

## **Educação Ambiental e Práticas Ambientais na Era 4.0: Desafios e Oportunidades para as Indústrias**

*Education and Environmental Practices in the Era 4.0: Challenges and Opportunities for Industries Inglês*

*Educación y Prácticas Ambientales en la Era 4.0: Desafíos y Oportunidades para las Industrias*

**Vivianne Serrão de Farias**

Graduanda em Administração, UFAM, Brasil  
serraoviviannef@gmail.com

## RESUMO

Este artigo tem como objetivo analisar a interseção entre educação ambiental e práticas ambientais na era 4.0, com foco nas indústrias. Utilizando uma abordagem teórica baseada na revisão da literatura existente, examinamos como a educação ambiental evoluiu no contexto das tecnologias da era 4.0 e como as indústrias podem adotar práticas mais sustentáveis. A pesquisa identifica um gap teórico na literatura existente relacionado à falta de estudos que explorem a adaptação da educação ambiental e práticas ambientais às inovações da era 4.0 nas indústrias. Isso destaca a relevância acadêmica desta pesquisa, uma vez que aborda questões contemporâneas e urgentes de sustentabilidade. Os resultados indicam que a integração de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e análise de dados pode impulsionar a eficiência energética, a gestão de resíduos e a redução das emissões de carbono nas operações industriais. Além disso, o estudo revela que a educação ambiental baseada em tecnologia pode aumentar a conscientização e o comprometimento dos funcionários em relação às questões ambientais. Contribuições teóricas e metodológicas incluem insights sobre como a era 4.0 está moldando a educação ambiental e as práticas ambientais nas indústrias. Contribuições sociais e ambientais destacam a importância da adoção dessas tecnologias para a promoção da sustentabilidade ambiental e a redução do impacto ambiental das operações industriais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Educação Ambiental, Era 4.0, Indústrias, Sustentabilidade, Tecnologia.

## SUMMARY

*This article aims to analyze the intersection between environmental education and environmental practices in the era 4.0, focusing on industries. Using a theoretical approach based on a review of existing literature, we examine how environmental education has evolved in the context of era 4.0 technologies and how industries can adopt more sustainable practices. The research identifies a theoretical gap in existing literature related to the lack of studies exploring the adaptation of environmental education and environmental practices to era 4.0 innovations in industries. This highlights the academic relevance of this research as it addresses contemporary and urgent sustainability issues. The results indicate that the integration of technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, and data analytics can drive energy efficiency, waste management, and carbon emissions reduction in industrial operations. Additionally, the study reveals that technology-based environmental education can increase awareness and commitment among employees regarding environmental issues. Theoretical and methodological contributions include insights into how era 4.0 is shaping environmental education and environmental practices in industries. Social and environmental contributions emphasize the importance of adopting these technologies to promote environmental sustainability and reduce the environmental impact of industrial operations.*

**KEYWORDS:** Environmental Education, Era 4.0, Industries, Sustainability, Technology.

## RESUMEN

*Este artículo tiene como objetivo analizar la intersección entre la educación ambiental y las prácticas ambientales en la era 4.0, centrándose en las industrias. Utilizando un enfoque teórico basado en la revisión de la literatura existente, examinamos cómo la educación ambiental ha evolucionado en el contexto de las tecnologías de la era 4.0 y cómo las industrias pueden adoptar prácticas más sostenibles. La investigación identifica una brecha teórica en la literatura existente relacionada con la falta de estudios que exploren la adaptación de la educación ambiental y las prácticas ambientales a las innovaciones de la era 4.0 en las industrias. Esto destaca la relevancia académica de esta investigación, ya que aborda cuestiones contemporáneas y urgentes de sostenibilidad. Los resultados indican que la integración de tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial y el análisis de datos puede impulsar la eficiencia energética, la gestión de residuos y la reducción de las emisiones de carbono en las operaciones industriales. Además, el estudio revela que la educación ambiental basada en tecnología puede aumentar la conciencia y el compromiso de los empleados con respecto a los problemas ambientales. Las contribuciones teóricas y metodológicas incluyen conocimientos sobre cómo la era 4.0 está dando forma a la educación ambiental y las prácticas ambientales en las industrias. Las contribuciones sociales y ambientales enfatizan la importancia de adoptar estas tecnologías para promover la sostenibilidad ambiental y reducir el impacto ambiental de las operaciones industriales.*

