



Déficit da Pegada Ecológica no Brasil: Uma análise dos relatórios da *World Wide Fund For Nature*

Ecological Footprint Deficit in Brazil: An analysis of reports from The World Wide Fund For Nature

Michael Douglas Sousa Leite¹ & Isabel Lausanne Fontgalland²

Resumo: Este artigo buscou analisar as mudanças na pegada ecológica no Brasil ao longo do tempo, com foco nos relatórios da *World Wide Fund for Nature* (WWF) e na literatura científica. Para tanto, o presente artigo é do tipo documental, bibliográfico e qualitativo. A coleta de dados foi conduzida por meio de buscas sistemáticas, empregando termos de pesquisa como "Pegada Ecológica", "Brasil", "*World Wide Fund for Nature*". Os resultados mostraram que apesar de deter uma das maiores biocapacidade global, o Brasil enfrenta desafios na tradução eficaz dessa vantagem em benefícios sustentáveis. Os resultados destacam o fenômeno do crescimento horizontal e vertical de escala no sistema econômico brasileiro, apontando para a combinação do crescimento populacional com o aumento do consumo, especialmente em regiões urbanas. Disparidades regionais na Pegada Ecológica per capita são evidenciadas, indicando padrões distintos de consumo em diferentes partes do país. Os relatórios da WWF destacam a importância de intervenções estratégicas para desencadear transformações significativas. Nesse sentido, o estudo destaca a necessidade de repensar os modelos de consumo e adotar práticas mais sustentáveis. O déficit da Pegada Ecológica no Brasil exige uma resposta proativa e colaborativa de formuladores de políticas, comunidades e setores econômicos. Somente através de intervenções estratégicas e uma mudança fundamental na abordagem em relação aos recursos naturais, pode-se aspirar a um futuro onde a biocapacidade do Brasil seja efetivamente transformada em benefícios sustentáveis, garantindo a harmonia entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental.

Palavras-Chave: *Biocapacidade; Brasil; Pegada ecológica; WWF.*

Abstract: This article aimed to analyze changes in the ecological footprint in Brazil over time, focusing on reports from the World Wide Fund for Nature (WWF) and scientific literature. To do so, the present article is of a documentary, bibliographical, and qualitative nature. Data collection was conducted through systematic searches, employing search terms such as "Ecological Footprint," "Brazil," "World Wide Fund for Nature." The results showed that despite having one of the largest global biocapacities, Brazil faces challenges in effectively translating this advantage into sustainable benefits. The findings highlight the phenomenon of horizontal and vertical scale growth in the Brazilian economic system, pointing to the combination of population growth with increased consumption, especially in urban areas. Regional disparities in per capita Ecological Footprint are evident, indicating distinct consumption patterns in different parts of the country. WWF reports emphasize the importance of strategic interventions to trigger significant transformations. In this sense, the study highlights the need to rethink consumption models and adopt more sustainable practices. The deficit of the Ecological Footprint in Brazil requires a proactive and collaborative response from policymakers, communities, and economic sectors. Only through

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 25/10/2023; aprovado em 04/04/2024.

¹ Bacharel em Administração pela Universidade Federal de Campina Grande, Mestre em Gestão e Sistema Agroindústrias - PPGSA/UFCG, Doutorando em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN/UFCG, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9356-1872>;

² Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Ceará; Mestrado em Economia pela Universidade Federal da Paraíba; Doutorado em Economia Industrial - Université de Sciences Sociales de Toulouse 1- França (LIRHE) e Pós-Doutorado em Economia pela Ohio University - Athens - Ohio – EUA, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0087-2840>.

strategic interventions and a fundamental shift in the approach to natural resources can one aspire to a future where Brazil's biocapacity is effectively transformed into sustainable benefits, ensuring harmony between economic development and environmental preservation.

