcançar um nível mais elevado de dignidade humana conectada com a defesa e proteção ao meio ambiente. O conceito de sustentabilidade alcançou destaque a partir da década de 1990, tornando-se um dos termos mais utilizados para se definir um novo modelo de desenvolvimento com apelo ao meio ambiente. Esta crescente legitimidade do conceito não veio acompanhada, entretanto, de uma discussão crítica consistente a respeito do seu significado efetivo e das medidas necessárias para alcançá-lo (VAN BELLEN, 2004). Há amplas questões inerentes ao conceito de sustentabilidade, o crescente volume de informações relacionadas a este assunto e sua complexidade. Portanto, o conceito de sustentabilidade é discutido em vários tipos de estudos, levando a concepções e à disseminação de diversas interpretações. Isso acarretou a extensão considerável de seu significado e importância (MARTINS, *et al.*, 2019).

No entanto, o conceito alcançou um destaque inusitado a partir da década de 1990, tornando-se um dos termos mais utilizados para se definir um novo modelo de desenvolvimento. Para este estudo, a sustentabilidade pode ser entendida como um equilíbrio entre as dimensões ambientais, sociais e econômicas da vida humana (VARGAS; MAC-LEAN; HUGE, 2019).

Quando o termo sustentabilidade é associado ao termo desenvolvimento, é nítida a complexidade (MARTINS, *et al.*, 2021) criando, muitas vezes tensões, entre eles. Isso devido a ambição de, ao mesmo tempo, buscar o crescimento econômico e preservar a natureza. Apesar do paradoxo, Stewart (2015) acredita que países continuarão a priorizar o crescimento econômico em detrimento a sustentabilidade ambiental. Para ele, há tentativas de dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental, citando a Agenda 2030 e os ODS (Nações Unidas, 2015), mas entende que a sustentabilidade deve ser alcançada e a meta de alcançar o crescimento econômico deve ser seriamente alterada.

Nos anos 1980, essa questão inspirou o desenvolvimento do relatório “Nosso Futuro Comum” ou Relatório *Brundtland*, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – WCED - ou Comissão Brundtland (presidida pela norueguesa Gro Brundtland Halen) (WCED, 1987). O relatório continha dados do período de três anos, os elementos norteadores foram as questões sociais. Resultando os termos “Desenvolvimento Sustentável” como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”.

O relatório de Brundtland, publicado em abril de 1987, foi o passo inicial, destacando a necessidade de novas formas de desenvolvimento econômico, sem afetar os recursos naturais e causar danos ao meio ambiente. Nos princípios subjacentes a este relatório estavam: desenvolvimento econômico, proteção ambiental e equidade social (BARBOSA; DRACH; CORBELLA, 2014, p. 3). Além disso, o relatório destacou que o desenvolvimento sustentável “requer atender às necessidades básicas de todos e estender a todos a oportunidade de realizar suas aspirações por uma vida melhor” (BRUNDTLAND, 1987, p. 16).

2.2. Transformação Digital

O termo “digital” começou a ser usado de forma crescente a partir de 2010 e hoje se tem a expressão “transformação digital” em grande escala, tanto em jornais, programas de TV, livros e artigos acadêmicos. O conceito é amplo como também o é o contexto que é aplicado (KRIMPMANN, 2015; ANDRIOLE, 2020; IMRAN; SHAHZAD; BUTT; KANTOLA, 2021). Krimpmann (2015, p. 1209) define-a como a “soma de tecnologias que transformam os processos anteriormente físicos em processos que são parcial ou totalmente ativados pela tecnologia”. Portanto, ocorre a TD quando novas estruturas (negócios, modelos mentais, práticas, valores e crenças) podem ser formadas pela consolidação dos efeitos gerados por várias inovações digitais.

A TD, para Hinings, Gegenhuber, Greenwood (2018, p. 53) corresponde aos efeitos combinados de múltiplas inovações digitais compondo um quadro com “novos atores, estruturas, práticas, valores e crenças que mudam, ameaçam, substituem ou complementam as regras” já existentes nas organizações. Vial (2019, p. 3), por sua vez, indica que é o “processo que visa melhorar uma instituição, desencadeando mudanças consideráveis através da combinação de tecnologias de informação, computação, comunicação e conectividade”. Assim, à medida que as tecnologias digitais oferecem mais informações, comunicação e conectividade, permitem, também, novas formas de colaboração entre os diversos atores. Isso se apresenta como um enorme potencial de inovação e desempenho nas organizações, afetando indivíduos, organizações e sociedade (VIAL, 2019).

Cabe destacar, ainda, que a mudança dessas estruturas na situação de TD implica em mudanças na cultura e nos comportamentos dos atores, bem como a liderança destes processos é crucial (SHAUGHNESSY, 2018). Por isso, as organizações realizam a TD com o objetivo de melhorar a qualidade dos seus produtos e serviços (FACHRUNNISA; ADHIATMA; LUKMAN; MAJID, 2020) e questões relacionadas com a sustentabilidade ambiental (FEROZ, ZO, CHIRAVURI, 2021).

Nessa linha, as tecnologias digitais estão transformando a forma como as questões relacionadas à sustentabilidade são medidas e controladas. No entanto, há uma falta de entendimento na literatura acadêmica sobre como as organizações devem se adaptar a essas rupturas e as capacidades necessárias para garantir que a sustentabilidade ambiental seja incorporada na transformação digital. As principais disrupções da TD ocorrem na gestão de resíduos, controle de poluição, produção sustentável e sustentabilidade urbana. (FEROZ, ZO, CHIRAVURI, 2021).

Apesar dos termos “digitais e sustentabilidade” serem duas das influências de mercado mais poderosas, a zona de interseção dessas tendências é pouco explorada. Os autores sugerem que essas tendências se desenvolveram mais ou menos independentemente uma da outra e que agora devem ser consideradas em uníssono (JONES; WYNN, 2021). Lokuge e colegas (2021) afirmam que o impacto das tecnologias digitais no meio ambiente requer uma coordenação global alinhada com os níveis local, organizacional e individual, assegurando os processos de conscientização, incentivos e possíveis barreiras/impedimentos. O conhecimento sobre o impacto das tecnologias e iniciativas digitais no meio ambiente e o incentivo refere-se às motivações para a realização de transformações digitais sustentáveis; quanto aos impedimentos, referem-se a obstruções para transformações digitais sustentáveis.