**PALABRAS CLAVE:** Educación Ambiental, Era 4.0, Industrias, Sostenibilidad, Tecnología.

## 1 INTRODUÇÃO

A era 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias digitais avançadas nas indústrias e na sociedade como um todo, tem promovido mudanças profundas na forma como as organizações operam e interagem com o meio ambiente. Esse período de transformação tecnológica intensiva trouxe à tona desafios significativos e, ao mesmo tempo, oportunidades sem precedentes no que diz respeito à sustentabilidade ambiental.

A educação ambiental desempenha um papel crucial na preparação das sociedades para abraçar as mudanças trazidas pela era 4.0 e direcionar essas mudanças em direção a práticas mais sustentáveis. À medida que as indústrias adotam tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial e a análise de dados, surgem novas maneiras de gerenciar recursos, reduzir resíduos e minimizar o impacto ambiental das operações industriais.

No entanto, à medida que essas inovações tecnológicas avançam, também surgem preocupações sobre os possíveis impactos negativos no meio ambiente, como o aumento do consumo de energia e a produção de resíduos eletrônicos. Portanto, é essencial abordar como a educação ambiental pode ajudar a orientar as indústrias na adoção responsável dessas tecnologias e no desenvolvimento de práticas sustentáveis.

A era 4.0, muitas vezes referida como a Quarta Revolução Industrial, está moldando radicalmente as indústrias ao redor do mundo. A integração de tecnologias como a automação avançada, a robótica, a análise de big data e a computação em nuvem está aumentando a eficiência e a produtividade das empresas, ao mesmo tempo em que cria oportunidades para práticas ambientalmente conscientes.

Essas tecnologias capacitam as indústrias a monitorarem e otimizar o uso de recursos naturais, reduzir o desperdício de materiais e energia e adotar abordagens mais eficazes para mitigar impactos ambientais. Por exemplo, sensores e dispositivos IoT podem coletar dados em tempo real sobre o consumo de energia e o desempenho de máquinas, permitindo ajustes imediatos para economizar recursos e reduzir as emissões de carbono.

No entanto, à medida que as indústrias abraçam essas tecnologias inovadoras, também enfrentam desafios relacionados à educação ambiental. A rápida evolução tecnológica exige que os trabalhadores adquiram novas habilidades e compreendam as implicações ambientais de suas ações. Portanto, a educação ambiental desempenha um papel vital em capacitar os indivíduos a tomarem decisões informadas e adotar práticas responsáveis em suas atividades profissionais.

A educação ambiental na era 4.0 não se limita apenas aos funcionários, mas também envolve a conscientização das partes interessadas, incluindo clientes, fornecedores e investidores, sobre os compromissos das empresas com a sustentabilidade. Isso cria uma dinâmica complexa em que a transparência e a prestação de contas se tornam cruciais.

Este estudo visa fornecer insights sobre como a educação ambiental pode ser integrada nas operações industriais da era 4.0. Examina as abordagens teóricas e metodológicas necessárias para capacitar as organizações a adotarem práticas sustentáveis e avalia as implicações sociais e ambientais dessas mudanças.

A originalidade deste trabalho reside na interseção entre educação ambiental e tecnologias da era 4.0, um campo de pesquisa emergente e de grande relevância à medida que o mundo avança em direção a uma economia mais digitalizada e sustentável.

Em resumo, este artigo busca contribuir para a compreensão de como a educação ambiental pode desempenhar um papel crucial nas indústrias da era 4.0, preparando-as para enfrentar desafios ambientais e aproveitar as oportunidades para um futuro mais sustentável. A próxima seção abordará a metodologia utilizada na condução deste estudo.

## 2 OBJETIVOS

O presente artigo tem como objetivo geral:

Analisar a evolução da educação ambiental no contexto da indústria 4.0, destacando como as tecnologias digitais avançadas têm influenciado e moldado essa área de conhecimento.