Keywords: *Biocapacity; Brazil; Ecological footprint; WWF.*

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a crescente preocupação com as questões ambientais tem impulsionado a busca por soluções que possam mitigar os impactos adversos da atividade humana sobre o ecossistema global. Nesse contexto, a pegada ecológica emergiu como uma métrica inovadora que quantifica a demanda humana sobre os recursos naturais e compara esse consumo com a capacidade de regeneração da Terra. A pegada ecológica não apenas oferece uma avaliação tangível do impacto ambiental das atividades humanas, mas também tem se revelado uma ferramenta poderosa na educação ambiental, promovendo uma compreensão mais profunda das interconexões entre a sociedade e o meio ambiente.

Cavalcanti (2003) já há 20 anos atrás alertava para a necessidade de uma mudança paradigmática, com a rejeição da crença no crescimento ilimitado e a adoção de uma nova ética não-economicista na visão da economia e gestão dos recursos naturais. O autor argumenta a favor de uma integração mais profunda entre desenvolvimento e meio ambiente, indo além da visão fragmentada que considera a natureza apenas como mais um setor econômico. A proposta de um novo paradigma implica, igualmente, em uma educação que forme profissionais capazes de compreender as interrelações complexas entre homem, sociedade, economia e natureza. O autor propõe uma abordagem mais holística, ética e sustentável para o desenvolvimento, destacando a urgência de repensar os fundamentos que orientam as políticas públicas e práticas socioeconômicas.

A Pegada Ecológica, também conhecida como *Ecological Footprint* (EF), é uma ferramenta de avaliação proposta por Wackernagel e Rees (1996). Ela representa a extensão de espaço ecológico necessária para manter um sistema ou unidade específica. Essa abordagem consiste em uma métrica que traduz os fluxos de matéria e energia que entram e saem de um sistema econômico, convertendo esses fluxos em uma equivalência de área de terra ou água existente na natureza, necessária para sustentar o funcionamento desse sistema (Van Bellen, 2002).

A essência fundamental apresentada pelos autores é que cada indivíduo ou região, enquanto participante de processos distintos, exerce um impacto sobre o planeta, por meio do consumo de recursos e da geração de resíduos. O cálculo da Pegada Ecológica envolve quantificar em hectares a quantidade de terra e água produtivas utilizada para adquirir os recursos consumidos, assim como para absorver os resíduos produzidos. Em geral, essa Pegada Ecológica deve ser menor do que a parte correspondente da superfície ecologicamente produtiva do planeta (Lisboa; Barros, 2010).

A Pegada Ecológica (PE) é universalmente reconhecida como uma métrica de sustentabilidade, pois tem a capacidade de quantificar o consumo de recursos naturais, oferecendo dados que viabilizam a avaliação da capacidade de suporte do ecossistema terrestre. Essa abordagem pode calcular a extensão de área de produção utilizada para gerar os recursos necessários para sustentar o modo de vida de indivíduos, cidades, regiões ou nações (Rees, 1992).

A PE desempenha um papel crucial no estudo do consumo de recursos naturais, desempenhando um papel fundamental no planejamento de políticas destinadas à sustentabilidade, uma vez que é considerada um indicador acessível que fornece entendimento compreensível. Além disso, ela serve como uma ferramenta valiosa para investigar o grau de uso da terra, permitindo a análise de diferentes cenários relacionados ao uso de recursos naturais e suas potencialidades (Iazdi; Pedroso, 2020; Martins; Fontgalland, 2021).

Nesse sentido, o presente artigo busca analisar as mudanças na pegada ecológica no Brasil ao longo do tempo, com foco nas dos relatórios da *World Wide Fund for Nature (WWF)* e na literatura científica.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Pegada Ecológica no Mundo

A humanidade ultrapassou a capacidade sustentável da Terra. Esse termo refere-se à quantidade máxima de recursos naturais que o planeta pode fornecer de maneira duradoura, considerando as necessidades básicas da população, os padrões de consumo e a preservação dos ecossistemas. A capacidade de carga representa a população máxima que o ambiente pode sustentar indefinidamente, levando em conta alimentos, água, *habitat* e todas as outras demandas da espécie humana (Lamim-Guedes, 2015).