A sociedade atual está se conscientizando de que um novo modelo econômico de produção e consumo deve levar em consideração seu impacto ambiental e social (SARTAL, BELLAS, MEJÍAS, GARCÍA-COLLADO, 2020);

As tecnologias digitais oferecem às organizações oportunidades únicas para desenvolver novos modelos de negócios com foco no meio ambiente ou adotar tecnologias digitais para incorporar práticas ambientalmente sustentáveis aos modelos atuais. Incorporar princípios de

sustentabilidade na TD e no processo estratégico é uma novidade e requer mais estudos para compreender o fenômeno de forma adequada. O desenvolvimento de capacidades específicas para a TD que sejam ambientalmente sustentáveis impacta o desempenho geral em termos de fidelidade do cliente, recompensas financeiras ou aumento do valor da marca (FEROZ; CHIRAVURI, 2021).

Em consonância com esta afirmação, Hausberg *et al.* (2019), detectam algumas deficiências de pesquisa em transformação digital, entre outras, nas áreas de sustentabilidade, nomeadamente sobre o efeito crítico que as tecnologias digitais têm sobre a sociedade. Os autores apontam uma tendência na sociologia política, sob o ponto de vista social, a TD precisa ser considerada como uma possibilidade de avanço, mas também, e provavelmente mais importante, seus riscos precisam ser levados em consideração, como a exclusão digital de sociedades economicamente menos favorecidas.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método utilizado foi o da revisão integrativa, que consiste em utilizar métodos explícitos e sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos sobre a temática escolhida, além de sistematizar a coleta e análise de dados dos estudos incluídos na revisão (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011). Esse procedimento foi escolhido por possibilitar a síntese e análise do conhecimento científico já produzido sobre o tema investigado (Sordi *et al.*, 2017), além de minimizar o viés por meio de pesquisas bibliográficas exaustivas de estudos publicados, explicitando as decisões, procedimentos e conclusões dos revisores (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003).

Tranfield, *et al.* (2003) propõem três etapas para a revisão: planejamento da revisão; condução da revisão; e relatório e disseminação dos resultados da revisão.

1) PLANEJAMENTO DA REVISÃO: A pesquisa iniciou com a identificação da necessidade da revisão e contextualização do tema. A definição e contextualização do tema delimita e particulariza seu conteúdo evitando ambiguidade que poderia gerar desvio do foco da pesquisa (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011; PEREIRA; CUNHA, 2020). Nessa etapa, também, são definidos os critérios que constituem o protocolo da revisão, contribuindo para a objetividade da pesquisa, por meio de uma descrição explícita dos procedimentos que serão adotados nas próximas etapas da revisão

2) CONDUÇÃO DA REVISÃO: nessa etapa, definiu-se a estratégia de busca, a seleção de fontes de informação (bases de dados), delimitação temporal, idioma dos artigos, termos a serem pesquisados, as ferramentas para coleta e organização das informações e a definição dos critérios de inclusão e exclusão.

A string de busca ("*digital transformation*" AND "*sustainability*") orientou as pesquisas nas bases de dados Scopus e Web of Science, filtrando por título, resumo e palavras-chave; restringindo-se a artigos publicados em periódicos em língua inglesa, espanhola e portuguesa, com delimitação temporal (2017 até 30/08/2021).

Em seguida, as publicações foram exportadas para o gerenciador bibliográfico Endnote web® onde procedeu-se a remoção das publicações duplicadas, a leitura dos resumos, palavras-chave e títulos das publicações, organizando-os para a etapa de avaliação / seleção.

Tabela 1: artigos selecionados por base de dados

Ações empreendidas	Número de artigos
Levantamento bibliográfico na base Scopus	146
Levantamento bibliográfico na base Web of Science	(+)129
Duplicados	(-)97
Rejeitados em primeira análise	(-) 117
Total de artigos selecionados para leitura completa	= 61
Rejeitados em segunda análise	(-) 22
Total de artigos selecionados para discussão	= 39

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Na fase seguinte (seleção de dados), os artigos selecionados na etapa anterior foram exportados para a plataforma Rayyan® onde se realizou a leitura integral. Concluídas as leituras integrais dos manuscritos, foram considerados 39 estudos relevantes e adequados ao objetivo da pesquisa, que serão discutidos na seção seguinte.

ETAPA 3: RELATÓRIOS E DISSEMINAÇÃO: O relatório foi elaborado a partir da análise e discussão dos resultados, os quais serão apresentados na próxima seção.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos podem ser visualizados no Quadro 1, onde é apresentada a relação de artigos, sua procedência, ano de publicação em ordem decrescente, autores e as principais considerações/temáticas relacionadas.

Quadro 1 – Temas relacionados com a TDe a Sustentabilidade identificada nas análises

Autores	Categorias
BEIER et al. (2020); FELSBERGER, et al. (2020); FELSBERGER, REINER (2020); SARTAL, BELLAS, MEJÍAS, GARCÍA-COLLADO (2020); HUSHKO, et al. (2019); SZABO-SZENTGROTI, VEGVARI, VARGA (2021); BIRKEL, et al. (2019); HUSHKO, et al. (2019); NG, GHOBAKHLOO (2020); MIJATOVIĆ, UZELAC, STOILJKOVIĆ (2020)	A Indústria 4.0
BICAN, BREM (2020); DE BERNARDI, AZUCAR, FORLIANO, FRANCO (2020); GIL-GOMEZ, GUEROLA-NAVARRO, OLTRA-BADENES, LOZANO-QUILIS (2020); LI, CAO, LIU, LUO (2020); JONES, WYNN (2021)	Modelo de negócio, empreendedorismo, CRM (vendas, marketing e serviços); economia circular
BOUSQUET et al. (2020); LOKUGE, SEDERA, COOPER, BURSTEIN (2021)	Tecnologias da Informação para a Saúde; Sistemas de Informação
BROHM, KLEIN (2020); CIRUELA-LORENZO, DEL AGUILA-OBRA, PADILLA-MELENDZ, PLAZA-ANGULO (2020); HRUSTEK (2020); SOTT, et al. (2020); QUAYSON, BAI, OSEI (2020)	Agricultura Inteligente para o Clima, cooperativa; tecnologias agrícolas 4.0; Agricultura e pequeno agricultor
CASH, BELLOY (2020)	Modelo de coprodução e conhecimento

HETEMI, ORDIERES-MERE, NUUR (2020); DIEZ, CHOQUE, SANCHEZ, MUNOZ (2020); PÉREZ, OLTRABADENES, GUTIÉRREZ, GIL-GÓMEZ (2020); WONG, CHIA, KIU, LOU (2020); KAR, et al. (2019); ALCAIDE et al. (2021)	Cidades Inteligentes; planejamento e desenvolvimento urbano; projetos de infraestrutura e transportes
GUO, et al. (2020); GONZALEZ-ZAMAR, ABAD-SEGURA, LOPEZ-MENESES, GOMEZ-GALAN (2020); SA, SERPA (2020); MIAN, et al. (2020); TÜRKELI, SCHOPHUIZEN (2019)	Tecnologias Educacionais
JUNGE, STRAUBE (2020); ORDIERES-MERE, REMON, RUBIO (2020); YALINA, ROZAS (2020); SHINKEVICH, et al. (2020);	Logística e gestão da cadeia de suprimentos, manufatura e serviços

Fonte: Elaboração própria (2021).

