

# TECNOLOGIA CONSCIENTE: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA GREEN AI E SEUS CAMINHOS PARA A SUSTENTABILIDADE

*CONSCIOUS TECHNOLOGY: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF GREEN AI AND ITS PATHWAYS TO SUSTAINABILITY*

*TECNOLOGÍA CONSCIENTE: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE LA GREEN AI Y SUS CAMINOS HACIA LA SOSTENIBILIDAD*

Maria Andresa Santana Silva<sup>1</sup>  
Leila Buarque Couto de Matos<sup>2</sup>  
Elber Ribeiro Gama<sup>3</sup>  
David Vieira Santos<sup>4</sup>  
Jaqueline Santos Vieira<sup>5</sup>  
Mário Jorge Campos dos Santos<sup>6</sup>

## Resumo

Este artigo teve como objetivo analisar a produção científica relacionada as interfaces entre o tema inteligência artificial verde (*Green AI*) e a sustentabilidade, publicada entre os anos de 2020 e 2025. Para isso, foi realizado um estudo exploratório-descritivo, com abordagem quantitativa, utilizando a pesquisa bibliométrica e o *Methodi Ordinatio*. A base de dados escolhida foi a *Web of Science*. Pertinente aos resultados, observou-se um crescimento significativo do interesse por estudos sobre inteligência artificial verde no contexto da sustentabilidade, com predominância de publicações na área temática “*Green, Sustainable Science & Technology*”. Constatou-se também que a Suíça é o país com maior número de publicações sobre o tema, refletindo seu expressivo investimento em pesquisa e inovação voltadas à sustentabilidade. Para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos qualitativos que aprofundem a aplicação prática da IA verde, investigando sua contribuição efetiva para a sustentabilidade social, ambiental e econômica.

**Palavras-chave:** inteligência artificial verde; sustentabilidade; bibliometria.

## Abstract

This article aimed to analyze the scientific production related to the interfaces between green artificial intelligence (*Green AI*) and sustainability, published between 2020 and 2025. To achieve this, an exploratory-descriptive study with a quantitative approach was conducted, using bibliometric research and the *Methodi Ordinatio*. The chosen database was *Web of Science*. Regarding the results, a significant increase in interest in studies on green artificial intelligence in the context of sustainability was observed, with a predominance of publications in the thematic area “*Green, Sustainable Science & Technology*.” It was also found that Switzerland is the country with the highest number of publications on the topic, reflecting its substantial investment in research and innovation aimed at sustainability. For future research, it is recommended to conduct qualitative studies that deepen the practical application of *Green AI*, investigating its effective contribution to social, environmental, and economic sustainability.

**Keywords:** green artificial intelligence; sustainability; bibliometrics.

<sup>1</sup> Doutoranda em Ciência da Propriedade Intelectual (PPGPI), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0000-0002-6658-7479. E-mail: m.andresa22@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutoranda em Ciência da Propriedade Intelectual (PPGPI), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0009-0007-3657-0864. E-mail: leila@ifs.edu.br

<sup>3</sup> Doutorando em Ciência da Propriedade Intelectual (PPGPI), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0009-0003-9160-2540. E-mail: elbergama@hotmail.com

<sup>4</sup> Doutorando em Ciência da Propriedade Intelectual (PPGPI), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0009-0006-6272-046X. E-mail: davidvsantos12@gmail.com

<sup>5</sup> Doutoranda em Ciência da Propriedade Intelectual (PPGPI), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0000-0002-1604-8645. E-mail: jaquelinevieira@gmail.com

<sup>6</sup> Doutorado em Recursos Florestais em Conservação de Ecossistemas Florestais pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0000-0002-7481-3982. E-mail: mjkampos@gmail.com

## Resumen

Este artículo tuvo como objetivo analizar la producción científica relacionada con las interfaces entre el tema de la inteligencia artificial verde (Green AI) y la sostenibilidad, publicada entre los años 2020 y 2025. Para ello, se realizó un estudio exploratorio-descriptivo, con enfoque cuantitativo, utilizando la investigación bibliométrica y el *Methodi Ordinatio*. La base de datos elegida fue Web of Science. En cuanto a los resultados, se observó un aumento significativo del interés por los estudios sobre inteligencia artificial verde en el contexto de la sostenibilidad, con predominio de publicaciones en el área temática “Green, Sustainable Science & Technology”. También se constató que Suiza es el país con mayor número de publicaciones sobre el tema, lo que refleja su fuerte inversión en investigación e innovación orientadas a la sostenibilidad. Para futuras investigaciones, se recomienda la realización de estudios cualitativos que profundicen en la aplicación práctica de la IA verde, investigando su contribución efectiva a la sostenibilidad social, ambiental y económica.

**Palabras clave:** inteligencia artificial verde; sostenibilidad; bibliometría.

## 1 Introdução

A construção de um mundo sustentável depende do desenvolvimento de sistemas sociais, econômicos e ambientais que avancem de forma equilibrada, assegurando a qualidade de vida no presente sem comprometer os recursos naturais e as possibilidades das futuras gerações. Esse processo exige planejamento estratégico, inovação tecnológica responsável, uso consciente dos recursos naturais, um compromisso coletivo com a preservação do meio ambiente e a promoção da equidade social (Valderrama Pineda *et al.*, 2024; Almuaythir; Singh; Alhusban, 2024; Danushi; Forti; Soldani, 2025). Tais princípios estão diretamente alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, que orientam governos, empresas e comunidades na busca por soluções integradas e inclusivas para os desafios globais.