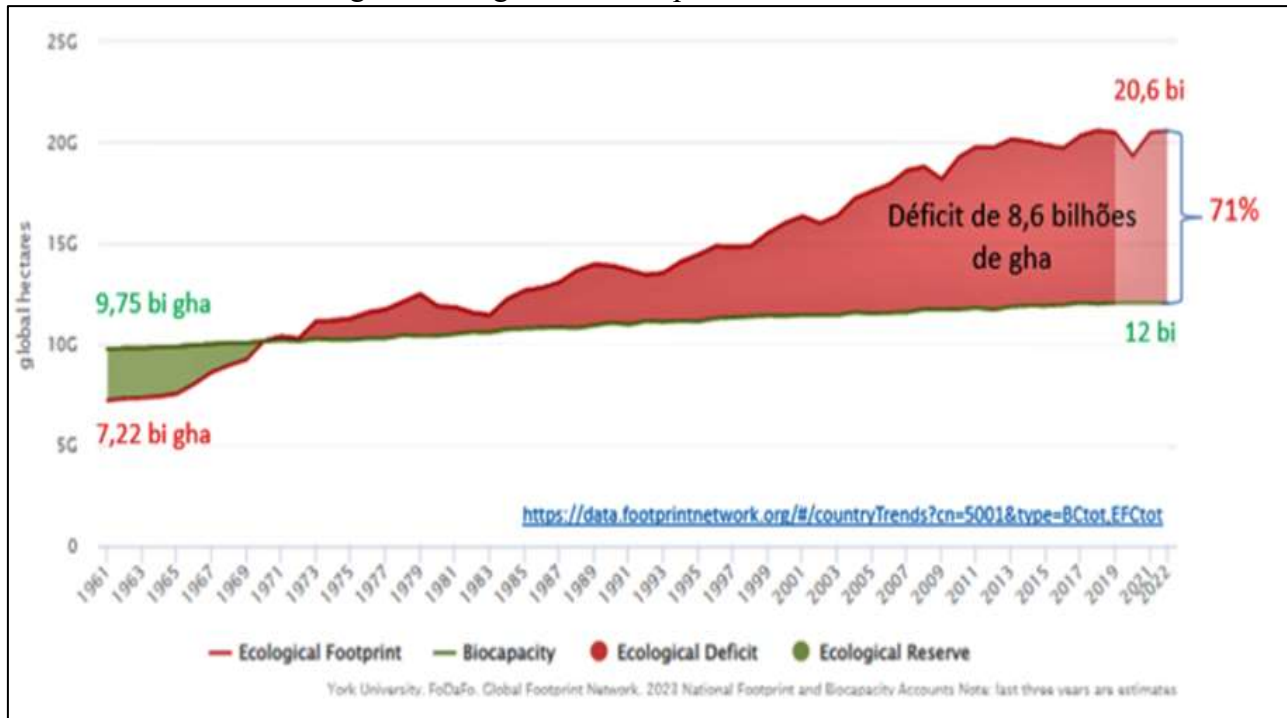
A capacidade total de área produtiva disponível no mundo, conhecida como biocapacidade, é de 11,9 bilhões de hectares globais, o que equivale a uma média de 1,8 hectares globais por habitante, considerando a população mundial de 7 bilhões de pessoas em 2011 (ONU Brasil, 2011). Além disso, a biocapacidade está em declínio, seja devido ao aumento da população ou à degradação de solos e mares (Fava; Vialli, 2009; Lamim-Guedes, 2018).

