



## A pegada ecológica como indicador de sustentabilidade: uma análise sob a perspectiva dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Carlos Vinícius dos Santos Rodrigues<sup>1</sup>; Karolina Marie Alix Benedictte Van Sebroeck Dória<sup>2</sup>

### Como Citar:

RODRIGUES, Carlos Vinícius dos Santos; DÓRIA, Karolina Marie Alix Benedictte Van Sebroeck. A Pegada Ecológica como Indicador de Sustentabilidade: Uma Análise sob a Perspectiva dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Revista Sociedade Científica, vol. 8, n. 1, p. 2668-2680, 2025.  
<https://doi.org/10.61411/rsc2025118418>

DOI: 10.61411/rsc2025118418

### Área do conhecimento:

Ciências Biológicas; Ciências Ambientais

### Sub-área:

Sustentabilidade; Gestão Ambiental  
Políticas Públicas Ambientais

### Palavras-chave:

Pegada Ecológica; Sustentabilidade; Objetivos de Desenvolvimento Sustentável; Inovação Tecnológica; Indicadores Ambientais.

Publicado: 9 de dezembro de 2025.

### Resumo

A crescente complexidade das problemáticas ambientais voltadas a sustentabilidade demanda instrumentos que auxiliem na compreensão, monitoramento e formulação de respostas eficazes. Nesse contexto, os indicadores ambientais se configuram como ferramentas fundamentais para avaliar impactos, acompanhar tendências e subsidiar políticas públicas e estratégias de gestão relacionada a políticas públicas. Este presente trabalho tem como objetivo analisar a função e os limites dos indicadores ambientais no monitoramento da sustentabilidade, destacando suas potencialidades quando aplicados em conjunto e de forma crítica e evidente. A pegada ecológica consolidou-se como um dos principais indicadores de sustentabilidade, por permitir avaliar a pressão antrópica sobre ecossistemas e a compatibilidade entre padrões de consumo e limites planetários vigentes. A finalidade desta revisão é analisar a pegada ecológica e sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), refletindo suas potencialidades, limites e interações com metodologias complementares. Para tanto, realizou-se uma revisão sistemática da literatura em bases científicas internacionais, selecionando artigos recentes que tratam da temática. A análise foi organizada em seis eixos: (a) métricas e abordagens metodológicas; (b) importância da pegada nos ODS; (c) ferramentas complementares; (d) inovação tecnológica e pegada; (e) estudos de caso; e (f) sinergias e trade-offs. Os resultados apontam que, embora seja uma métrica robusta, a pegada apresenta variações metodológicas que dificultam a padronização e carece de integração a indicadores sociais e econômicos. Para tanto, constata-se que o progresso em diversos ODS tem sido acompanhado devido aumento da pegada, revelando contradições estruturais no modelo de desenvolvimento recente. Assim, perfaz-se que a pegada ecológica, quando articulada a ferramentas complementares e inserida em estratégias de inovação tecnológica e governança sustentável, torna-se mais eficaz para orientar políticas e práticas em direção à sustentabilidade.

<sup>1</sup>Centro Universitário Módulo, Caraguatatuba-SP, Brasil. Email: [✉](mailto:carlos.vinicius@unimodulo.edu.br)

<sup>2</sup>Centro Universitário Módulo, Caraguatatuba-SP, Brasil. Email: [✉](mailto:karolina.marie@unimodulo.edu.br)



## **The Ecological Footprint as an Indicator of Sustainability: An Analysis from the Perspective of the Sustainable Development Goals**

### **Abstract**

The growing complexity of environmental issues related to sustainability demands tools that support understanding, monitoring, and the formulation of effective responses. In this context, environmental indicators constitute fundamental instruments for assessing impacts, tracking trends, and informing public policies and management strategies. This study aims to analyze the role and limitations of environmental indicators in monitoring sustainability, highlighting their potential when applied jointly and critically. The ecological footprint has become one of the main sustainability indicators, as it enables the assessment of human pressure on ecosystems and the compatibility between consumption patterns and prevailing planetary boundaries. The purpose of this review is to examine the ecological footprint and its relationship with the Sustainable Development Goals (SDGs), reflecting on its potential, limitations, and interactions with complementary methodologies. To this end, a systematic literature review was conducted in international scientific databases, selecting recent articles addressing the topic. The analysis was organized into six axes: (a) metrics and methodological approaches; (b) relevance of the footprint within the SDGs; (c) complementary tools; (d) technological innovation and the footprint; (e) case studies; and (f) synergies and trade-offs. The results indicate that, although it is a robust metric, the ecological footprint presents methodological variations that hinder standardization and lacks integration with social and economic indicators. Furthermore, progress in several SDGs has been accompanied by an increase in the footprint, revealing structural contradictions in the current development model. Thus, the study concludes that the ecological