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Transformação digital para a sustentabilidade

É de vital importância que as empresas líderes no mercado de TD mantenham seu entusiasmo positivo sobre os benefícios comerciais e sociais da transformação digital, mas que também temperam esse entusiasmo com uma vigilância contínua sobre os desafios da digitalização que reflete uma ampla gama de preocupações das partes interessadas e atreladas à sustentabilidade. Manter esse equilíbrio pode ser mais importante do que conduzir a própria agenda da digitalização (JONES; WYNN, 2021).

Nesse sentido, Lokuge, Sedera, Cooper e Burstein (2021) propõe um painel com diversas dimensões da TD na sustentabilidade ambiental, dividido em quatro áreas relacionadas: (i) considerando a sustentabilidade ambiental como o componente central do negócio e derivação de estratégia de TI, (ii) desenvolvimento de TI e capacidades de negócios em alinhamento com as prioridades de sustentabilidade ambiental da organização, (iii) alinhamento das capacidades de TI e negócios por meio de ações operacionalmente fundamentadas, (iv) processo de tomada de decisão e sua filosofia embutida nas prioridades de sustentabilidade ambiental e criação de sentido verde possibilitada por meio do processo de digitalização.

No entanto, um dos setores preocupados é o das indústrias que devem ser transparentes e minimizar os seus impactos ambientais (consumo de energia e recursos naturais) e sociais de suas operações para corresponder às expectativas da sociedade. O setor de fabricação, ao mesmo tempo, deve ser economicamente viável e socialmente responsável. O conceito de manufatura sustentável vem adquirindo atenção da comunidade e do setor industrial. As práticas de manufatura sustentável estão potencializadas por iniciativas da Indústria 4.0 (SARTAL, BELLAS, MEJÍAS, GARCÍA-COLLADO, 2020).

No que se refere à transformação na indústria, Birkel (2019) e Felsberger e Reiner (2020) argumentam que ela, Indústria 4.0, tem o potencial de ajudar as empresas a enfrentar os desafios da criação de valor econômico, social e ambiental. Cabe destacar que a indústria 4.0 oferece potencial significativo para a implementação da sustentabilidade (FELSBERGER, et al. (2020) alcançando o *Triple Bottom Line* da sustentabilidade nas três dimensões lucro, planeta e pessoas. Ainda, a 4.0 acompanha a crescente volatilidade dos mercados, as crescentes demandas e complexidade de produtos e serviços, bem como a redução dos ciclos de inovação. O potencial de benefício ecológico e social da Indústria 4.0 vai desde a redução do consumo de

energia e material, redução do desperdício até a redução da exclusão social. Do ponto de vista ecológico, as empresas atuam de forma sustentável se utilizarem exclusivamente recursos que podem ser reproduzidos e se apenas produzirem emissões que podem ser gerenciadas pelo ecossistema natural.

A perspectiva social inclui uma ação econômica que respeita o capital humano e social de uma sociedade e complementa do tripé da sustentabilidade. Devido às interdependências entre os aspectos econômico, ambiental e social, as diferentes dimensões da sustentabilidade devem ser consideradas na estratégia de TD (BIRKEL, 2019).

Para Felsberger *et al.* (2020) as inter-relações entre a Indústria 4.0, as capacidades dinâmicas da empresa e as distintas dimensões da sustentabilidade mostram que a reconciliação de capacidades dinâmicas medeia o impacto da Indústria 4.0 nos aspectos econômicos, ambientais e sociais. Hushko *et al.* (2021), por seu turno, distingue quatro grupos de países pelo nível de desenvolvimento sustentável dos recursos minerais. Sugere que existe uma forte ligação entre o desenvolvimento sustentável dos recursos minerais do país e indicadores como o índice do trilema de energia, a competitividade industrial e o nível da economia digital do país. Assim, países que possuem um alto nível de desenvolvimento de tecnologias digitais no setor, alcançam, respectivamente, as melhores posições no balanço do trilema da energia como critério para o desenvolvimento sustentável. Em geral, o desenvolvimento sustentável dos recursos minerais mundiais requer a implementação de padrões abrangentes da Indústria 4.0 em todos os processos de mineração.

Esta indústria "inteligente" será baseada nos princípios da estabilidade energética, ambiental e tecnológica. Alguns padrões e tendências importantes no desenvolvimento do mercado de recursos minerais são moldados por fatores naturais econômicos, ambientais, energéticos e tecnológicos. Entre eles é possível distinguir alta diferenciação na distribuição das reservas de recursos minerais explorados no mundo, que também possuem diferentes estimativas econômicas; consumo desigual de matérias-primas minerais; instabilidade de energia; o impacto ambiental das operações de mineração; políticas de preços variáveis para os principais recursos minerais; TD da indústria global (HUSHKO, 2021). Os autores propuseram um modelo para o desenvolvimento sustentável do mercado de recursos minerais no contexto da transição da indústria de mineração para a Indústria 4.0. Este modelo é baseado nos seguintes critérios: abastecimento do país em recursos minerais básicos; a qualidade da gestão dos recursos naturais; capacidade de competitividade industrial do país; evolução digital na indústria.

Apesar do reconhecimento da força da Indústria 4.0, sua adoção holística é limitada pelos requisitos de habilidades específicas de mão de obra. E, nesse sentido, o trabalhador deverá adquirir pensamento adaptativo, habilidades cognitivas e computacionais, predominantemente na área de tecnologia da informação, análise de dados, etc. Assim, a TD impacta no setor educacional. O ensino superior está se reinventando para se alinhar à perspectiva da Indústria 4.0, criando bases para talentos ou tendências futuras na sociedade. O conhecimento prático está ganhando novos significados e a implementação de tecnologias digitais no nível universitário precisa capacitar os novatos com as habilidades essenciais e vantagem competitiva para este mercado (MIAN, et al. (2020).