No momento atual, a Pegada Ecológica média global atinge 2,7 hectares globais por pessoa, superando significativamente a biocapacidade disponível, que é de apenas 1,8 hectares global por indivíduo. Esta disparidade resulta em um sério déficit ecológico para a população do planeta, calculado em 0,9 gha/cap. A humanidade está operando atualmente em um déficit de 0,9 planetas, indicando que

necessitamos de 1,5 planetas para sustentar nosso atual padrão de consumo. Essa situação representa uma ameaça substancial à biocapacidade planetária (WWF, 2023).

A Figura 01 elaborada pelo Instituto *Global Footprint Network* (2023) exhibe os dados da pegada ecológica global e da biocapacidade global desde 1961 até 2022.

FIGURA 01: Pegada Ecológica e a Biocapacidade no Mundo de 1961 até 2022.



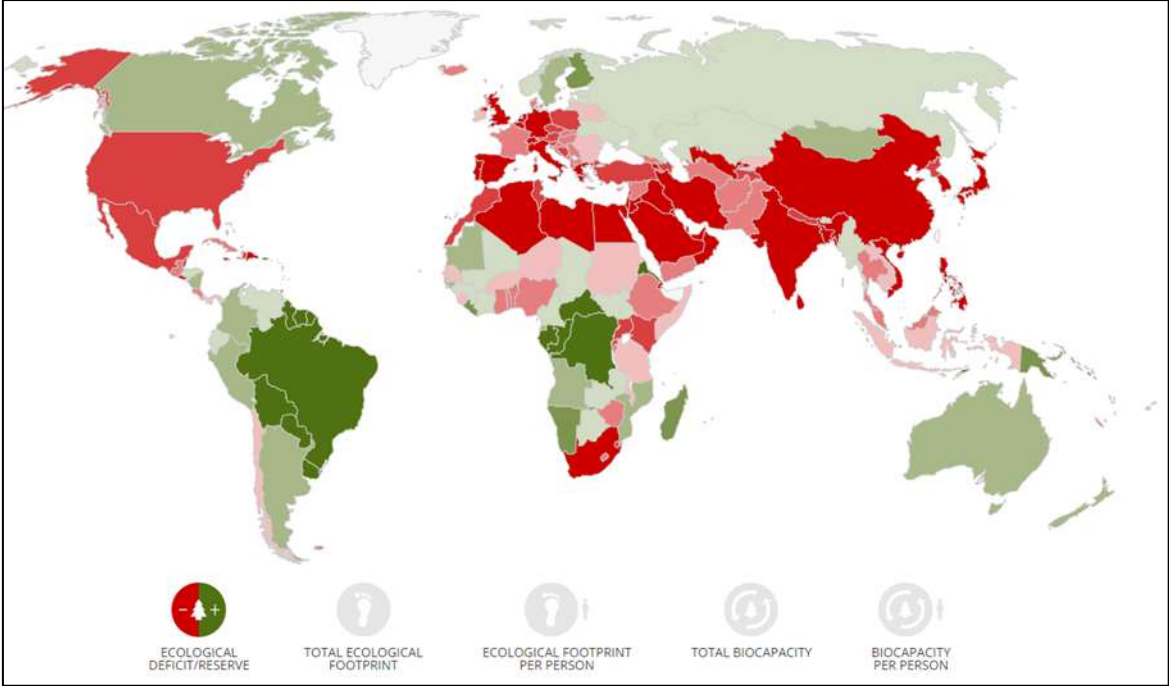
FONTE: Instituto *Global Footprint Network* (2023)

No ano de 1961, a população mundial era de cerca de 3 bilhões de pessoas, com uma biocapacidade de 9,75 bilhões de hectares globais (gha) e uma pegada ecológica de 7,22 bilhões de gha. Naquela época, o planeta desfrutava de um excedente ambiental, representado pela área verde no gráfico acima, uma condição que perdurou ao longo da década de 1960. Hoje, grande parte dos países como um todo, registam défices ecológicos. Na verdade, hoje mais de 85% da população mundial vive em países com déficit ecológico. O déficit ecológico mundial é referido como excesso ecológico global (Instituto Global Footprint Network, 2023).