footprint, when articulated with complementary tools and embedded in technological innovation and sustainable governance strategies, becomes more effective in guiding policies and practices toward sustainability.

**Keywords:** Ecological Footprint; Sustainability; Sustainable Development Goals; Technological Innovation; Environmental Indicators.

## 1. Introdução

O conceito de pegada ecológica surgiu como alternativa ao enfoque exclusivamente econômico dos indicadores de progresso, uma vez que mede a extensão da área biologicamente produtiva necessária para sustentar padrões de consumo e absorver resíduos. Ao associar consumo de recursos e capacidade regenerativa da Terra, permite avaliar se o desenvolvimento ocorre dentro de limites planetários [17].

Entretanto, considera-se que sua aplicação no contexto dos ODS — Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), tem evidenciado tensões importantes. Sob essa ótica Hickel [12], aponta que os objetivos da ONU reproduzem uma lógica de crescimento ilimitado em um planeta finito, criando um paradoxo estrutural. Nesse paradigma, Eisenmenger *et al.* [8] e Hametner [11] reforçam essa crítica ao argumentarem que a ênfase no crescimento econômico fragiliza o alinhamento entre progresso social e sustentabilidade ambiental. Ainda nessa mesma linha, Jain e Jain [14] questionam se os ODS podem ser considerados de fato sustentáveis. E, mais recentemente, Moinuddin e Olsen [23] demonstram que avanços em metas sociais frequentemente resultam em maior pegada ecológica, revelando a dificuldade de conciliar crescimento econômico, equidade social e conservação ambiental, potencialmente.

Diante desse cenário evidente, nesta discursiva, se propõe uma revisão crítica da literatura atual sobre a pegada ecológica como indicador de sustentabilidade,



examinando seus limites e potencialidades na perspectiva dos ODS minada por um mundo em que a inteligência artificial domina evidentemente.

## 2. Metodologia

A análise textual fundamenta-se em uma revisão sistemática de literatura, realizada em bases como Scielo, ScienceDirect, Springer Link e MDPI. Para tanto, foram utilizadas combinações dos descritores “pegada ecológica”, “ecological footprint”, “indicadores ambientais” e “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável”.

Os critérios de inclusão foram: (a) artigos publicados entre 2019 e 2025; (b) pesquisas que relacionassem a pegada ecológica aos ODS; (c) estudos que abordassem inovação tecnológica, metodologias complementares ou aplicações empíricas. Assim, o processo de triagem seguiu o protocolo PRISMA, com exclusão de duplicatas e priorização de trabalhos de maior relevância científica.

## 3. Desenvolvimento e discussão

### 3.1. Métricas e Abordagens Metodológicas

Atualmente desponta-se potencialmente que, embora consolidada, a pegada ecológica apresenta inconsistências metodológicas que comprometem a comparabilidade entre países e setores. Nessa constatação, Moinuddin e Olsen [23] demonstram que, quando confrontada com a Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), a pegada apresenta sensibilidades diferentes, revelando fragilidades quanto às unidades funcionais adotadas. De forma semelhante, Jiang *et al.* [15] propõem um modelo quantificado de sustentabilidade aplicado à engenharia, mas ainda restrito a contextos específicos. Em outras análises, como a de Kovshun *et al.* [17], buscam padronizações globais, contudo ressaltam que variações metodológicas persistem eminentemente. Essas divergências indicam a necessidade de aprimoramento dos modelos e de maior integração com ferramentas de avaliação ambiental. A crescente complexidade das



problemáticas ambientais voltadas a sustentabilidade demanda instrumentos que auxiliem na compreensão, monitoramento e formulação de respostas eficazes.