No âmbito das inovações tecnológicas, a inteligência artificial (IA) configura-se como uma das ferramentas promissoras para o avanço da agenda de sustentabilidade, em virtude de seu potencial de otimizar processos, reduzir desperdícios e gerar conhecimento a partir da análise de grandes volumes de dados (Goralski; Tan, 2020; Kulkov *et al.*, 2023; Ziemba *et al.*, 2024). Entretanto, o aumento da demanda por processamento computacional e treinamento de modelos de IA expõem questionamentos sobre o impacto ambiental dessas tecnologias, sobretudo em termos de consumo energético e emissão de gases do efeito estufa (Lei; Liang; Ruan, 2023).

Nesse contexto, o conceito de inteligência artificial verde (*green AI*) ganha relevância, uma vez que busca conciliar o desenvolvimento de sistemas de IA com práticas sustentáveis e de baixo impacto ambiental (Cao; Liu, 2023; Ferraz, 2024). O potencial disruptivo dessa tecnológica não se limita apenas à redução da degradação ambiental, mas também desempenha um papel ativo como ferramenta estratégica para promoção da sustentabilidade (Li *et al.*, 2023; Fang; Cao; Sun, 2022). Assim, a inteligência artificial verde emerge da convergência entre a inovação tecnológica e a responsabilidade ambiental, articulando práticas mais sustentáveis,

tanto pela forma sustentável com que é desenvolvida, quanto pelas soluções sustentáveis que é capaz de oferecer.

Considerando esse cenário, este artigo, portanto, tem como objetivo analisar a produção científica relacionada as interfaces entre o tema inteligência artificial verde (*green AI*) e a sustentabilidade, por meio de um estudo bibliométrico que abrange artigos publicados no período de 2020 e 2025, indexados na base de dados da *Web of Science (WoS)*.

## 2 Métodos

Pertinente aos aspectos metodológicos, esta pesquisa classifica-se como quantitativa, de caráter exploratória e descritivo. Para condução da pesquisa, optou-se pela realização de um estudo bibliométrico de artigos indexados na base de dados da *Web of Science*, com o propósito de analisar a produção científica relacionada as interfaces entre o tema inteligência artificial verde (*Green AI*) e a sustentabilidade, publicada entre os anos de 2020 e 2025.

Proposta pelo pesquisador britânico Pritchard (1969), a bibliometria é definida como a aplicação de métodos quantitativos à literatura científica. Complementarmente, Hawkins (2001), Garfield (2006) e De Bellis (2009) expandiram esse conceito, acrescentando que essa técnica de pesquisa permite analisar e identificar padrões na literatura, como os autores, instituições de ensino, países e periódicos mais produtivos em disciplinas científicas, tendências na produção literária ao longo do tempo e redes de colaboração. Além disso, possibilita avaliar o impacto de periódicos e a quantidade de citação de publicações em um período específico. Essas definições reforçam a relevância da bibliometria como metodologia para avaliação de áreas específicas de pesquisa.

Para operacionalizar a análise bibliométrica, foi utilizado o *Methodi Ordinatio*, desenvolvido por Pagani, Kovaleski e Martins (2015). Conforme evidenciado por Carvalho *et al.* (2020), essa metodologia tem sido utilizada para dar suporte a pesquisas desse tipo. Em consonância com isso, os próprios autores (Pagani; Kovaleski; Martins, 2017), ressaltaram que o uso do *Methodi Ordinatio* permite a classificação dos artigos com base em três critérios: o fator de impacto do periódico, ano de publicação e o quantitativo de citações.

A base de dados *Web of Science* foi escolhida por conta da abrangente cobertura de escopo e relevância no meio acadêmico, além da qualidade e reconhecimento internacional dos periódicos de alto impacto que a compõem (Carvalho *et al.*, 2020). Além disso, a *WoS* é o banco de dados mais influente, usualmente utilizado para análises bibliométricas (Li; Rollins; Yan, 2018).

A fim de realizar a pesquisa bibliométrica da produção científica na base *WoS*, optou-se por utilizar a estratégia de busca mediante uso de palavras-chave e opções de filtragem para quantificar os principais artigos sobre a temática inteligência artificial verde e a sustentabilidade. Para isso, foram delineados os seguintes termos e os operadores booleanos: “*Green Artificial Intelligence*” OR “*Green AI*” AND “*Sustainability*” AND “*Environmental monitoring*” AND “*Sustainable agriculture*”. O processo de busca e seleção dos artigos iniciou-se com uma pesquisa na *Web of Science*, utilizando os termos previamente mencionados. Sendo assim, foram identificados 7.889 artigos, inicialmente sem aplicação de recorte temporal, abrangendo publicações de diferentes anos.

Com intuito de selecionar apenas artigos científicos, aplicou-se o filtro correspondente na base de dados, resultando na identificação de 2.453 estudos. Em seguida, ao aplicar o recorte temporal referente ao período de 2020 a 2025, o número de artigos foi reduzido para 960. Visando selecionar apenas os artigos que apresentassem maior aderência relacionada as interfaces entre os dois temas da presente análise, foi realizada a leitura dos títulos dos 960 artigos, o que permitiu refinar a amostra para 148 publicações potencialmente relevantes.

Na etapa seguinte, aplicou-se o Princípio de Pareto, conhecido também como a regra 80/20. Quando utilizado na seleção de artigos, esse princípio busca identificar os 20% de artigos que concentram 80% das citações, assumindo que esses são os mais influentes ou significativos dentro da área pesquisada. Com base nesse critério, foram identificados 138 artigos. Por fim, com a leitura dos resumos, foi definida a amostra final do estudo, composta por 76 artigos científicos que abordavam concomitantemente os temas inteligência artificial verde e sustentabilidade, conforme pode ser observado no Quadro 1.