É possível perceber apenas no período de (1970 a 2000) uma redução de cerca de 35% na biodiversidade, o que representa uma perda comparável somente a eventos de extinção em massa que ocorreram em apenas quatro ou cinco ocasiões ao longo dos bilhões de anos da história (WWF BRASIL, 2023).

A Figura 02 mostra as áreas em vermelho em déficit e as verdes com excedente ambiental.

FIGURA 02: Pegada Ecológica no Mundo.



FONTE: Instituto *Global Footprint Network* (2023).

Os dados de 2022 mostram uma diminuição na pegada ecológica global devido aos impactos da pandemia de covid-19, que desencadeou uma recessão econômica global. No entanto, à medida que as atividades econômicas foram retomadas, a pegada ecológica aumentou novamente, resultando no crescimento do déficit ambiental. Em outras palavras, em 2022, a humanidade estava consumindo recursos em excesso, chegando a 71% a mais do que o planeta poderia fornecer de maneira sustentável (Instituto Global Footprint Network, 2023).

As projeções para o ano de 2050 alertam que, se mantivermos esse padrão de consumo, precisaremos de mais de dois planetas para satisfazer nossas necessidades. Torna-se imperativo um esforço global para reverter essa tendência, a fim de garantir que possamos viver dentro dos limites da biocapacidade do planeta (WWF Brasil, 2023).

A Tabela 01 traz informações dos países em déficit e superávit.

TABELA 01: Ranking dos países em déficit e superávit da Pegada Ecológica.

Maiores Déficits		Melhores Superávits	
Nauru	- 46.000%	Guiana Francesa	4.900%
Singapura	- 6.100%	Suriname	2.160%
Ilha da Reunião	- 3.200%	Guiana	1.460%

Israel	- 1.600%	Gabão	811%
Emirados Árabes Unidos	- 1.500%	Congo	635%
Bahrein	- 1.400%	República Centro-Africana	462%
Kiribati	- 1.300%	Bahamas	447%
São Cristóvão e Nevis	- 1.800%	Uruguai	380%
Catar	- 1.100%	Bolívia	361%
Líbano	- 950%	Porto Rico	315%
Kuwait	- 900%	Paraguai	236%
Luxemburgo	- 840%	Timor-Leste	232%
Coreia do Sul	- 810%	Brasil	219%

FONTE: Elaborado a partir de dados do Instituto *Global Footprint Network* (2023).

A Tabela 01 de déficit na pegada ecológica revela uma situação alarmante em vários países. Nauru destaca-se com um déficit extraordinário de 46.000%, indicando uma dependência desenfreada de recursos em relação à capacidade de regeneração do ambiente. Esse país chegou a ser o segundo país com a maior renda per capita do planeta, ficando na frente de qualquer território europeu. Entretanto, após anos de exploração, a menor república do planeta se tornou um local pobre e completamente devastado pela ganância humana.

Singapura e a Ilha da Reunião, também demonstram um consumo muito além dos limites sustentáveis. Outros países, como Israel (1.600%), Emirados Árabes Unidos (1.500%), Bahrein (1.400%), e São Cristóvão e Nevis (1.800%), apresentam déficits consideráveis, indicando uma pressão significativa sobre os recursos naturais. Esses números sugerem uma necessidade urgente de reavaliar práticas de consumo e adotar abordagens mais sustentáveis para mitigar a exploração excessiva dos recursos do planeta.

Em relação aos países com Superávit, a Tabela 01 destaca uma lista de países que apresentam notáveis superávits na pegada ecológica, indicando uma capacidade de regeneração ambiental que supera significativamente o consumo local. Guiana Francesa lidera com um superávit de 4.900%, seguida pelo Suriname com 2.160% e a Guiana com 1.460%. Esses valores expressivos sugerem que esses países têm a capacidade de manter uma relação equilibrada entre seu consumo de recursos naturais e a habilidade do ambiente em se regenerar (Alves, 2023).