**Quadro 1: Comparação de ferramentas para apoiar a sustentabilidade dos ODS**

Ferramenta / Abordagem	Papel na Sustentabilidade dos ODS	Referências
Pegada Ecológica	Mede a pressão ambiental e identifica se o desenvolvimento ocorre dentro dos limites do planeta.	Jain e Jain [14]; Kovshun <i>et al.</i> [17]; Hametner [11]; Dasgupta <i>et al.</i> [6]; Hickel [12]; Eisenmenger [8]; Moinuddin e Olsen [23]; Munagala e Nagammal [24].
Índice de Desenvolvimento Verde	Integra indicadores ambientais, sociais e econômicos para avaliar vínculos entre crescimento e degradação.	Yang <i>et al.</i> [32].
Governança Sustentável e Qualidade Institucional	Estruturas institucionais eficazes, transparência e políticas ambientais robustas reduzem impactos ambientais.	Li e Zhang [18]; Sun <i>et al.</i> [29]; Al-Barakani <i>et al.</i> [1].
Transição Energética e Inovação Tecnológica	Adoção de energias renováveis e tecnologias limpas reduz a pegada ecológica e fortalece os ODS.	Saqib <i>et al.</i> [26]; Saqib <i>et al.</i> [27]; Jahanger <i>et al.</i> [13]; Chen <i>et al.</i> [4].
Indicadores Compostos (sociais, econômicos e ambientais)	Ampliam a compreensão dos desafios ao incluir pobreza, desigualdade e desenvolvimento humano na análise da pegada.	Khan <i>et al.</i> [16]; Opoku <i>et al.</i> [25].
LEEF Framework (Emergy LCA + Pegada local)	Integra análises energéticas, de ciclo de vida e pegada em hectares locais, permitindo comparações regionais.	Zadgaonkar e Mandavgane [33].
Avaliação de Ciclo de Vida (LCA) integrada à Pegada	Complementa a pegada em análises setoriais, como agropecuária e baterias de lítio, ampliando a precisão metodológica.	Biagetti <i>et al.</i> [3]; Jiang <i>et al.</i> [15];

Fonte: Autores (2025).

A presente pesquisa adota, combinando métodos qualitativos e quantitativos, dessa forma, o presente artigo tem como objetivo discutir a pegada ecológica como indicador de sustentabilidade, considerando suas potencialidades e limitações a partir da literatura existente e de experiências já realizadas no contexto nacional e internacional.

### 3.2. A Importância da Pegada nos ODS

Autores analisados como Yang *et al.* [32] e Dam *et al.* [5] defendem que a redução da pegada está diretamente relacionada ao avanço sustentável dos ODS, sobretudo os ligados a água, energia, produção e consumo responsável e vida terrestre (ODS 6, 7, 12 e 15). Consequentemente, em escala urbana, Munagala e Nagammal [24] demonstram que a pegada é eficaz para identificar lacunas de sustentabilidade. Todavia,



Moinuddin e Olsen [23] evidenciam que o aumento populacional e econômico tende a expandir a pegada, criando um dilema estrutural: o mesmo crescimento que permite avanços sociais amplia a pressão ecológica efetivamente.

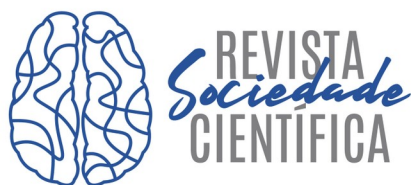
### 3.3. Ferramentas Complementares

A literatura analisada converge ao indicar que a Pegada Ecológica, quando associada a ferramentas complementares, apresenta maior consistência analítica. O Índice de Desenvolvimento Verde proposto por Yang *et al.* [32] e estudos sobre governança sustentável [18,29] evidenciam que instrumentos integrados aprimoram a interpretação dos impactos ambientais. Do mesmo modo, indicadores compostos que articulam dimensões sociais e econômicas ampliam a capacidade avaliativa dos modelos tradicionais [16, 25].

Nesse contexto, o método LEEF — LCA Emergy Ecological Footprint, desenvolvido por Zadgaonkar e Mandavgane [33], expande a análise ao integrar energia, Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) e Pegada Ecológica local. Assim, os estudos contemporâneos reforçam que a Pegada Ecológica, isoladamente, não é suficiente para captar a complexidade inerente às múltiplas dimensões da sustentabilidade [23].