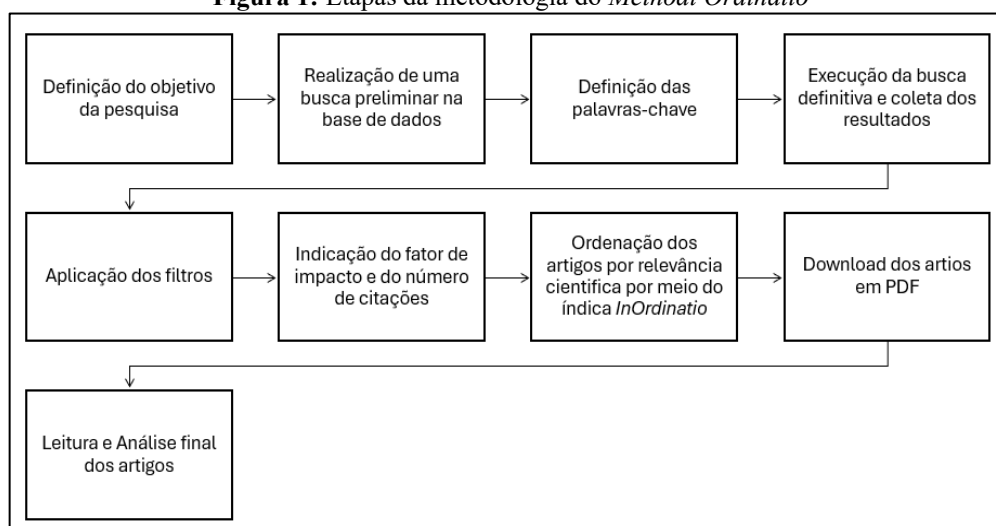
**Quadro 1:** Etapas para realização da bibliometria e resultados

<b>Etapa</b>	<b>Critério de Busca</b>	<b>Número de artigos</b>
Resultado inicial	“ <i>Green Artificial Intelligence</i> ” OR “ <i>Green AI</i> ” AND “ <i>Sustainability</i> ” AND “ <i>Environmental monitoring</i> ” AND “ <i>Sustainable agriculture</i> ”	7.817
Filtro: tipo de documento	Apenas artigos científicos	2.453
Filtro: recorte temporal	2020-2025	960
Leitura dos títulos	Leitura do título: eliminação daqueles não relacionados ao tema desta pesquisa.	148
Princípio de Pareto	Regra 80/20 dos mais citados	138
Leitura dos resumos	Análise final de adequação ao tema	76

**Fonte:** dados da pesquisa

Conforme descrito pelo modelo desenvolvido por Pagani, Kovaleski e Martins (2015), a metodologia do *Methodi Ordinatio* envolve nove etapas sequenciais que orientam o processo de seleção e classificação dos artigos científicos. Essas etapas incluem: definição do objetivo de pesquisa; realização de uma busca preliminar nas bases de dados; definição das palavras-chave, combinações, bases de dados e recorte temporal; execução da busca definitiva e coleta dos resultados; aplicação de filtros; identificação do fator de impacto e do número de citações; ordenação dos artigos por relevância científica por meio do índice *InOrdinatio*; download dos artigos em PDF; e, por fim, a leitura e análise final dos artigos. A esquematização da metodologia do *Methodi Ordinatio* encontra-se representada na Figura 1.

**Figura 1:** Etapas da metodologia do *Methodi Ordinatio*

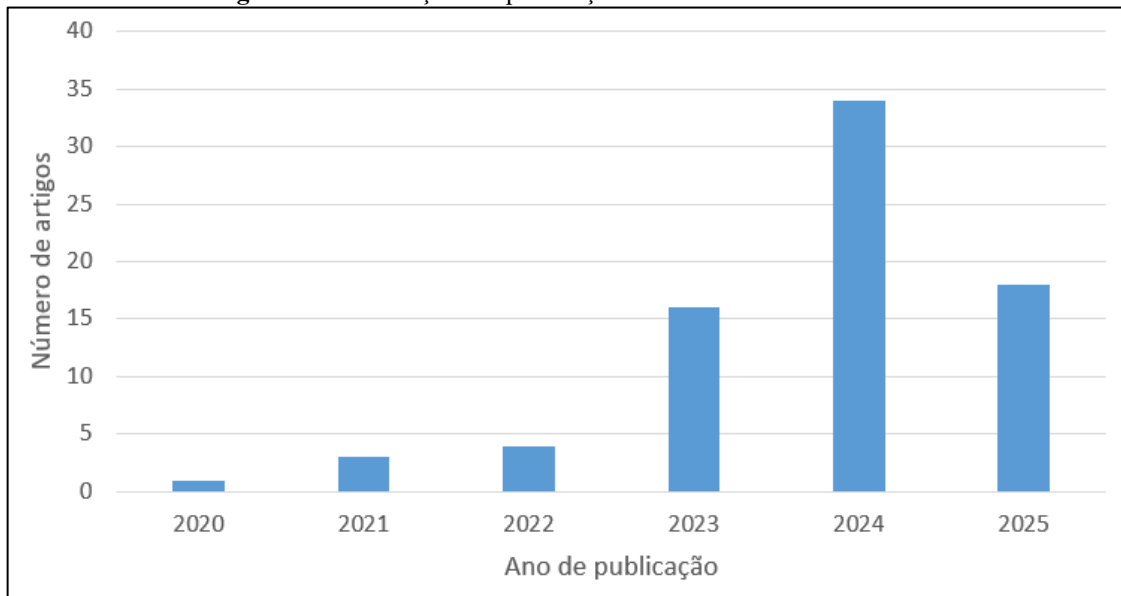


**Fonte:** adaptado de Pagani, Kovaleski e Martins (2015)

Com a seleção dos estudos que se enquadravam no escopo, os dados foram extraídos e exportados em formato de planilhas, com apoio do *software* da *Microsoft Excel®*. Em sequência, os artigos foram agrupados com intuito de explorar características específicas, como a distribuição das publicações por ano, país de origem, áreas temáticas, e publicações com maior número de citações.