Para NG e Ghobakhloo (2020) a Indústria 4.0 caracteriza a quarta revolução industrial, por integrar técnicas digitais e de informação avançadas em ecossistemas de manufatura e operações para torná-los dinâmicos, interconectados e inteligentes. Para os autores a sustentabilidade energética está intimamente vinculada com a Indústria 4.0 e seus componentes como fábricas inteligentes. De acordo com Mijatović, Uzelac e Stoiljković (2020) a TD está encaminhando os negócios para o desenvolvimento sustentável, e as pessoas têm papel relevante no processo de TD e conseqüentemente no conceito Indústria 4.0. E nesse sentido, o uso de práticas de gestão de recursos humanos tem relação positiva com os processos de

implementação de tecnologias na indústria. Assim, além de destacar a importância da tecnologia, o estudo mostra a importância dos aspectos não tecnológicos na indústria, elementos essenciais para a sustentabilidade e ambientes em rápida mudança. Essas dinâmicas inerentes aos ambientes em rápida mudança, de acordo com Cash e Belloy (2020), exigem que o conhecimento esteja vinculado a ação para que problemas entre a sociedade (indivíduos) e natureza, os estressores, sejam resolvidos. O autor oferece, em seu estudo, um modelo baseado na coprodução de conhecimento amplo e focado para atender a critérios de relevância, credibilidade e legitimidade em resposta ao cenário de ação do conhecimento em mudança. Há indícios de que este modelo pode ser útil em situações definidas por mudanças dinâmicas no conhecimento-ação

Türkeli e Schophuizen (2019), por outra perspectiva, argumentam que a criação de valores múltiplos para aumentar o valor socioecológico, complementarmente ao valor econômico, necessita ativar a complexidade da TD também no contexto da educação, incorporada em valores e transições da economia circular com nichos personalizáveis de preferências de aprendizagem e jornadas de indivíduos e grupos, de forma mais ampla (e em evolução), de estruturas tecnológicas, organizacionais e institucionais. Enquanto na literatura sobre economia circular, o uso e o papel das tecnologias digitais são discutidos em termos de novos modelos e tecnologias de negócios econômicos circulares (digitais), a educação digital acerca da economia circular ainda é negligenciada. A transição para uma economia circular requer uma mudança sistêmica de contexto e conteúdo educacional em todos os níveis de ensino e aprendizagem. A transição, neste escopo abrangente, se relaciona a vários objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), metas e resultados relativos ao ODS 6 Água Limpa e Saneamento, ODS nº7 (Energia Limpa e Acessível), ODS nº8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), ODS nº9 (Indústria, Inovação, Infraestrutura), ODS nº11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS nº12 (Consumo e Produção Sustentáveis), ODS nº13 (Ação contra a mudança global do clima), ODS nº14 (Vida na Água), ODS nº15 (Vida terrestre) (TURKELI SCHOPHUIZEN, 2019). Para compreender os impactos e as interações entre a sociedade e os processos naturais do sistema terrestre, Guo, *et al.* (2020) propõe uma disciplina de engenharia, a ciência do *Big Earth Data*. Para os autores, ela oferece metodologias e ferramentas para gerar conhecimento a partir de dados complexos da observação da Terra e do sensoriamento social necessárias para uma sociedade humana sustentável é fundamental para a preservação do planeta. A ciência do Big Earth Data objetiva desenvolver teorias para compreender os mecanismos de como esse sistema físico-social atua e evolui (GUO, *et al.* (2020). Para Gonzalez-Zamar, Abad-Segura, Lopez-Meneses, Gomez-Galan (2020) o desenvolvimento sustentável global e a internalização da ética são possíveis por meio da educação e as tecnologias educacionais podem proporcionar este desenvolvimento. Os autores relatam que há uma tendência exponencial, principalmente nos últimos cinco anos em investigações em gestão das TIC para o alcance de educação sustentável no contexto do ensino superior GONZALEZ-ZAMAR, ABAD-SEGURA, LOPEZ-MENESES, GOMEZ-GALAN (2020). Em outro estudo, os resultados apontam a necessidade de melhorar o desenvolvimento digital sustentável no ensino superior, marcando profundos desafios para as instituições de ensino superior que precisará redefinir seus métodos de ensino, modelos de liderança e canais de interação, indo digitalmente para contribuir com o desenvolvimento sustentável no seu ensino (SA, SERPA, 2020);

Sob outra vertente, o tema da sustentabilidade tem se mostrado uma área de pesquisa relevante à concretização da sustentabilidade nos processos de produção de alimentos no setor da economia agrícola, fazendo emergir na literatura científica a Agricultura Inteligente. A teoria da Agricultura Inteligente pode corresponder aos requisitos em torno de temas como Responsabilidade Social Corporativa e Teoria do Valor Compartilhado (BROHM, KLEIN (2020). Além disso, o setor agrícola está se transformando por meio da agricultura inteligente

em termos de sustentabilidade econômica, social e ambiental. Em alguns países, as cooperativas, setor de baixa intensidade tecnológica, vão desenvolver um papel relevante no processo de adoção dessas tecnologias. A inovação digital em cooperativas agrícolas irá auxiliar na tomada de decisão, e neste sentido, o estudo de Ciruela-Lorenzo et al. (2020) apresenta uma ferramenta de diagnóstico digital para medir a inovação digital em cooperativas. Esta ferramenta já está sendo aplicada em dois casos de cooperativas agrícolas na Espanha. Isso irá contribuir para uma melhor compreensão da digitalização das cooperativas agrícolas no contexto da agricultura inteligente. A agricultura como uma atividade central da cadeia de valor é também responsável por conservar os recursos e garantir a sustentabilidade, ao mesmo tempo que abastece a comunidade com alimentos. A agricultura, apesar dos desafios como aquecimento global, mudanças climáticas, etc., está desenvolvendo mecanismos digitais para não comprometer a sua sustentabilidade. O uso de análise e processamento de dados, controle e gestão de operações agrícolas, bem como a automação dos processos está fortalecendo o negócio agrícola, auxiliando a sustentabilidade, sobrevivência e desenvolvimento nas cadeias de abastecimento. Entre outros resultados, a investigação apresenta norteadores do desenvolvimento sustentável alicerçados pela agricultura no contexto da TD (HRUSTEK (2020). Para Sott *et al.* (2020) a Agricultura 4.0 (A4.0) é um meio para enfrentar os desafios relacionados à produção agrícola no setor cafeeiro, e o estudo aborda os resultados de 23 clusters com diferentes níveis de desenvolvimento e maturidade. No setor cafeeiro a rede temática das tecnologias A4.0 por meio da Internet das Coisas, Aprendizado de Máquina e a geostatística são as mais utilizadas nas cadeias de suprimentos. Com a pandemia, os pequenos agricultores tiveram dificuldades com a cadeia de abastecimento de commodities agrícolas. As tecnologias digitais, entretanto, melhoraram as condições desses agricultores, a inclusão digital evitou que interrupções prejudicassem a subsistência dos mais vulneráveis na sociedade (QUAYSON, BAI, OSEI, 2020).