### 3.4. Inovação Tecnológica e Pegada Ecológica

É amplamente reconhecível que a inovação tecnológica tem sido apontada como vetor de mitigação da pegada, sobretudo quando articulada ao uso de energias renováveis. Em países emergentes e grupos como BRICS e G20, investimentos em inovação verde reduziram significativamente os impactos ambientais [26,13,5]. Contudo, os resultados não são homogêneos. Em países de renda média, os efeitos são limitados sem políticas de incentivo [7,2]. Além disso, Ursavaş *et al.* [30] alertam que, em alguns contextos, a inovação pode inicialmente elevar a pegada antes de gerar benefícios sustentáveis de longo prazo.

**Quadro 2: Comparação sobre Impacto da inovação tecnológica na pegada ecológica**

Região / Contexto	Efeito da Inovação Tecnológica sobre a Pegada Ecológica	Referências
Países Emergentes, BRICS, G20, E-7 e N-11	Redução significativa da pegada, especialmente quando associada à adoção de energias renováveis e à digitalização.	Saqib <i>et al.</i> [26]; Saqib, Ozturk e Usman [28]; Saqib <i>et al.</i> [27] Dam, Kaya e Bekun [5]; Jahanger <i>et al.</i> [13]; Wang, Ge e Li [31].
Países de Renda Média	Impacto limitado quando a inovação ocorre isoladamente; necessita de políticas públicas de incentivo, capital humano e integração com energias renováveis.	Destek e Manga [7]; Aytun <i>et al.</i> [2]
Curto Prazo (tendência geral)	A inovação tecnológica pode aumentar a pegada inicialmente, antes de produzir efeitos positivos de longo prazo.	Ursavaş <i>et al.</i> [30].

Legenda: BRICS: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul; E-7: China, Índia, Brasil, Rússia, Indonésia, México e Turquia. N-11 (*Next Eleven*): Bangladesh, Egito, Indonésia, Irã, Coreia do Sul, México, Nigéria, Paquistão, Filipinas, Turquia e Vietnã.

Fonte: Autores (2025).

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar a função e os limites dos indicadores ambientais no monitoramento da sustentabilidade, discutindo suas potencialidades quando aplicados de forma integrada às políticas públicas e às transformações sociais necessárias para a consolidação de um modelo de desenvolvimento sustentável.

### 3.5. Estudos de Caso

Sob esse viés, pesquisas empíricas demonstram a aplicabilidade Pegada Ecológica em diferentes escalas territoriais. Liang *et al.* [19] investigaram desigualdades na distribuição de recursos em aglomerações urbanas na China, evidenciando a utilidade do indicador para análises espaciais. No contexto brasileiro, o estudo Ecological Footprint of Happiness [10] examinou a relação entre bem-estar e Pegada Ecológica em comunidades de baixa renda da cidade de São Paulo.

Ainda no Brasil, a Pegada Ecológica tem sido aplicada como ferramenta de educação ambiental, como no caso de Campina Grande [21]. Além disso, estudos sobre dietas demonstram o impacto das escolhas alimentares na magnitude da pegada, revelando importantes articulações entre sustentabilidade, saúde e padrões de consumo [20,22,9].



### 3.6. Sinergias e Trade-offs

Vale dizer que, a revisão confirma que avanços em determinados ODS podem ocorrer à custa do aumento da pegada. Wang *et al.* [31] mostram que ganhos em eficiência econômica não necessariamente reduzem pressões ambientais, bem como para Moinuddin e Olsen [23] a importância da transição para energias renováveis nos países da OCDE. Uma vez que, Moinuddin e Olsen [23] alertam para os efeitos de spillover, nos quais países transferem custos ambientais a outros, revelando contradições na governança global da sustentabilidade.

## 4. Considerações finais

A análise desenvolvida evidencia que a pegada ecológica constitui importante ferramenta para avaliar a sustentabilidade, mas apresenta limitações significativas quando utilizada de forma isolada. O indicador é eficaz para revelar desequilíbrios entre crescimento econômico e limites ecológicos, contudo, não contempla integralmente dimensões sociais e institucionais.

A partir de uma visão abrangente, o estudo confirma que, em muitos contextos, o progresso nos ODS ocorre acompanhado de aumento da pegada, o que denuncia contradições estruturais do modelo de desenvolvimento vigente. Assim, em consonância dessa discursiva, defende-se a integração da pegada a ferramentas complementares, como índices de desenvolvimento verde, LCA e indicadores sociais, bem como sua inserção em estratégias de inovação tecnológica, transição energética e governança sustentável.