### 3 Resultados e discussão

Após seleção dos artigos, partiu-se para a leitura resumos dos 76 estudos identificados, a fim de confirmar se de fato possuíam aderência os temas inteligência artificial verde (*green AI*) e sustentabilidade. Logo em seguida, partiu-se para análise dos dados. Dos artigos selecionados, o primeiro ponto analisado corresponde à distribuição das publicações entre os anos de 2020 e 2025, conforme ilustrado pela Figura 2.

**Figura 2:** Distribuição das publicações entre os anos 2020 e 2025

**Fonte:** dados da pesquisa

Como pode-se observar na Figura 2, nota-se um interesse direcionado ao estudo de temas inteligência artificial verde (*green AI*) em associação com a sustentabilidade. Esse dado reforça a relevância da presente pesquisa ao evidenciar o aumento do interesse e/ou necessidade de pesquisas que interliguem esses dois temas. O ápice de publicações ocorreu no ano de 2024, que pode ser justificado por fatores correlatos. Em especial, devido a intensificação dos debates globais sobre ética, sustentabilidade e regulação da inteligência artificial (Hupferr; Sbaraine; Martins, 2024). Esses acontecimentos favoreceram o desenvolvimento do interesse acadêmico e fomentaram a produção científica voltada a compreender, aplicar e regular o uso dessas tecnologias. Portanto, o pico de publicações em 2024 reflete não apenas o avanço exponencial da tecnologia, mas também um momento de amadurecimento e ampliação de debates científicos sobre o tema.

Outro aspecto relevante refere-se às áreas temáticas de pesquisa nas quais os trabalhos analisados estão distribuídos, permitindo compreender em quais campos do conhecimento a discussão sobre inteligência artificial verde (*green AI*) e a sustentabilidade tem sido mais recorrente. Conforme apresentado no Quadro 2.

Mediante análise dos resultados, notou-se a predominância significativa na área de “*Green, Sustainable Science & Technology*”, totalizando 25 publicações, correspondendo a 33% da amostra. Esse resultado evidencia que a maior parte das discussões está diretamente ligada à sustentabilidade e tecnologias verdes, reforçando a relevância do tema no contexto ambiental e tecnológico. A segunda concentração temática com maior quantidade de estudos refere-se ao campo “*Chemical and energy engineering & Management Science - Other Topics*”, abrangendo 14 publicações, com percentual de 18% do total. Esse interesse nessa área

de pesquisa destaca o papel das indústrias energéticas na busca de soluções mais sustentáveis, reforçando a necessidade de incorporar a IA em práticas mais verdes, principalmente quando atreladas a engenharia de produtos químicos.

**Quadro 2:** Distribuição por área de pesquisa

Área de Pesquisa	Número de artigos
<i>Green, Sustainable Science &amp; Technology</i>	25
<i>Chemical and energy engineering &amp; Management Science - Other Topics</i>	14
<i>Computer Science &amp; Artificial Intelligence</i>	12
<i>Multidisciplinary &amp; Social Sciences</i>	10
<i>Environmental Sciences &amp; Economics</i>	9
<i>Business, Environmental Studies &amp; Management - Other Topics</i>	6
<b>Total</b>	<b>76</b>

**Fonte:** dados da pesquisa

Outra área de concentração das publicações é a “*Computer Science & Artificial Intelligence*”, com 12 artigos, percentual de 16%. Isso demonstra que a IA está sendo explorada e analisada de forma técnica, especialmente em estudos voltados ao desenvolvimento e aplicação de algoritmos sustentáveis ou eficientes em termos energéticos. As áreas de pesquisa “*Multidisciplinary & Social Sciences*” (10 artigos) e “*Environmental Sciences & Economics*” (9 artigos) somam cerca de 25% da amostra, demonstrando o caráter interdisciplinar do tema, com contribuições importantes das ciências sociais, ambientais e econômicas, áreas significativas para avaliar o impacto e a aplicabilidade das tecnologias verdes.

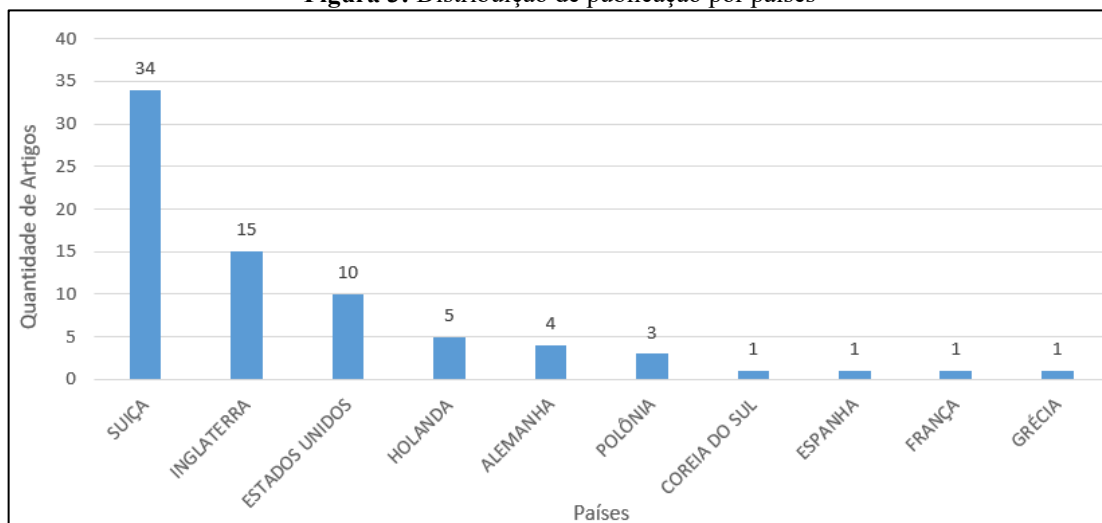
Por fim, tem-se o campo de estudo relacionado ao “*Business, Environmental Studies & Management - Other Topics*”, com 8 artigos, representando uma parcela menor, mas ainda relevante. Apontando um interesse dos pesquisadores com temas relacionados ao setor empresarial e a inserção da IA verde em práticas organizacionais e estratégias sustentáveis. Assim, nota-se que a distribuição desses artigos entre diferentes áreas evidencia o caráter multidisciplinar e transversal dos estudos relacionados a inteligência artificial verde no contexto da sustentabilidade.