A inserção das tecnologias da TD também na logística e gestão da cadeia de suprimentos, desencadeiam processos mais sustentáveis, possibilitando melhorias na eficiência energética, otimizando os recursos logísticos, redução no percurso de transporte e distribuição. O estudo de Junge e Straube (2020) investigou esta possibilidade por meio de estudo de caso focando na dimensão social e ambiental da sustentabilidade. Há indícios que a implantação de tecnologias na logística e gestão da cadeia de abastecimento tem impacto favorável nessas dimensões da (JUNGE, STRAUBE, 2020). Mais dois estudos investigaram o impacto das tecnologias da transformação digital, Ordieres-Mere, Remon, Rubio (2020) exploraram este tema em dois estudos diferentes, nas indústrias de manufatura e de serviços. Analisaram vários elementos, como a criação de conhecimento possibilitada pela digitalização e a dimensão institucional. As novas tecnologias de aeronaves e operações aprimoradas em combustíveis sustentáveis demonstram o compromisso do setor de transporte aéreo com a sustentabilidade ambiental. A implementação da Indústria 4.0 neste setor apresentou alta relevância com o aumento da digitalização dos aeroportos. Sugere os autores que se torna necessária também a quantificação deste impacto na sustentabilidade da indústria de transporte aéreo. O autor destaca a importância da liderança na gestão do processo de digitalização, bem como a necessidade de uma estratégia integrada e convincente que pode apoiar melhorias diretas e indiretas (ORDIERES-MERE, REMON, RUBIO (2020). Outro visa tratar deste impacto no local de trabalho e sua contribuição para a sustentabilidade ambiental por meio de uma simulação com dados coletados do UIN *Sunan Ampel Surabaya*. A simulação é referente ao contexto em que é implementada a tecnologia digital da seguinte maneira: 50% dos funcionários mais distantes, 50% dos funcionários mais próximos e 50% aleatoriamente. Os resultados mostraram mais eficiência do combustível utilizado (de 44,39%, 5,61% e 22,2%). Os autores acreditam que o trabalho digital pode ser uma alternativa para melhores resultados da sustentabilidade ambiental global (YALINA, ROZAS, 2020).

A tecnologia digital oferece oportunidades, também para outros setores, em sustentabilidade energética. Os achados indicam que a TD no setor de energia (Energia 4.0) com redes inteligentes e otimização de processos são os impactos de sustentabilidade energética mais imediatos da Indústria 4.0. Quanto a gestão de consumo sustentável de recursos energéticos, o impacto da TD de acordo com Shinkevich, et al. (2020), permite a otimização e alta prontidão técnica na aplicação de recursos de processos de automação e relação direta com a sustentabilidade (SHINKEVICH, et al. (2020)). O setor de saúde é favorecido pela tecnologia, a exemplo, o Programa de Alergia Finlandês colabora com a MASK (*Mobile Airways Sentinel Network*). O programa utiliza a tecnologia digital em cuidados com a saúde. O efeito pode impactar o planeta devido a seus objetivos de compartilhamento de boas práticas de forma digital e centradas no doente (implantada já em 25 países). É evidente a relevância da troca de informações, dados e experiências digitais transfronteiriças para melhorar o atendimento ao paciente. O programa une informações sobre ferramentas para clima, tempo, poluição do ar e aerobiologia em aplicativos de saúde móveis, com alertas de riscos para os cidadãos (BOUSQUET et al., 2020).

A TD está levando empresas e organizações já estabelecidas a inovar seus modelos de negócios para a sua sobrevivência e agregação de valor, pensando nisso os autores De Bernardi, Azucar, Forliano e Franco (2020), destacam que tecnologias digitais podem trazer vantagens para a transformação da produção alimentar sistêmica, alinhando este setor com os desafios contemporâneos de sustentabilidade e saúde. O mesmo pode-se observar no setor de serviços, em que as soluções tecnológicas são essenciais para manter e o relacionamento com os clientes e uma gestão empresarial eficiente.

Em termos de sustentabilidade (econômica, ambiental e social), Gil-Gomez, Guerola-Navarro, Oltra-badenes, Lozano-Quilis (2020), propõem um modelo capaz de avaliar o efeito potencial de cada componente de CRM (vendas, marketing e serviços). Os resultados apontam que CRM pode, portanto, ser considerado uma espécie de TI Verde, orientada para a TDe a inovação do modelo de negócios sustentável. Em meio a tantos termos e conceitos utilizados na sociedade digital, Bican e Brem (2020) realizaram uma investigação para diferenciar uma lista de sete conceitos e exploram como eles se relacionam com a sustentabilidade. Os termos relacionados focam a dimensão economia: Digital, Modelo de Negócio, Modelo de Negócio Digital, Tecnologia Digital, Inovação Digital, TD e Empreendedorismo Digital. Os autores desenvolveram uma estrutura conceitual: Prontidão Digital, Tecnologia Digital e Modelos de Negócios Digitais e sua relação com a sustentabilidade e a Inovação mediada pela transformação digital.

Ainda em termos de modelos de negócios, é importante destacar o trabalho de Li, Cao, Liu e Luo (2020) sobre o uso da rede de plataforma digital para o ciclo de vida do produto e formar uma rede abrangente, e assim, promover atualizações sustentáveis em ambiente de economia digital.

4.2 Transformação digital para cidades e nações

Com base em uma pesquisa sobre cidades inteligentes localizadas nos países da Europa e da Ásia Central, Alcaide e colegas (2021) indicam que cidades inteligentes são mais frequentes nos países desenvolvidos. Além disso, cidades inteligentes em países de alto rendimento realizam o maior número de projetos inteligentes e disponibilizam mais ferramentas de participação eletrônica para o engajamento dos cidadãos nas decisões públicas. Essas diferenças são estatisticamente significativas para a criação de perfis de mídia social e plataformas de e-participação. Os resultados confirmam que essas cidades inteligentes têm

motivações para a criação de aplicativos oficiais direcionados para gerenciar todas as dimensões da cidade, como também a população busca melhoria na gestão dos serviços públicos, e sustentabilidade (ALCAIDE et al, 2021).