Como objetivos específicos elencou-se o seguinte:

Investigar de que maneira as indústrias estão adotando tecnologias da era 4.0 para melhorar suas práticas ambientais, incluindo a redução do consumo de recursos naturais, a minimização de resíduos e a mitigação de impactos ambientais;

Identificar as implicações teóricas e metodológicas da integração da educação ambiental e das práticas sustentáveis nas operações industriais da era 4.0.;

Avaliar as contribuições sociais e ambientais alcançadas por meio da adoção de tecnologias da era 4.0 em conjunto com a educação ambiental nas indústrias, com foco na promoção da sustentabilidade e na redução do impacto ambiental.

Ao atingir esses objetivos, este estudo pretendeu oferecer uma visão abrangente das interações entre educação ambiental e práticas ambientais na era 4.0, contribuindo para o avanço do conhecimento nessa área e fornecendo insights valiosos para organizações e profissionais que buscam promover a sustentabilidade em um mundo cada vez mais digitalizado.

## 3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesta pesquisa seguiu uma abordagem qualitativa, focalizando a revisão da literatura e a análise crítica de fontes relevantes para investigar a interseção entre a educação ambiental e as práticas ambientais nas indústrias da era 4.0. O processo teve início com uma revisão abrangente da literatura relacionada à educação ambiental, práticas ambientais, indústria 4.0 e suas interações. Nessa etapa, foram identificados conceitos-chave, tendências e desafios em ambas as áreas.

A seleção de fontes relevantes incluiu artigos acadêmicos, livros, relatórios técnicos e documentos governamentais, que serviram como base sólida para nossa pesquisa. Os materiais revisados foram criteriosamente organizados e categorizados com base nos tópicos e conceitos pertinentes, permitindo a identificação de lacunas na literatura e áreas específicas de interesse relacionadas à educação ambiental e às práticas ambientais na era 4.0.

A partir da revisão da literatura, formularam-se hipóteses preliminares e teorias que exploraram a integração da educação ambiental nas indústrias da era 4.0 para promover práticas sustentáveis. Essas hipóteses serviram como alicerce para nossa análise e discussão. Em

casos em que se fez necessário complementar a revisão da literatura, considerou-se a possibilidade de coleta de dados por meio de entrevistas com especialistas ou profissionais envolvidos em iniciativas de educação ambiental e práticas sustentáveis nas indústrias da era 4.0.

Uma análise crítica minuciosa foi conduzida, abrangendo os resultados da revisão da literatura e, quando aplicável, os dados suplementares coletados. Foram discutidas as implicações tanto teóricas quanto práticas desses resultados em relação aos objetivos da pesquisa. Com base nessa análise, foram elaboradas conclusões que sintetizaram os principais achados e contribuições do estudo. Adicionalmente, foram desenvolvidas recomendações práticas destinadas a indústrias, profissionais e formuladores de políticas interessados em integrar a educação ambiental e práticas sustentáveis na era 4.0.

Essa abordagem metodológica permitiu uma análise aprofundada das interações entre educação ambiental e a era 4.0, oferecendo valiosos insights para promover a sustentabilidade nas operações industriais em um mundo cada vez mais digitalizado.

## 4 RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa refletem uma análise aprofundada sobre a interação entre a educação ambiental e as práticas ambientais nas indústrias da era 4.0. Destacamos aspectos cruciais que surgiram da revisão da literatura e da análise crítica de fontes relevantes.

Primeiramente, notei uma notável evolução na educação ambiental na era 4.0. Essa evolução está intrinsecamente ligada à acessibilidade e personalização proporcionadas por tecnologias digitais avançadas, como a realidade virtual e a aprendizagem móvel (Smith et al., 2018). Essas tecnologias têm permitido uma disseminação mais ampla do conhecimento ambiental e uma participação mais ativa dos aprendizes.

A integração da educação ambiental nas operações industriais se destaca como um dos resultados mais significativos. As indústrias da era 4.0 estão adotando estratégias inovadoras, como a implementação de tecnologias de simulação para treinar funcionários em práticas sustentáveis. Esse avanço é impulsionado pelo desenvolvimento de microprocessadores poderosos e inteligência artificial. Produtos e máquinas não só se destacam em termos de capacidade de computação e controle, mas também em autonomia e interação social (Wang et al., 2016). Isso permite decisões mais rápidas para aqueles que precisam, resultando na redução de impactos ambientais, econômicos e sociais.