Pertinente aos países que mais publicaram, a Suíça destaca-se como país com maior número de publicações, com 34 artigos, o que representa aproximadamente 45% do total. Esse dado sugere um forte investimento e interesse do país em pesquisa aplicada à sustentabilidade e inovação tecnológica, áreas nas quais a Suíça tem se consolidado globalmente (Goldstein, 2023). A Inglaterra ocupa o segundo lugar com 15 publicações, seguida pelos Estados Unidos, com 10 artigos. Ambos os países têm tradição em pesquisa científica e tecnológica (Silva, 2023) e o envolvimento deles reforça o interesse global sobre a aplicação da IA em contextos sustentáveis.

Países como a Holanda, Alemanha e Polônia com respectivamente, 5, 4 e 3 artigos publicados, possuem centros de pesquisa voltados a essa temática. Outros países, como Coreia do Sul, Espanha, França e Grécia aparecem com 1 publicação cada, indicando uma participação mais pontual, porém ainda relevante dentro do escopo da discussão global.

Dessa forma, observa-se que a concentração de publicações na Europa Ocidental, especialmente na Suíça, releva o protagonismo regional frente as discussões sobre inteligência artificial verde e sustentabilidade. Essa liderança está associada a políticas públicas voltadas a sustentabilidade (Sousa; Alves; Pinheiro, 2025) e financiamentos à pesquisa e desenvolvimento (Silva, 2023). Por outro lado, a presença de países como Estados Unidos e Coreia do Sul reforça a importância global do tema, ainda que a distribuição mostre as desigualdades no envolvimento científico entre as nações. Destaca-se a ausência de países latino-americanos, como o Brasil na lista de países com publicações identificadas sobre o tema. Essa distribuição pode ser observada na Figura 3.

**Figura 3:** Distribuição de publicação por países



**Fonte:** dados da pesquisa

Por fim, com objetivo de aprofundar a investigação acerca dos estudos identificados na análise bibliométrica, foi realizada uma análise dos cinco artigos mais citados na base de dados *Web of Science*. Assim, ao examinar os estudos com o maior quantitativo de citações em determinada área de pesquisa pode-se fornecer *insights* relevantes sobre as principais contribuições e tendências no campo pesquisado. Dessa forma, os cinco artigos mais citados, classificados conforme a quantidade de citações, expostos no Quadro 4.

**Quadro 4:** Distribuição de publicação por países

<b>Autores</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>Número de Citações</b>	<b>Área de pesquisa</b>
Wang, <i>et al.</i> (2024)	<i>How does artificial intelligence affect high-quality energy development? Achieving a clean energy transition society</i>	353	<i>Environmental Sciences &amp; Economics</i>
Chowdhury, Ren e Richey (2025)	<i>Leveraging artificial intelligence to facilitate green servitization: Resource orchestration and Re-institutionalization perspectives</i>	213	<i>Engineering, Industrial; Chemical and energy engineering &amp; Management Science - Other Topics</i>
Jasmy, Ismail e Aljneibi (2024)	<i>A novel approach to sustainable behavior enhancement through AI-driven carbon footprint assessment and real-time analytics</i>	144	<i>Green, Sustainable Science &amp; Technology</i>
Lei, Liang e Ruan (2023)	<i>Evaluation on the impact of digital transformation on the economic resilience of the energy industry in the context of artificial intelligence</i>	105	<i>Chemical and energy engineering &amp; Management Science - Other Topics</i>
Cao e Liu (2023)	<i>The Impact of Artificial Intelligence Technology Stimuli on Sustainable Consumption Behavior: Evidence from Ant Forest Users in China</i>	101	<i>Multidisciplinary &amp; Social Sciences</i>

**Fonte:** dados da pesquisa

Conforme apresentado no Quadro 4, entre os 76 artigos que compõem a amostra, o estudo de Wang *et al.* (2024) foi o mais citado na base da *Web of Science*, contabilizando 353 citações. Nesse artigo, os autores buscaram analisar como a inteligência artificial pode impulsionar a transição energética de forma sustentável, investigando sua relação com o desenvolvimento energético de qualidade. Para isso, utilizaram dados de 30 províncias chinesas no período de 2007 a 2017, considerando parâmetros relacionados a inovação verde e a intensidade de pesquisa e desenvolvimento, além de explorar o papel da economia digital entre as duas variáveis estudadas. Os resultados salientaram que a IA impacta positivamente no desenvolvimento energético de qualidade na China, tanto de forma direta quanto indireta, por meio da inovação verde e da pesquisa e desenvolvimento, sendo esse efeito mais significativo em regiões com a economia digital mais desenvolvida.

Com relação ao segundo artigo, compreendendo 213 citações, Chowdhury, Ren e Richey (2025) analisaram como a inteligência artificial, por meio de sistemas de suporte à decisão, influenciam a prática de integrar soluções sustentáveis em modelos de gestão de negócios nas cadeias de suprimento. Para abordar essa lacuna, os autores buscaram integrar fatores como, a cadeia de suprimentos, alocação dos recursos, reinstitucionalização e as práticas da economia circular, a fim de mitigar o impacto ambiental. Esse estudo evidenciou que a economia circular impacta direta e significativamente na integração de práticas mais sustentáveis nos meios empresariais, quando orientados pela inteligência artificial. Em suma, o estudo mostra que a IA, por meio do processo de apoio a decisão, possibilita e impulsiona a

sustentabilidade na cadeia de suprimentos, atuando como catalisador para práticas sustentáveis e circulares dentro das operações e estratégias organizacionais.