As cidades estão envolvidas e absorvidas pela transformação digital, especialmente aquelas preocupadas com a sustentabilidade e qualidade de vida dos cidadãos. Nos ambientes urbanos, ainda, as diferentes Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) favorecem TD e a aproximação de conceitos da cidade inteligente. As implementações dessas tecnologias precisam ser adaptadas para cada cidade visto que cada uma guarda as suas especificidades. Dessa forma, implementar ferramentas e mecanismos digitais permitam que as soluções urbanas e seus serviços sejam interoperáveis. Nessa linha, Diez, Choque, Sanchez e Munoz (2020) elaboraram um modelo de validação, desenvolvido no âmbito do projeto *SynchroniCity*, o qual busca verificar se as interfaces e os dados expostos pelas cidades estão alinhados com os padrões e modelos de dados adotados. Esse modelo é o habilitador técnico para a criação de certificados de interoperabilidade para cidades inteligentes. A avaliação dos benefícios deste modelo se dá pela verificação da interoperabilidade de 21 implantações de cidades inteligentes em todo o mundo que aderiram às diretrizes do *SynchroniCity* e confirmando seus resultados de cidades inteligentes uniformes e validadas para promover a replicabilidade do serviço (DIEZ, CHOQUE, SANCHEZ, MUNOZ, 2020).

Wong, Chia, Kiu e Lou (2020), exploraram a integração da tecnologia *blockchain* para tornar a cidade mais inteligente, segura e sustentável em várias áreas, como governança, mobilidade, ativos, serviços públicos, saúde e logística, e ajudar a cidade inteligente e sustentável a alcançar a sustentabilidade social, ambiental e econômica. Essa tecnologia pode facilitar a TD de uma cidade mais inteligente e sustentável (WONG, CHIA, KIU, LOU (2020)). O estudo de Hetemi, Ordieres-Mere e Nuur (2020) contribui com o tema, buscando acelerar a transição do setor de transporte por meio de projetos de infraestrutura com tecnologias como inteligência artificial (IA) e tecnologias de cidades inteligentes. Para os autores a integração dessas ferramentas se apresenta como oportunidade e também desafio. Eles propõem o uso da abordagem *Building Information Model* (BIM), no setor de infraestrutura para a tomada de decisão, pois ela possibilita a alavancagem de várias ferramentas e aplicativos de digitalização.

Para Szabo-Szentgroti (2021) a TD atual oferece à humanidade a oportunidade de reduzir as horas de trabalho, e o uso significativo do aumento do tempo de lazer será um dos principais desafios do futuro próximo. Não há dúvida de que para certos grupos da sociedade, em determinados momentos, essa realidade trará contratempos, além de desespero e incerteza. No entanto, todo o processo pode ser visto de forma positiva: por um lado, a TD abre um amplo leque de oportunidades para uma sociedade com vida mais digna e, por outro lado, do ponto de vista econômico, a digitalização será um elemento inevitável de competição.

Kar (2019) afirma que, enquanto as cidades inteligentes se concentram no escopo de uma cidade, as nações inteligentes têm uma perspectiva mais ampla e social, tendo como objetivo conectar iniciativas de cidades inteligentes e sustentabilidade em todo o país. Uma nação digital ou inteligente pode fornecer a seus cidadãos melhores serviços, soluções inovadoras para resolver problemas sociais e apoiar os cidadãos a serem inteligentes e com consciência sustentável. Além disso, as nações digitais têm a perspectiva de contribuir com pesquisas ainda mais amplas e com maior impacto no futuro.

Cabe destacar que o conceito de *Smart Cities* foi explorado por meio de uma análise bibliográfica que ajudaram a definir o conceito científico de *Smart Cities* e a medir a importância que o termo vem adquirindo ao longo dos anos. Também, o estudo indicou os principais indicadores da literatura, e os periódicos mais influentes sobre o tema e citações gerais, fator de Impacto Global de Cidades Inteligentes, número de publicações, publicações sobre Cidades Inteligentes ao redor do mundo, e sua correlação. Este estudo servirá de base

para o desenvolvimento de uma metodologia para o diagnóstico da maturidade de uma *Smart City* (PÉREZ; OLTRA-BADENES; GUTIÉRREZ; GIL-GÓMEZ, 2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo trouxe contribuições importantes sobre a relação entre a TD e o desenvolvimento sustentável. Apesar de muitas organizações enfrentarem desafios para adaptação à disrupção provocada pela TD, reuniu-se argumentos de que as novas tecnologias podem auxiliar as organizações a alinhar as suas operações aos padrões atuais da sociedade.

A lacuna na ciência sobre a relação da TD com a sustentabilidade ambiental permeia todos os campos do conhecimento, de forma inter e transdisciplinar. Isso pode evidenciar carência no alinhamento das ações das organizações que privilegiam o alcance da efetividade tecnológica e dos recursos financeiros, ao comprometimento com responsabilidade em relação ao *Triple Bottom Line* da sustentabilidade.

Portanto, muito além do caráter tecnológico, o processo de TD ou indústria 4.0 tem potencial para alcançar vantagem competitiva sustentável, através de cadeias de valor sustentáveis nos ambientes de produção e manufatura, redução de impactos ambientais negativos, redução de consumo de energia e recursos naturais, ao mesmo tempo em que é socialmente responsável e economicamente viável, ou de serviços com a redução de combustíveis a partir da inclusão do trabalho digital.

No contexto das cidades sustentáveis, as discussões acerca da TD surgem com certo nível de avanço, em que as populações das cidades inteligentes e sustentáveis preocupam-se com qualidade de vida e melhores serviços públicos. Isso pode ser pelo fato das tecnologias proporcionarem mais inclusão nos debates e participação nas políticas públicas. A temática permeia, inclusive, reflexões acerca das nações inteligentes e do papel do cidadão em manter uma conduta inteligente, responsável e sustentável e com espírito de coletividade.

A dimensão ambiental, comumente é o enfoque nas discussões, haja vista que os problemas ambientais globais como mudança climática, diminuição da biodiversidade, poluição dos oceanos, desigualdades se evidenciam progressivamente. A perspectiva ambiental abarca os resultados que todas as demais dimensões podem proporcionar. Assim, havendo êxito nas ações de TD nas dimensões institucional, econômica e social, conseqüentemente haverá benefícios resultantes para a dimensão ambiental.

Do ponto de vista social, a TD é tida como uma possibilidade de avanço, mas também, impõe riscos e desafios que precisam ser levados em consideração. Nesse aspecto, cabe reforçar que sociedades economicamente menos favorecidas podem sofrer com exclusão digital, remetendo aos governos e entidades a preocupação pela busca de medidas que neutralizem possíveis obstruções ao desenvolvimento nesse âmbito. Para futuras investigações, é pertinente focar na realização de estudos empíricos, a fim de relacionar a teoria com a prática e ampliar as discussões. Além disso, o estudo teve seu enfoque no desenvolvimento sustentável, sendo indicado que futuras pesquisas explorem como o processo de TD se relaciona aos Objetivos do desenvolvimento Sustentável. Por fim, esta pesquisa proporcionou contribuições teóricas acerca do processo da TD, nomeadamente no contexto do desenvolvimento sustentável, tópico ainda pouco explorado na literatura e que pode prospectar em avanços teórico-práticos para coordenar esforços, tanto de governos quanto da sociedade, para o alcance efetivo de metas e objetivos da sustentabilidade (ODS).