E, por fim, conclui-se que a pegada ecológica, ao ser utilizada de maneira crítica e combinada, tem potencial para apoiar políticas públicas e práticas sociais mais consistentes, contribuindo para trajetórias de desenvolvimento em consonância com os limites planetários.

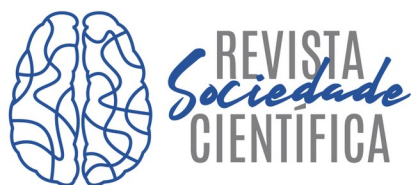


## 5. **Declaração de direitos**

Os autores declaram ser detentores dos direitos autorais da presente obra, que o artigo não foi publicado anteriormente e que não está sendo considerado por outra(o) Revista/Journal. Declaram que as imagens e textos publicados são de responsabilidade dos autores, e não possuem direitos autorais reservados a terceiros. Textos e/ou imagens de terceiros são devidamente citados ou devidamente autorizados com concessão de direitos para publicação quando necessário. Declaram respeitar os direitos de terceiros e de Instituições públicas e privadas. Declaram não cometer plágio ou autoplágio e não ter considerado/gerado conteúdos falsos e que a obra é original e de responsabilidade dos autores.

## 6. **Referências**

1. AL-BARAKANI, Abdo et al. Spatial analysis of financial development's effect on the ecological footprint of Belt and Road Initiative countries. *Journal of Cleaner Production*, v. 366, p. 132696, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132696>.
2. AYTUN, Cengiz et al. Associating environmental quality, human capital, financial development and technological innovation in middle-income countries: a disaggregated ecological footprint approach. *Technology in Society*, v. 76, p. 102445, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102445>.
3. BIAGETTI, Sergio et al. Comparison of the use of life cycle assessment and ecological footprint methods for evaluating environmental performances in dairy production. *Science of the Total Environment*, v. 896, p. 164337, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164337>.
4. CHEN, Jie; HUANG, Shoujun; KAMRAN, Hafiz Waqas. Empowering sustainability practices through energy transition for Sustainable Development Goal 7. *Energy Policy*, v. 176, p. 113499, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113499>.



5. DAM, Mehmet Metin; KAYA, Funda; BEKUN, Festus Victor. How does technological innovation affect the ecological footprint? Evidence from E-7 countries. *Journal of Cleaner Production*, v. 443, p. 141020, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141020>.
6. DASGUPTA, Partha; DASGUPTA, Aisha; BARRETT, Scott. Population, ecological footprint and the sustainable development goals. *Environmental and Resource Economics*, v. 84, p. 659-675, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10640-021-00595-5>.
7. DESTEK, Mehmet Akif; MANGA, Muge. Technological innovation, financialization, and ecological footprint: evidence from BEM economies. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 17, p. 21991-22001, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11845-2>.
8. EISENMENGER, Nina et al. The Sustainable Development Goals prioritize economic growth over sustainable resource use. *Sustainability Science*, v. 15, n. 4, p. 1101-1110, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00813-x>.
9. GARZILLO, Juliana et al. Ultra-processed food intake and diet carbon and water footprints: Brazil. *Revista de Saúde Pública*, v. 56, p. 75, 2022. DOI: <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056004086>.
10. GIANNETTI, B. F. et al. The Ecological Footprint of Happiness: a case study of a low-income community in the city of São Paulo, Brazil. *Sustainability*, v. 14, n. 19, p. 12056, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141912056>.
11. HAMETNER, Markus. Economics without ecology: how the SDGs fail to align socioeconomic development with environmental sustainability. *Ecological Economics*, v. 199, p. 107490, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107490>.