O estudo de Jasmy, Ismail e Aljneibi (2024) acumulou 144 citações, no qual os autores apresentaram um aplicativo móvel baseado em inteligência artificial, projetado para ajudar os usuários a calcularem e reduzirem a pegada de carbono. Nesse estudo, foi proposto um sistema inteligente que rastreia as emissões de carbono dos usuários, recomenda comportamentos sustentáveis, educa por meio de *chatbot*, promove discussões em uma comunidade de bate-papo e incentiva o engajamento social por meio de um sistema de recompensas. Além disso, coleta dados comportamentais para apoiar políticas públicas, destacando-se por integrar monitoramento, educação, recomendação e engajamento em uma única solução voltada à construção de comunidades sustentáveis. Com o estudo, os autores concluíram que embora as atitudes e intenções comportamentais dos usuários tenham se mantido estáveis, o uso dessa inteligência artificial teve impacto significativo na percepção da influência social sobre comportamentos mais sustentáveis, impulsionados pelo sistema de recompensas.

Pertinente ao terceiro estudo, Lei, Liang e Ruan (2023) somatizaram 105 citações na *WoS*. Neste estudo, os autores investigaram como a transformação digital, impulsionada pela inteligência artificial, pode afetar a resiliência econômica do setor energético, sobretudo diante dos desafios enfrentados pelas empresas tradicionais no contexto do desenvolvimento sustentável. Como resultado, a pesquisa demonstrou que a integração entre a IA na transformação digital pode fortalecer significativamente a resiliência econômica do setor energético, oferecendo uma ferramenta eficaz de previsão que apoia decisões estratégicas voltadas à sustentabilidade e ao desenvolvimento verde.

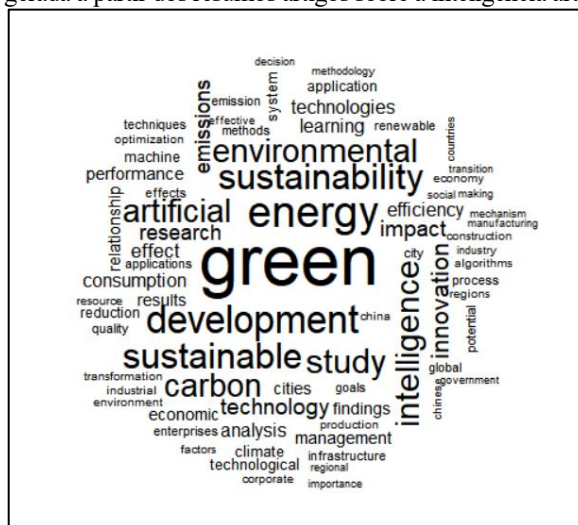
Por fim, o estudo de Cao e Liu (2023), que acumulou 101 citações, buscou avaliar o impacto dos estímulos da tecnologia de inteligência artificial no comportamento sustentável. O comportamento de consumo sustentável desempenha um papel crucial para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), uma vez que pode reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa e o consumo de recursos naturais. Os resultados indicam que os estímulos da tecnologia de IA promovem indiretamente o comportamento de consumo sustentável por meio do valor percebido e da fidelidade do cliente.

Assim, a análise dos artigos mais citados destaca a crescente complexidade referente às interações entre a inteligência artificial no contexto da sustentabilidade, abrindo espaço para novas discussões e destacando limitações a serem superadas. Em consonância ao exposto, Jasmy, Ismail e Aljneibi (2024) destacam que o uso da inteligência artificial contribui significativamente para promoção de práticas mais sustentáveis, como a redução do consumo de energia, a reutilização de materiais, uso consciente da água, redução da pegada de carbono, entre tantos outros.

Concomitantemente a isso, Li *et al.* (2023) explicitam que as tecnologias inteligentes são percebidas como uma ferramenta eficaz para enfrentar os desafios complexos da atualidade e mitigar crises ambientais, sociais e econômicas em escala global. Em contrapartida, Fang, Cao e Sun (2022) destacam que a principal vantagem da inteligência artificial verde, além de contribuir para a mitigação dos problemas ambientais e a promoção da sustentabilidade, está na sua capacidade de impulsionar o desenvolvimento tecnológico. Isso ocorre porque os estudos voltados à evolução dessas tecnologias fomentam a inovação e promovem sua constante atualização.

Com propósito de evidenciar os termos mais recorrentes e facilitar a interpretação dos resumos analisados, foi realizada uma análise de coocorrência das palavras-chave presentes nos resumos de artigos relacionados as interfaces entre inteligência artificial verde e sustentabilidade. Essa análise permite a identificação de conceitos mais frequentes e as relações entre eles, evidenciando tendências, padrões de pesquisa e áreas de maior concentração dentro da temática estudada (Pagliarini; Sapel, 2022; Vilela; Barreto; Batista, 2020). Essa representação gráfica pode ser observada na nuvem de palavras ilustrada na Figura 4.

**Figura 4:** Nuvem de palavras gerada a partir dos resumos artigos sobre a inteligência artificial verde e a sustentabilidade



**Fonte:** dados da pesquisa

A nuvem de palavras foi elaborada por meio do uso do software gratuito de análise textual Iramuteq, com objetivo de identificar a repetição de termos nos resumos dos artigos analisados neste estudo. Como resultado, observou-se que as palavras-chave mais recorrentes foram: “green”, “energy”, “sustainability”, “sustainable”, “development”, “environmental”, “intelligence” e “artificial”. Nota-se que a predominância desses termos está relacionada ao objetivo desta pesquisa bibliométrica, que buscou analisar a produção científica relacionada as interfaces entre o tema inteligência artificial verde e a sustentabilidade, justificando sua repetição.