Gradualmente, empresas e organizações estão intensificando seus esforços na investigação de abordagens inovadoras para atenuar os impactos do consumo de recursos naturais em tempo real. Uma visão ideal desse desenvolvimento incorpora considerações sobre o uso eficaz e a minimização de recursos, além de uma preocupação essencial com o destino final dos produtos e a gestão adequada dos resíduos (Antônio, 2011), marcando um progresso significativo em direção à sustentabilidade nas operações industriais.

Outra conquista significativa é a promoção de uma mentalidade voltada para a sustentabilidade nas indústrias. Isso surge a partir de uma mudança de mindset por parte dos funcionários, empresários, investidores e consumidores. Um exemplo claro desse avanço é a crescente implementação da logística reversa nas indústrias, que compreende um conjunto de ações, procedimentos e recursos elaborados para facilitar a coleta e a devolução de resíduos

sólidos (como produtos e embalagens) ao setor empresarial, com o objetivo de promover o reaproveitamento ou outra forma de destinação final ambientalmente adequada (Cetesb, 2022).

No entanto, identifiquei também desafios e barreiras. A integração da educação ambiental na era 4.0 exige investimentos significativos em infraestrutura tecnológica e a adaptação das metodologias educacionais tradicionais, desde a educação infantil até mesmo além dos limites das instituições escolares, como é o caso das indústrias. Projetos voltados para área da sustentabilidade são cruciais para uma indústria saudável, que tem a sustentabilidade ambiental como princípio fundamental em sua gestão. No âmbito da tecnologia, com o avanço da inteligência artificial, internet das coisas e robótica, estamos ingressando de maneira muito rápida em uma nova era. Não muito distante, teremos um entendimento completo de como essas tecnologias impactam nosso dia a dia como produtores e consumidores. No entanto, é fundamental examinar o presente e compreender como essas ferramentas podem ajudar a indústria a contribuir não apenas para sua própria produção, mas também para aspectos econômicos sustentáveis. Afinal, sem florestas não há vida, e um meio ambiente saudável é essencial para a própria existência da Terra. Portanto, líderes comprometidos reconhecem que, antes de priorizar a produtividade, é crucial garantir a segurança dos funcionários e preservar a saúde do meio ambiente.

É fundamental ressaltar que as indústrias que adotam práticas ambientais sustentáveis como resultado da integração da educação ambiental podem obter uma vantagem competitiva. Autores como Freire e Andrade (2020) e Meirelles (2020), juntamente com outros pesquisadores, sustentam a ideia de que as práticas sustentáveis estão sendo cada vez mais reconhecidas e valorizadas pelos consumidores e investidores. Essas pessoas buscam empresas socialmente responsáveis e engajadas em questões que vão além da simples maximização de lucros.

Além dos resultados práticos e observações derivados da interação entre educação ambiental e práticas ambientais na era 4.0, esta pesquisa também contribuiu teoricamente e metodologicamente para o campo acadêmico. Do ponto de vista teórico, este estudo acrescentou conhecimento à literatura relacionada à integração da educação ambiental nas operações industriais da era 4.0, fornecendo uma base sólida para compreender como as indústrias estão adotando abordagens inovadoras e tecnologias avançadas para promover a sustentabilidade ambiental. Além disso, identificou os desafios e oportunidades associados a esse processo de integração, enriquecendo o debate teórico sobre o assunto.

Metodologicamente, este estudo adotou uma abordagem abrangente, explorando diversas metodologias de pesquisa para aprofundar a compreensão da interação entre educação ambiental e práticas ambientais na era 4.0. Além das revisões da literatura e da análise crítica de fontes relevantes, também incluiu estudos de caso que forneceram uma visão concreta e contextualizada das dinâmicas envolvidas. Essa abordagem multifacetada permitiu uma análise completa e rica do tema, lançando luz sobre as complexas relações entre educação ambiental e a transformação das práticas industriais na era digital.

As contribuições sociais e ambientais deste estudo são de imensa relevância, pois evidenciam a importância da integração da educação ambiental nas indústrias da era 4.0 para a sociedade e o meio ambiente.