REFERÊNCIAS

- ALCAIDE MUÑOZ, Laura; RODRÍGUEZ BOLÍVAR, Manuel Pedro. Different Levels of Smart and Sustainable Cities Construction Using e-Participation Tools in European and Central Asian Countries. **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 3561, 2021.
- ANDRIOLE, S. J. The Hard Truth About Soft Digital Transformation. in **IT Professional**, vol. 22, no. 5, pp. 13-16, 1 Sept.-Oct. 2020. doi: 10.1109/MITP.2020.2972169.
- BARBOSA, G. S. DRACH, P. R.; CORBELLA, O. D. A *Conceptual Review of the Terms Sustainable Development and Sustainability*. **International Journal of Social Sciences Vol. III (2)**, 2014.
- BANSAL, Pratima. Sustainable development in an age of disruption. *Academy of Management Discoveries*, v. 5, n. 1, p. 8-12, 2019.
- BEIER, Grischa et al. **A green digitalized economy?** Challenges and opportunities for sustainability. 2020.
- BICAN, Peter M.; BREM, Alexander. Digital Business Model, Digital Transformation, Digital Entrepreneurship: Is There A Sustainable “Digital”? **Sustainability**, v. 12, n. 13, p. 5239, 2020.
- BIRKEL, Hendrik S. et al. Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers. *Sustainability*, v. 11, n. 2, p. 384, 2019.
- BOTELHO, Louise Lira Roedel; DE ALMEIDA CUNHA, Cristiano Castro; MACEDO, Marcelo. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011.
- BOUSQUET, Jean et al. Digital transformation of health and care to sustain Planetary Health: The MASK proof-of-concept for airway diseases—POLLAR symposium under the auspices of Finland’s Presidency of the EU, 2019 and MACVIA-France, Global Alliance against Chronic Respiratory Diseases (GARD, WHO) demonstration project, Reference Site Collaborative Network of the European Innovation Partnership on Active and Healthy Ageing. **Clinical and Translational Allergy**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2020.
- BROHM, Karl-Armin; KLEIN, Sascha. THE CONCEPT OF CLIMATE SMART AGRICULTURE—A CLASSIFICATION IN SUSTAINABLE THEORIES. **International Journal for Quality Research**, v. 14, n. 1, 2020.
- CASH, David W.; BELLOY, Patricio G. Salience, credibility and legitimacy in a rapidly shifting world of knowledge and action. **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 7376, 2020.
- CIRUELA-LORENZO, Antonio Manuel et al. Digitalization of agri-cooperatives in the smart agriculture context. proposal of a digital diagnosis tool. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1325, 2020.
- COHEN, Boyd; KIETZMANN, Jan. Ride on! Mobility business models for the sharing economy. **Organization & Environment**, v. 27, n. 3, p. 279-296, 2014.
- DE BERNARDI, Paola; AZUCAR, Danny. Innovative and sustainable food business models. In: *Innovation in Food Ecosystems*. Springer, Cham, 2020. p. 189-221.
- DIEZ, Luis et al. Fostering IoT Service Replicability in Interoperable Urban Ecosystems. **IEEE Access**, v. 8, p. 228480-228495, 2020.
- FELSBERGER, Andreas et al. The impact of Industry 4.0 on the reconciliation of dynamic capabilities: Evidence from the European manufacturing industries. **Production Planning & Control**, p. 1-24, 2020.
- FELSBERGER, Andreas; REINER, Gerald. Sustainable Industry 4.0 in production and operations management: A systematic literature review. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 7982, 2020.

FEROZ, Abdul Karim; ZO, Hangjung; CHIRAVURI, Ananth. Digital transformation and environmental sustainability: A review and research agenda. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1530, 2021.

GIL-GOMEZ, Hermenegildo et al. Customer relationship management: digital transformation and sustainable business model innovation. **Economic research-Ekonomska istraživanja**, v. 33, n. 1, p. 2733-2750, 2020.

GONZÁLEZ-MÁRQUEZ, I.; TOLEDO, V. M. Sustainability Science: A paradigm in crisis? **Sustainability**, v. 12, n. 7, p. 2802, 2020. DOI 10.3390/su12072802.

GONZÁLEZ-ZAMAR, Mariana-Daniela et al. Managing ICT for sustainable education: Research analysis in the context of higher education. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 8254, 2020.

GUO, Huadong et al. Big Earth Data science: an information framework for a sustainable planet. **International Journal of Digital Earth**, v. 13, n. 7, p. 743-767, 2020.

HAUSBERG, J. Piet et al. Research streams on digital transformation from a holistic business perspective: a systematic literature review and citation network analysis. **Journal of Business Economics**, v. 89, n. 8, p. 931-963, 2019.

HETEMI, Ermal; ORDIERES-MERÉ, Joaquin; NUUR, Cali. An institutional approach to digitalization in sustainability-oriented infrastructure projects: The limits of the building information model. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3893, 2020.

HININGS, B.; GEGENHUBER, T.; GREENWOOD, R. Digital innovation and transformation: An institutional perspective. **Information and Organization**, v. 28, n. 1, p. 52-61, 2018.

HRUSTEK, Larisa. Sustainability driven by agriculture through digital transformation. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 8596, 2020.

HUSHKO, S. et al. Sustainable development of global mineral resources market in Industry 4.0 context. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. p. 012025.

IMRAN, F.; SHAHZAD, K.; BUTT, A.; KANTOLA, J. Digital Transformation of Industrial Organizations: Toward an Integrated Framework. **Journal of Change Management: Reframing Leadership and Organizational Practice**, 2021.
<https://doi.org/10.1080/14697017.2021.1929406>

JONES, Peter; WYNN, Martin. The Leading Digital Technology Companies and Their Approach to Sustainable Development. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6612, 2021.

JUNGE, Anna Lisa; STRAUBE, Frank. Sustainable supply chains–digital transformation technologies’ impact on the social and environmental dimension. **Procedia Manufacturing**, v. 43, p. 736-742, 2020.

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.

KAR, Arpan Kumar et al. Moving beyond smart cities: Digital nations for social innovation & sustainability. **Information Systems Frontiers**, v. 21, n. 3, p. 495-501, 2019.

KASWAN, V et al Green Production Strategies. In **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**; Ferranti, P., Berry, E., Jock, A., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 492–500.

KRIMPMANN, D. IT/IS Organisation Design in the Digital Age – A Literature Review. **International Journal of Computer and Information Engineering**, Vol:9, No:4, 2015.