Dessa forma, os resultados apresentados reforçam a relevância da relação entre a inteligência artificial e sustentabilidade, além de evidenciar seu potencial como solução inovadora diante dos desafios ambientais, sociais e econômicos. Discutir como essas duas áreas podem se integrar é necessário para assegurar que a inovação tecnológica contribua efetivamente para o desenvolvimento sustentável, sem gerar novos desequilíbrios ambientais. Nesse sentido, pesquisas futuras podem considerar a formulação de políticas públicas que integrem a mitigação dos impactos ambientais à aplicação responsável da inteligência artificial.

#### **4 Considerações finais**

Este estudo objetivou analisar a produção científica relacionada as interfaces entre o tema inteligência artificial verde e a sustentabilidade. Mediante isso, buscou-se identificar e caracterizar padrões nas publicações indexadas na base de dados *Web of Science*, a partir de uma análise bibliométrica da literatura.

Pertinente aos últimos anos houve um crescimento do interesse direcionado ao estudo de temas inteligência artificial verde no contexto da sustentabilidade. Além disso, destacou-se a notória quantidade de estudos que integraram à área temática “*Green, Sustainable Science & Technology*”. Esse resultado revela que a maior parte das discussões está diretamente ligada à sustentabilidade e tecnologias verdes, reforçando a relevância do tema no contexto ambiental e tecnológico.

No que concerne aos países que mais publicaram, a Suíça destaca-se como país com maior número de publicações, refletindo o forte investimento e interesse do país em pesquisa aplicada à sustentabilidade e inovação tecnológica.

Com relação as publicações mais citadas, observa-se uma ênfase crescente na aplicação da inteligência artificial como ferramenta estratégica para promover a sustentabilidade em diversos contextos. Esses estudos destacam não apenas os benefícios diretos, como a otimização de recursos e a redução de impactos ambientais, mas também as complexidades envolvidas à sua implementação, incluindo questões de adaptação organizacional e de responsabilidade socioambiental.

Pretende-se, com esse artigo, oportunizar contribuições, tanto à nível teórico, revelando a carência de estudos que abordem as perspectivas entre a inteligência artificial verde e a sustentabilidade concomitantemente, sobretudo nacionalmente. Além disso, a realização da análise bibliométrica, possibilita uma base robusta para formulação de novas tendências de pesquisa sobre a temática inteligência artificial no contexto das práticas sustentáveis.

No que concerne a relevância prática, o estudo poderá oportunizar com seus resultados subsídios valiosos para os pesquisadores ao evidenciar como a inteligência artificial pode ser

utilizada para a sustentabilidade. A partir da identificação de áreas de pesquisa e tendências emergentes, esta pesquisa reforça a importância da adoção de tecnologias verdes e da integração entre inteligência artificial e a responsabilidade ambiental. Além disso, os resultados podem orientar o desenvolvimento de projetos que utilizam IA para redução dos impactos ambientais, visando otimizar recursos e apoiar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Como sugestão de pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos qualitativos que aprofundem a compreensão sobre como a IA verde está sendo efetivamente aplicada, bem como a sua contribuição completa para a sustentabilidade ambiental, social e econômica.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

### Referências

ALMUAYTHIR, S.; SINGH, A. K.; ALHUSBAN, M. *et al.* Robotics technology: catalyst for sustainable development—impact on innovation, healthcare, inequality, and economic growth **Discov Sustain**, [s. l.], v. 5, p. 486, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00744-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-024-00744-y>. Acesso em: 04 ago. 2025.

CAO, P.; LIU, S. The Impact of Artificial Intelligence Technology Stimuli on Sustainable Consumption Behavior: Evidence from Ant Forest Users in China. **Behavioral Sciences**, [s. l.], v. 13, n. 604, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/bs13070604>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-328X/13/7/604>. Acesso em: 23 fev. 2026.

CARVALHO, G. D. G. *et al.* Bibliometrics and systematic reviews: A comparison between the Proknow-C and the MethodiOrdinatio. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 1-14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2020.101043>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751157719303682>. Acesso em: 23 fev. 2026.

CHOWDHURY, A.; REN, S; RICHEY, R. G. Leveraging artificial intelligence to facilitate green servitization: Resource orchestration and Re-institutionalization perspectives. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 281, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109519>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527325000040?via%3Dihub>. Acesso em: 23 fev. 2026.

DANUSHI, O.; FORTI, S.; SOLDANI, J. Carbon-Efficient Software Design and Development: A Systematic Literature Review. **ACM Computing Surveys**, [s. l.], v. 2, n. 1, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1145/3728638>. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3728638>. Acesso em: 23 fev. 2026.

DE BELLIS, N. **Bibliometrics and citation analysis: from the science citation index to cybermetrics**. Lanham: Scarecrow Press, 2009.

FANG, Y.; CAO, H.; SUN, J. Impact of Artificial Intelligence on Regional Green Development under China's Environmental Decentralization System—Based on Spatial Durbin Model and Threshold Effect. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 19, n. 22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192214776>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/22/14776>. Acesso em: 23 fev. 2026.

FERRAZ, I. Green AI: análises para eficiência energética e sustentabilidade dos algoritmos de inteligência artificial e data centers. **Revista Brasileira de Gestão e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 11, n. 29, p. 1255-1265, 2024. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2024\)112914](https://doi.org/10.21438/rbgas(2024)112914). Disponível em: <https://revista.ecogestaobrasil.net/v11n29/v11n29a14a.html>. Acesso em: 23 fev. 2026.

GARFIELD, E. The history and meaning of the journal impact factor. **JAMA**, [s. l.], v. 295, p. 90, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.295.1.90>. Disponível em: <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/202114>. Acesso em: 23 fev. 2026.