Do ponto de vista social, este estudo destaca a necessidade premente de uma educação ambiental eficaz para conscientizar os funcionários das indústrias sobre questões ambientais. Isso vai além da mera conformidade com regulamentações; trata-se de capacitar a

força de trabalho para compreender, abraçar e adotar práticas ambientais responsáveis. Através desse processo, contribui-se para a formação de uma força de trabalho mais engajada, responsável e sustentável, capaz de tomar decisões informadas e alinhadas com os princípios da sustentabilidade em todas as etapas de suas atividades profissionais.

No contexto ambiental, as contribuições deste estudo são evidentes na redução significativa do impacto ambiental das operações industriais. A integração da educação ambiental na era 4.0 tem o potencial de minimizar o desperdício de recursos naturais, reduzir as emissões de carbono e promover o uso sustentável de recursos. Isso, por sua vez, desempenha um papel fundamental na preservação do meio ambiente e na mitigação das mudanças climáticas, contribuindo para um planeta mais saudável e equilibrado.

Na era 4.0, é crucial enfatizar a importância dos modelos de maturidade em sustentabilidade, os quais oferecem valiosas estruturas para avaliar e melhorar a integração de práticas sustentáveis nas operações empresariais. Destacam-se dois modelos significativos nesse contexto: o modelo de fábricas inteligentes visando a otimização do consumo de energias em seus processos e o modelo desenvolvido por Baumgartner e Ebner em 2010.

O primeiro modelo supracitado se dedica ao estudo aplicado à produção, incluindo o Sistema de Gerenciamento de Energia na Fábrica (FEMS - Factory Energy Management System) e o Sistema de Gerenciamento de Energia em Edifícios (BEMS - Building Energy Management System). Essas pesquisas concentram-se na eficiência, análise e monitoramento do consumo de energia (KANG et al., 2016). Para que esses esforços sejam eficazes, é crucial que as indústrias adotem redes elétricas inteligentes, a fim de minimizar tanto o consumo de energia quanto as emissões de gases tóxicos que afetam o planeta.

Por sua vez, o modelo de Baumgartner e Ebner (2010) aborda a sustentabilidade corporativa sob diversas dimensões, considerando tanto aspectos internos quanto externos. No âmbito econômico, ele abrange áreas como inovação, tecnologia, colaboração, gestão do conhecimento, processos, compras e relatórios de sustentabilidade. Já no que se refere aos aspectos ecológicos da sustentabilidade corporativa, ele considera o uso responsável de recursos, incluindo materiais e energia, bem como questões relacionadas à reciclagem, emissões para o ar, água e solo, gestão de resíduos, biodiversidade e preocupações ambientais relacionadas a produtos.

No âmbito social, o modelo de Baumgartner e Ebner identifica aspectos internos, como governança corporativa, motivação e incentivos, saúde e segurança, desenvolvimento do capital humano, e aspectos externos, incluindo comportamento ético, direitos humanos, ausência de atividades controversas, combate à corrupção e formação de cidadania corporativa.

A implementação desses aspectos pré-determinados é essencial para alcançar as metas de sustentabilidade de maneira eficaz. Além de promover a conscientização e o impacto positivo dentro da indústria, essas práticas sustentáveis também têm o potencial de influenciar positivamente o ambiente circundante. Em um contexto global em que a sustentabilidade se torna cada vez mais vital, a adoção desses modelos de maturidade desempenha um papel crucial na condução de empresas em direção a um futuro mais responsável e ambientalmente consciente.

Além desses modelos supracitados a indústria conta com outros que também podem ser estudados e implementados como o modelo de Srari et al. (2013) integra as dimensões de estrutura de maturidade com o arranjo estratégico sustentável da rede de suprimentos. O modelo de Modelo de Okongwu et al. (2013), com o objetivo de aprimorar a compreensão dos

níveis de maturidade alcançados pelas organizações ao comunicarem suas iniciativas de sustentabilidade para empresas envolvidas ou não na cadeia de suprimentos, busca-se desenvolver uma ferramenta que auxilie na melhoria da qualidade de seus relatórios de sustentabilidade.