Vale destacar, países como China, Índia, Estados Unidos, Indonésia, Rússia, Japão e Alemanha. Esses países juntos acumulam uma pegada ecológica correspondem a toda a biocapacidade do planeta, que é de 12 bilhões de gha (Alves, 2023).

A China detém atualmente a maior pegada ecológica total e o maior déficit ambiental absoluto. Para tanto, essa realidade contrasta com a situação em 1961, quando a população chinesa era de 655 milhões de habitantes. Naquela época, o país apresentava um pequeno superávit ambiental, com uma biocapacidade total de 575 milhões de hectares globais (gha) e uma pegada ecológica total de 548 milhões de gha. Ao longo das décadas seguintes, o crescimento populacional e econômico transformou essa dinâmica.

Em 2022, com uma população de 1,41 bilhão de habitantes, a pegada ecológica total da China disparou para 5,28 bilhões de gha, enquanto a biocapacidade alcançou 1,17 bilhão de gha. Como resultado, o déficit ecológico absoluto da China atingiu 4,1 bilhões de gha, representando um déficit relativo de 351%. Essa evolução destaca a pressão crescente sobre os recursos naturais do país devido ao seu rápido desenvolvimento econômico e ao aumento populacional (WWF China, 2023; Global Footprint Network, 2023).

A Índia em 1961, contava com uma população de 456 milhões de habitantes, a qual cresceu significativamente para 1,41 bilhão em 2022, tornando-se o país mais populoso do mundo em 2023, ultrapassando a China. Inicialmente, a Índia apresentava um pequeno déficit ambiental em 1961.

No entanto, o crescimento demográfico e econômico ao longo do tempo resultou em um déficit ecológico total de 1 bilhão de hectares globais (gha), com uma pegada ecológica de 1,47 bilhão de gha e uma biocapacidade de 0,485 bilhão de gha em 2022. Esse déficit relativo é significativo, atingindo 203%. Apesar de ter uma pegada ecológica per capita abaixo da média mundial, a Índia ocupa o terceiro lugar em termos de pegada ecológica total devido à sua vasta população e ao fato de ser, atualmente, o país com as maiores taxas de crescimento econômico no mundo. Isso destaca a complexa dinâmica entre o desenvolvimento econômico, a densidade populacional e os impactos ambientais no contexto indiano (Nathaniel, 2021; Global Footprint Network, 2023).

A população dos Estados Unidos consome o dobro dos recursos naturais renováveis e serviços regeneráveis dentro de suas fronteiras. Virgínia, Maryland e Delaware são os Estados com as maiores Pegadas Ecológicas per capita, indicando um alto impacto ambiental por habitante. Em contrapartida, Nova York, Idaho e Arkansas apresentam as menores Pegadas Ecológicas por pessoa, sugerindo práticas mais sustentáveis nesses Estados (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2015).

A população dos Estados Unidos da América (EUA) em 1961 era de 180 milhões de habitantes, registrando uma pegada ecológica total de 1,64 bilhão de hectares globais (gha) e uma biocapacidade total de 1,03 bilhão de gha.

Nesse período, os EUA apresentavam um déficit ambiental de 64%, sendo notável o fato de que sua pegada ecológica total era superior à soma das pegadas ecológicas da China e da Índia. Ao longo das

últimas seis décadas, a pegada ecológica dos EUA flutuou, alcançando 2,52 bilhões de gha, enquanto a biocapacidade total aumentou para 1,26 bilhão de gha.

Isso resultou em um déficit ambiental absoluto de 1,3 bilhão de gha e um déficit relativo de 101%. Essa evolução destaca as mudanças na pressão sobre os recursos naturais nos EUA ao longo do tempo, refletindo a complexa interação entre crescimento populacional, padrões de consumo e impactos ambientais (Nathaniel, 2021; Instituto Global Footprint Network, 2023; WWF Eua, 2023).