GOLDSTEIN, I. O desenvolvimento de uma nova empresa brasileira de base tecnológica e seus aprendizados: o caso da Sunew. 2023. 201 f. **Dissertação** (Mestrado em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/78260>. Acesso em: 04 ago. 2025.

GORALSKI, M. A.; TAN, T. K. Artificial intelligence and sustainable development. **The International Journal of Management Education**, [s. l.], v. 18, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2019.100330>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1472811719300138?via%3Dihub>. Acesso em: 23 fev. 2026.

HAWKINS, D.T. Bibliometrics of electronic journals in information Science. **Information Research**, [s. l.], v. 7, n. 1, 2001. Disponível em: <http://informationr.net/ir/7-1/paper120.html>. Acesso em: 04 ago. 2025.

HUPFERR, H.; SBARAINÉ, A.; MARTINS, D. Desafios éticos, jurídicos e de governança para o desenvolvimento de sistemas de IA voltados à sustentabilidade ambiental. In: HUPFFER, H.; SANTAMARÍA, J.; FRANSCISCO, T.(Org.) **Inteligência Artificial para un futuro sostenible: desafios jurídicos y éticos**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2024.

JASMY, A. J.; ISMAIL, H.; ALJNEIBI, N. A novel approach to sustainable behavior enhancement through AI-driven carbon footprint assessment and real-time analytics. **Discov Sustain**, [s. l.], v. 5, n. 476, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00762-w>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-024-00762-w>. Acesso em: 23 fev. 2026.

KULKOV, I. *et al.* Artificial intelligence - driven sustainable development: Examining organizational, technical, and processing approaches to achieving global goals. **Sustainable Development**, [s. l.], v. 32, n. 3, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.277>. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.277>. Acesso em: 23 fev. 2026.

LEI, Y.; LIANG, Z.; RUAN, P. Evaluation on the impact of digital transformation on the economic resilience of the energy industry in the context of artificial intelligence. **Energy Reports**, [s. l.], v. 9, p. 785-792, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.12.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722026191>. Acesso em: 23 fev. 2026.

LI, K.; ROLLINS, J.; YAN, R. Web of Science Use in Published Research and Review Papers 1997–2017: A Selective, Dynamic, Cross-Domain, Content-Based Analysis. **Scientometrics**, [s. l.], v. 115, p. 1-20, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-017-2622-5>. Acesso em: 04 ago. 2025.

LI, T. *et al.* Synergy of Patent and Open-Source-Driven Sustainable Climate Governance under Green AI: A Case Study of TinyML. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 13779, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151813779>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/18/13779>. Acesso em: 23 fev. 2026.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, [s. l.], v. 46, n. 2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18225/ci.inf.v46i2.1886>. Disponível em: <https://revista.ibict.br/ciinf/article/view/1886>. Acesso em: 23 fev. 2026.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. M. Methodi Ordinatio: A Proposed Methodology to Select and Rank Relevant Scientific Papers Encompassing the Impact Factor, Number of Citation, and Year of Publication. **Scientometrics**, [s. l.], v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015. Disponível em: [https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-015-1744-x?utm\\_source=researchgate.net&utm\\_medium=article](https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-015-1744-x?utm_source=researchgate.net&utm_medium=article). Acesso em: 23 fev. 2026.

PAGLIARINI, D. S.; SEPEL, L. M. N. Uso de nuvem de palavras como estratégia para o ensino do reino fungi no ensino médio. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 01-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26843/rencima.v13n4a12>. Disponível em: <https://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/rencima/article/view/3483/1804>. Acesso em: 12 set. 2025.

PRITCHARD, A. Statistical bibliography or Bibliometrics, **Journal of Documentation**, [s. l.], v. 25, p. 348, 1969.

SILVA, J. L. Políticas de ciência, tecnologia e inovação: a lógica da OCDE e as implicações para o subdesenvolvimento. 2023. 166 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Sociais) — Universidade Estadual Paulista, Marília, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/c043f876-139a-4401-a4bb-763994b24ba8>. Acesso em: 23 fev. 2026.

SOUSA, I. G.; ALVES, L. O.; PINHEIRO, H. D. (Org.). Inovação e sustentabilidade: desafios, estratégias e casos de sucesso. Teresina: Editora Lestu, 2025. DOI: <https://doi.org/10.51205/lestu.978-65-85729-10-9>. Disponível em: <https://lestu.org/books/index.php/lestu/catalog/book/25>. Acesso em: 23 fev. 2026.

VALDERRAMA PINEDA, A. F. *et al.* A sustentabilidade encontra as tecnologias da informação: desenvolvimentos recentes e perspectivas futuras. **Sustentabilidade**, [s. l.], v. 16, n. 11, p. 4499, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16114499>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/11/4499>. Acesso em: 04 ago. 2025.

VILELA, R. B.; RIBEIRO, A.; BATISTA, N. A. Nuvem de palavras como ferramenta de análise de conteúdo: uma aplicação aos desafios do ensino no mestrado profissional. **Viseu**, [s. l.], v. 2, n. 11, p. 29-36, 2020.

WANG, B. *et al.* How does artificial intelligence affect high-quality energy development? Achieving a clean energy transition Society. **Energy Policy**, Elsevier, v. 186, 2024. DOI: 10.1016/j.enpol.2024.114010. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v186y2024ics0301421524000302.html>. Acesso em: 23 fev. 2026.

ZIEMBA, E. W. *et al.* Leveraging artificial intelligence to meet the sustainable development goals. **Journal of Economics and Management**, [s. l.], v. 46, p. 508-583, 2024. DOI: <https://doi.org/10.22367/jem.2024.46.19>. Disponível em: [https://sbc.org.pl/Content/889860/19\\_01.pdf](https://sbc.org.pl/Content/889860/19_01.pdf). Acesso em: 23 fev. 2026.

**Data de submissão:** 28/09/2025

**Data de aceite:** 10/02/2026