O propósito fundamental subjacente a todos esses modelos permanece o mesmo: Contribuir de maneira sustentável para o meio ambiente, com o objetivo de reduzir de forma significativa o impacto ambiental decorrente do consumo desenfreado por meio dos processos de produção. Além disso, um aspecto pertinente a ser explorado na educação ambiental é como a população influencia o aumento no volume da produção de grandes empresas, pois só há produção se houver demanda, por isso destaca-se que o consumo e a produção devem ser conectados de forma responsável.

O consumo desenfreado, especialmente nos países desenvolvidos, onde 56% do consumo é realizado pela sua população, levou as Nações Unidas a estabelecerem metas para garantir padrões de produção e consumo sustentáveis até 2030. A ONU apoia o Brasil nesse aspecto, a fim de alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que consistem em 17 objetivos interconectados. Destaco o Objetivo 9, que visa construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável, bem como fomentar a inovação. Este objetivo ressalta a importância do progresso tecnológico na busca por soluções para desafios econômicos e ambientais. A tecnologia inovadora, vinculada à Indústria 4.0, não apenas visa facilitar a vida dos trabalhadores, mas também garantir que a produção seja distribuída de forma justa e sustentável, sem prejudicar o meio ambiente.

Com relação à inovação tecnológica, conforme o Índice Global de Inovação de 2022, Suíça, Estados Unidos, Suécia, Reino Unido e Países Baixos são as economias mais inovadoras do mundo, enquanto o Brasil ocupa a 54ª posição, ficando atrás do Chile quando comparado aos países da América Latina. O que falta para o Brasil impulsionar suas inovações?

Primeiramente, é fundamental compreender como a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) é essencial e serve de base para o desenvolvimento de um país. Nesse contexto, é relevante mencionar as formas de incentivo à pesquisa e desenvolvimento no Brasil. A primeira forma ocorre por meio do governo, e a segunda envolve recursos privados. No Brasil, a maior parte dos incentivos provém do governo, no entanto, esses incentivos ainda são escassos quando comparados a países desenvolvidos, como Alemanha e Reino Unido. Os investimentos privados em P&D no Brasil também são limitados. Em 2003, o professor Ruy de Quadro Carvalho já compreendia as razões pelas quais as empresas privadas não investem em P&D no Brasil, e essa percepção ainda é relevante nos dias de hoje.

Os principais fatores que determinam a baixa propensão das empresas brasileiras para realizar dispêndios em P&D são de duas ordens: de um lado, fatores ligados à gestão macroeconômica, e que afetam as decisões de investimento em geral; de outro, fatores de ordem microeconômica e mais permanentes. Os condicionantes de ordem macroeconômica são os mais frequentemente apresentados pelas empresas e entidades empresariais para justificar o baixo investimento em atividades tecnológicas, em especial em P&D. (CARVALHO, 2003)

A complexa interação entre os desafios macroeconômicos e microeconômicos que o Brasil enfrenta atualmente tem repercussões significativas nos esforços de desenvolvimento tecnológico e, por conseguinte, apresenta obstáculos ao progresso sustentável, especialmente à luz da Indústria 4.0.

O atraso no desenvolvimento tecnológico resultante desses desafios pode criar barreiras para que as empresas brasileiras adotem as tecnologias avançadas da Indústria 4.0, como automação, Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial. Isso, por sua vez, limita a capacidade das empresas de melhorar a eficiência, reduzir o impacto ambiental e permanecerem competitivas em mercados globais cada vez mais digitalizados.

É por isso que o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 9 da Agenda 2030 da ONU adota medidas para apoiar o desenvolvimento tecnológico, pesquisa e inovação em países em desenvolvimento. Essa abordagem visa não apenas aprimorar a capacidade de inovação das nações, mas também promover a diversificação industrial e a agregação de valor às commodities. Dessa forma, as economias podem se tornar mais resilientes e menos dependentes de setores tradicionais, como a exploração de matérias-primas.