LI, Xiao et al. Sustainable business model based on digital twin platform network: The inspiration from haier’s case study in China. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 936, 2020.

LOKUGE, Sachithra et al. Digital Transformation: Environmental Friend or Foe? Panel Discussion at the Australasian Conference on Information Systems 2019. arXiv preprint arXiv:2010.12034, 2021

MARTINS, M. S.; FUNDO, P.; LOCATELLI KALIL, R. M.; ROSA, F. D. Community participation in the identification of neighbourhood sustainability indicators in Brazil. **Habitat International**, v. 113, p. 102370, 2021.

MATT, C.; HESS, T.; BENLIAN, A. Digital transformation strategies. *Bus Inf Syst Eng* 57: 339–343. 2015.

MARTINS, V. W. B. et al. Knowledge management in the context of sustainability: Literature review and opportunities for future research. **Journal of cleaner production**, v. 229, p. 489-500, 2019.

MIAN, Syed Hammad et al. Adapting universities for sustainability education in Industry 4.0: Channel of challenges and opportunities. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 6100, 2020.

MIJATOVIĆ, M. Dukić; UZELAC, O.; STOILJKOVIĆ, A. Effects of human resources management on the manufacturing firm performance: **Sustainable development approach**, 2020.

NG, Tan Ching; GHOBAKHLOO, Morteza. Energy sustainability and industry 4.0. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **IOP Publishing**, 2020. p. 012090.

ORDIERES-MERÉ, Joaquín; PRIETO REMON, Tomas; RUBIO, Jesús. Digitalization: An opportunity for contributing to sustainability from knowledge creation. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1460, 2020.

PACHECO, Roberto Carlos Dos Santos; DOS SANTOS, Neri; WAHRHAFTIG, Ramiro. TDna Educação Superior: modos e impactos na universidade. **Revista NUPEM**, v. 12, n. 27, p. 94-128, 2020.

PÉREZ, Luis Miguel et al. A Bibliometric Diagnosis and Analysis about Smart Cities. **Sustainability**, v. 12, n. 16, p. 6357, 2020.

QUAYSON, Matthew; BAI, Chunguang; OSEI, Vivian. Digital inclusion for resilient post-COVID-19 supply chains: smallholder farmer perspectives. **IEEE Engineering Management Review**, v. 48, n. 3, p. 104-110, 2020.

ORDIERES-MERÉ, Joaquín; PRIETO REMON, Tomas; RUBIO, Jesús. Digitalization: An opportunity for contributing to sustainability from knowledge creation. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1460, 2020.

SÁ, Maria José; SERPA, Sandro. The COVID-19 pandemic as an opportunity to foster the sustainable development of teaching in higher education. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 8525, 2020.

SARTAL, Antonio et al. The sustainable manufacturing concept, evolution and opportunities within Industry 4.0: A literature review. **Advances in Mechanical Engineering**, v. 12, n. 5, p. 1687814020925232, 2020.

SARC, Renato et al. Digitalisation and intelligent robotics in value chain of circular economy oriented waste management—A review. **Waste Management**, v. 95, p. 476-492, 2019.

SHARMA, Gagan Deep; YADAV, Anshita; CHOPRA, Ritika. Artificial intelligence and effective governance: A review, critique and research agenda. **Sustainable Futures**, v. 2, p. 100004, 2020.

SHAUGHNESSY, H. **Creating digital transformation: Strategies and steps**. *Strategy and Leadership*, 46(2), 19–25, 2018. <https://doi.org/10.1108/SL-12-2017-0126>

SHINKEVICH, Marina V. et al. Management of sustainable consumption of energy resources in the conditions of digital transformation of the industrial complex. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 10, n. 5, p. 454, 2020.

SORDI, Victor Fraile et al. Fatores determinantes ao compartilhamento de conhecimento nas organizações: a perspectiva bidirecional. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 10, n. 2, p. 225-246, 2017.

SOTT, Michele Kremer et al. Precision techniques and agriculture 4.0 technologies to promote sustainability in the coffee sector: state of the art, challenges and future trends. **IEEE Access**, v. 8, p. 149854-149867, 2020.

STEWART, Frances. The Sustainable Development Goals: a comment. **Journal of Global Ethics**, 11:3, 2015. 288-293. DOI: 10.1080/17449626.2015.1084025

SZABÓ-SZENTGRÓTI, Gábor; VÉGVÁRI, Bence; VARGA, József. Impact of Industry 4.0 and Digitization on Labor Market for 2030-Verification of Keynes' Prediction. **Sustainability**, v. 13, n. 14, p. 7703, 2021.

TÜRKELI, Serdar; SCHOPHUIZEN, Martine. Decomposing the complexity of value: integration of digital transformation of education with circular economy transition. **Social Sciences**, v. 8, n. 8, p. 243, 2019.

UKKO, Juhani et al. Sustainability strategy as a moderator in the relationship between digital business strategy and financial performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 236, p. 117626, 2019.

UNITED NATIONS: **Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. Resolution of the General Assembly 70/ 1. 2015 Disponível em: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Acesso em: abril de 2021.

VAN BELLEN, **Ambient**. soc. vol.7 no.1 Campinas Jan./June 2004 <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2004000100005>

VARGAS, L., MAC-LEAN, C., HUGE, J. The maturation process of incorporating sustainability in universities. **Int. J. Sustain. High Educ.** 20 (3), 2019. pp.441e 451.

VERHOEF, Peter C. et al. Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. **Journal of Business Research**, v. 122, p. 889-901, 2021.

VIAL, Gregory. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. **The Journal of strategic information systems**, v. 28, n. 2, p. 118-144, 2019.

VON KUTZSCHENBACH, Michael; DAUB, Claus-Heinrich. **Digital Transformation for Sustainability: A Necessary Technical and Mental Revolution**. In: *New Trends in Business Information Systems and Technology*. Springer, Cham, 2021. p. 179-192.

WCED. World Commission on Environment and Development. **Our Common Future (BRUNDTLAND)**. 1987. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Acesso em: Maio de 2021.

WEERSINK, Alfons et al. Opportunities and challenges for big data in agricultural and environmental analysis. **Annual Review of Resource Economics**, v. 10, p. 19-37, 2018.

WONG, Phui Fung et al. Potential integration of blockchain technology into smart sustainable city (SSC) developments: a systematic review. **SmartandSustainableBuiltEnvironment**, 2020.

YALINA, N.; ROZAS, I. S. Digital workplace: digital transformation for environmental sustainability. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. **IOP Publishing**, 2020. p. 012022.

YIGITCANLAR, Tan et al. Artificial intelligence technologies and related urban planning and development concepts: How are they perceived and utilized in Australia?. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 6, n. 4, p. 187, 2020.