12. HICKEL, Jason. The contradiction of the sustainable development goals: growth versus ecology on a finite planet. *Sustainable Development*, v. 27, n. 5, p. 873-884, 2019.
13. JAHANGER, Atif et al. The linkages between natural resources, human capital, globalization, economic growth, financial development, and ecological footprint. *Resources Policy*, v. 76, p. 102569, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102569>.
14. JAIN, Prerna; JAIN, Pragati. Are the Sustainable Development Goals really sustainable? *Sustainable Development*, v. 28, n. 6, p. 1642-1651, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.2112>.
15. JIANG, Hao; ZHANG, Wei; LI, Chunhua. A quantified methodology for evaluating engineering sustainability: ecological footprint measurement modeling. *Buildings*, v. 14, n. 11, p. 3552, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113552>.
16. KHAN, Salim; WANG, Yahong; ZEESHAN, Asma. Impact of poverty and income inequality on the ecological footprint in Asian developing economies. *Energy Reports*, v. 8, p. 670-679, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.001>.
17. KOVSHUN, N. et al. Global measurement of ecological footprint in the context of sustainable development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 1269, p. 012032, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1269/1/012032>.
18. LI, Qiang; ZHANG, Shuliang. Impact of globalization and industrialization on ecological footprint: do institutional quality and renewable energy matter? *Frontiers in Environmental Science*, v. 13, p. 1535638, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1535638>.



19. LIANG, Wen et al. Fairness evaluation on achieving Sustainable Development Goals of ecological footprint: case study of Guanzhong Plain. *Sustainability*, v. 17, n. 10, p. 4728, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17104728>.
20. MARQUEZINE CALDEIRA, T. C. et al. Differences in cost and environmental impact between current diet and healthy diets. *Nutrition Journal*, v. 23, p. 76, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-024-00991-4>.
21. MARTINS, Miriam Souza; FONTGALLAND, Isabel Lausanne. A Pegada Ecológica como instrumento de educação ambiental: o estudo de caso da cidade de Campina Grande-PB. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 15, p. e546101523145, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23145>.
22. MARQUEZINE CALDEIRA, T. C. et al. Brazilian adolescents' dietary environmental footprints. *Sustainability in Debate*, v. 16, p. 211-229, 2025. DOI: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v16n2.2025>.
23. MOINUDDIN, Mustafa; OLSEN, Simon Høiberg. Examining the unsustainable relationship between SDG performance, ecological footprint and international spillovers. *Scientific Reports*, v. 14, p. 11277, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61530-4>.
24. MUNAGALA, Lalitha; NAGAMMAL, Jothilakshmy. Impact of ecological footprint on achieving sustainability in urban neighbourhoods. *Journal of Lifestyle and SDGs Review*, v. 5, n. 4, p. 06177, 2025. DOI: <https://doi.org/10.47172/2965-730x.sdgsreview.v5.n04.pe06177>.
25. OPOKU, Eric Evans Osei; DOGAH, Kingsley E.; ALUKO, Olufemi Adewale. The contribution of human development towards environmental sustainability. *Energy Economics*, v. 106, p. 105782, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105782>.



26. SAQIB, Najia et al. Integration of renewable energy and technological innovation in realizing environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 6, p. 16372-16385, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23345-6>.
27. SAQIB, Najia; USMAN, Muhammad; OZTURK, Ilhan; SHARIF, Arshian. Harnessing the synergistic impacts of environmental innovations, financial development, green growth, and ecological footprint. *Energy Policy*, v. 184, p. 113863, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113863>.
28. SAQIB, Najia; OZTURK, Ilhan; USMAN, Muhammad. Technological innovations, financial inclusion, and renewable energy in diminishing ecological footprints. *Geoscience Frontiers*, v. 14, n. 6, p. 101667, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101667>.
29. SUN, Yunpeng et al. The nonparametric causal effect of sustainable governance structure on energy efficiency and ecological footprint. *Gondwana Research*, v. 121, p. 383-403, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.05.007>.
30. URSAVAŞ, Selim; KORKMAZ, Sinem; DEMIR, Ahmet. Short- and long-term environmental effects of technological innovations: a panel study on ecological footprint. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 102, p. 107282, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107282>.
31. WANG, Qiang; GE, Yanan; LI, Rui. Does improving economic efficiency reduce ecological footprint? *Energy Policy*, v. 176, p. 113623, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113623>.
32. YANG, Yi et al. Ecological degradation and green development at crossroads. *Environment, Development and Sustainability*, v. 27, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05544-y>.



33. ZADGAONKAR, A. S.; MANDAVGANE, S. A. Localized ecological footprint assessment using emergy and life cycle approaches: The LEEF framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 258, p. 120658, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120658>.