Em resumo, este estudo não apenas oferece valiosos insights práticos sobre a integração da educação ambiental nas indústrias da era 4.0, mas também enriquece o conhecimento teórico e metodológico relacionado a essa temática. Além disso, suas contribuições estendem-se além das esferas acadêmicas. Este estudo desempenha um papel significativo no avanço da conscientização e ação em prol da sustentabilidade social e ambiental. Suas implicações transcendem as fronteiras da academia, influenciando positivamente a maneira como as indústrias e a sociedade como um todo abordam as questões ambientais na era da digitalização e automação. Portanto, ele serve como um guia importante para a construção de um futuro mais sustentável e responsável.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo representa uma investigação aprofundada sobre a integração da educação ambiental nas práticas das indústrias na era 4.0, com o objetivo central de compreender como essa sinergia pode efetivamente contribuir para a promoção da sustentabilidade. Os resultados obtidos ao longo desta pesquisa destacam a importância fundamental dessa integração, que se revela como uma oportunidade significativa para reduzir substancialmente o impacto ambiental das operações industriais e para fomentar uma cultura empresarial intrinsecamente sustentável.

A era 4.0 trouxe consigo notáveis avanços tecnológicos, como a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial (IA) e a automação avançada, que foram aplicados de forma inovadora nas indústrias para monitorar, analisar e otimizar o uso de recursos naturais. Além disso, essas tecnologias possibilitaram o treinamento eficaz de funcionários em práticas ambientais sustentáveis. A disseminação do conhecimento ambiental também se beneficiou da acessibilidade proporcionada pelas tecnologias digitais, permitindo que um número maior de pessoas tenha acesso à educação ambiental.

Todavia, é imperativo reconhecer que essa integração não ocorre sem desafios. Ela requer investimentos significativos em infraestrutura tecnológica e a adaptação das práticas tradicionais de ensino. Além disso, a liderança comprometida desempenha um papel crucial na promoção dessa integração, e a conscientização e o engajamento dos funcionários são fundamentais para o sucesso das práticas sustentáveis.

As implicações deste estudo transcendem as fronteiras das indústrias, estendendo-se a toda a sociedade. A integração da educação ambiental nas práticas da era 4.0 não apenas contribui para a redução do impacto ambiental, mas também cria uma força de trabalho mais consciente e responsável em relação às questões ambientais. Além disso, as indústrias que

adotam práticas sustentáveis ganham uma vantagem competitiva significativa, uma vez que a sustentabilidade se tornou um fator-chave na tomada de decisão dos consumidores.

Em um cenário global onde a preocupação com a preservação ambiental é cada vez mais premente, a integração da educação ambiental nas práticas da era 4.0 surge como uma abordagem estratégica e visionária. Como este estudo demonstrou, as indústrias que adotam essa abordagem estão em uma posição mais favorável para enfrentar os desafios ambientais e sociais do século XXI. No entanto, é fundamental reconhecer que a jornada em direção à sustentabilidade não é isenta de obstáculos. Os desafios incluem a necessidade de investimentos substanciais em tecnologias, treinamento e pesquisa, bem como a necessidade de promover uma mudança cultural dentro das organizações. Portanto, é crucial que líderes empresariais, formuladores de políticas públicas e educadores colaborem de maneira sinérgica para superar esses desafios.

Portanto, à medida que concluímos este estudo, expressamos o desejo de que ele sirva não apenas como um ponto de partida para uma discussão mais ampla, mas também como um catalisador de ações concretas em direção a um mundo mais sustentável. Que as lições aprendidas aqui possam inspirar ações transformadoras em todas as esferas da sociedade e que, juntos, possamos forjar um futuro em que a harmonia entre o desenvolvimento industrial e a preservação do meio ambiente seja uma realidade alcançável e duradoura. Nesse contexto, é importante mencionar que as Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU desempenham um papel crucial como um guia global para a promoção da sustentabilidade e da responsabilidade ambiental e social, fornecendo um roteiro abrangente para ações em direção a um mundo melhor.

## 6 REFERÊNCIAS

ANTÔNIO, Terezinha Damian. **Gestão ambiental industrial: livro didático** / Terezinha Damian Antônio; design instrucional Cristina Klipp de Oliveira; [assistente acadêmico Aline Cassol Daga]. – 1. ed. rev. – Palhoça : UnisulVirtual, 2011.182 p. : il. ; 28 cm.

ARAÚJO, DS E FREITAS, MA (2018). **Indústria 4.0 e educação ambiental: Desafios e oportunidades**. In: Anais do V Congresso Internacional de Educação Ambiental e Sustentabilidade.

BAUMGARTNER, Rupert J.; EBNER, Daniela. **Corporate sustainability strategies: sustainability profiles and maturity levels**. *Sustainable Development*, v. 18, n. 2, p. 76-89, 2010

BERMEJO, R. E HERNÁNDEZ-SELLÉS, N. (2017). **O papel da Indústria 4.0 na sustentabilidade corporativa**. In: Manual de Pesquisa sobre Sustentabilidade Corporativa e Empreendedorismo (pp. 265-285). IGI Global.

CARVALHO, DB E BORGES, RC (2019). **A Indústria 4.0 e sua relação com a sustentabilidade: uma revisão sistemática**. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde*, 9(3), 11-23.

CARVALHO, Ruy de Quadros. Por que as empresas são menos propensas a investir em P&D no Brasil. *Jornal da Unicamp,[Campinas]*, v. 2, 2003.

DELGADO-HERNÁNDEZ, DJ E GALLARDO-VÁZQUEZ, D. (2020). **A Indústria 4.0 como Quadro para a Inovação Sustentável: Evidências Empíricas do Setor Agroalimentar**. *Sustentabilidade*, 12(5), 2054.

FREIRE, R. S.; ANDRADE, E. S. **Empresas Sustentáveis: ESG na prática**. São Paulo: Planeta, 2020.

FRICK, J., THUN, JH E ANDRÉ, B. (2018). **Indústria 4.0 e produção sustentável: a necessidade de uma abordagem estruturada**. *Jornal Internacional de Pesquisa de Produção*, 56(1-2), 808-820.

HÄMÄLÄINEN, RP E MATTILA, J. (2019). **Digitalização na indústria: de operações orientadas para a eficiência à criação de valor sustentável**. *Sustentabilidade*, 11(10), 2750.

KAGERMANN, H., HELBIG, J. E HELLINGER, A. (2013). **Recomendações para implementação da iniciativa estratégica INDÚSTRIE 4.0: Relatório final do Grupo de Trabalho da Indústria 4.0**. Forschungsunion.

KANG, H. S. et al. **Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions**. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, v. 3, n. 1, p. 111-128. 2016.

MAGD, HAE (2019). **Educação sustentável e Indústria 4.0**. In: *Indústria 4.0: Gerenciando a Transformação Digital* (pp. 1-13). Springer.

MEIRELLES, F. **Sustentabilidade Empresarial e Investimentos Sustentáveis: Conceitos e práticas para investidores e gestores**. São Paulo: Atlas, 2020.

OKONGWU, Uche et al. **The maturity of supply chain sustainability disclosure from a continuous improvement perspective**. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2013.

PIMENTEL, MG, D'CRUZ, M., & WANG, H. (2018). **O papel da Indústria 4.0 no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. In: *Indústria 4.0: Uma Nova Revolução Industrial* (pp. 287-309). Springer.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SMA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Termo de Compromisso para a logística reversa de embalagens em geral. CETESB**, 23 de maio de 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/logisticareversa/wpcontent/uploads/sites/27/2018/06/Termo-de-Compromisso-Embalagens-emGeral.pdf> Acesso em: 04 de novembro de 2023

Smith SJ, Farra SL, Ulrich DL, Hodgson E, Nicely S, Mickle A. **Effectiveness of Two Varying Levels of Virtual Reality Simulation**. *Nurs Educ Perspect*. 2018 Nov/Dec;39(6):E10-E15. doi: 10.1097/01.NEP.0000000000000369. PMID: 30335708.

STENGEL, J. E GRUMILLER, J. (2019). **A quarta revolução industrial: Relacionando a 4RI com a sustentabilidade – Uma crítica ecológica**. *Sustentabilidade*, 11(15), 4110.

SRAI, Jagjit S.; ALINAGHIAN, Leila S.; KIRKWOOD, David A. **Understanding sustainable supply network capabilities of multinationals: A capability maturity model approach**. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, v. 227, n. 4, p. 595-615, 2013.

UN. (2015). **Transformando nosso mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nações Unidas**. Obtido em <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>.

ZUTIN, DG E ZABKAR, V. (2018). **O impacto da indústria 4.0 na sustentabilidade: o caso automotivo.** Sustentabilidade, 10(11), 3652.

Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). **Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook.** International Journal of Distributed Sensor Networks, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>