Quando se trata de biocapacidade, uma medida de terra bioproductiva, é o Alasca, Texas e Michigan que se destaca como os Estados mais abundantes em recursos. Em contraste, Rhode Island, Delaware e Arizona mostram as menores biocapacidades, indicando uma capacidade mais limitada de suportar a demanda ecológica.

Os Estados da Califórnia, Texas e Flórida enfrentam os maiores déficits ecológicos, indicando que sua demanda por recursos ultrapassa significativamente a capacidade regenerativa do ambiente. Por outro lado, o Alasca, Dakota do Sul e Montana possuem as maiores reservas ecológicas, sugerindo uma relação mais equilibrada entre consumo e capacidade de regeneração ambiental nesses Estados (Global Footprint Network, 2015).

No cenário atual, a humanidade se encaminha perigosamente para uma catástrofe ambiental, pois o aumento constante da pegada ecológica está desequilibrando o clima global e acelerando o processo de extinção em massa das espécies, conhecido como a 6ª extinção (Lamim-Guedes, 2018).

Entretanto, é crucial compreender que esse caminho também representa uma rota em direção ao autodestrutivo e ao declínio civilizacional. Enfrentar os desafios da sobrevivência e da sustentabilidade demanda abordagens intrincadas, soluções diversas e ações imediatas. O tempo é um recurso precioso, e não podemos nos dar ao luxo de perdê-lo diante dessa urgência global.

METODOLOGIA

O presente artigo é do tipo documental, bibliográfico e qualitativo. O escopo da pesquisa são os relatórios da *World Wide Fund for Nature* (WWF). A WWF é uma organização de conservação independente ativa em quase 100 países, que trabalha para sustentar o mundo natural em benefício das pessoas e da vida selvagem. A organização é uma coligação crescente que apela aos líderes mundiais para que coloquem a natureza no caminho da recuperação até 2030 – um Novo Acordo para a Natureza e as Pessoas tão abrangente como o acordo climático global (WWF, 2023).

Em relação ao levantamento bibliográfico, foi realizada uma abrangente busca de artigos, Dissertações e Teses sobre a pegada ecológica no Brasil. As bases de dados usadas foram: *Scielo*; *Google*

acadêmico e a base de dados da CAPES. Não houve restrições de tempo para a seleção dos estudos, de modo a abranger a literatura sobre a temática.

A coleta de dados foi conduzida por meio de buscas sistemáticas no, empregando termos de pesquisa como "Pegada Ecológica", "Brasil", " *World Wide Fund for Nature*". A pesquisa foi restrita ao idioma português e inglês para garantir a relevância da literatura selecionada. Foram considerados para inclusão na revisão artigos acadêmicos, dissertações e teses que abordassem a utilização da Pegada Ecológica no Brasil.

Foram excluídos estudos que não apresentavam vínculo direto com a temática, bem como aqueles não disponíveis para leitura. Os estudos selecionados foram submetidos a uma análise detalhada, que incluiu a identificação dos resultados e foi usado o método comparativo. A análise teve como foco entender as mudanças na pegada ecológica no Brasil ao longo do tempo.

Relatórios da *World Wide Fund for Nature* (WWF)

A WWF, uma organização não governamental e sem fins lucrativos, dedica-se a transformar a atual trajetória de degradação ambiental, visando um futuro mais equitativo e saudável para todos, onde sociedade e natureza coexistam harmoniosamente.

Para alcançar esse propósito, A WWF prioriza o diálogo e a colaboração com diversos setores da sociedade, incluindo comunidades tradicionais, organizações locais, empresas e o governo. No cerne de nossa abordagem está o fortalecimento das ações de comunidades e iniciativas que estão na vanguarda da proteção dos biomas (WWF, 2023). A organização foi fundada em 1961. A WWF se descreve como uma organização em rede. A sua composição e estrutura são dinâmicas. A organização é composta por cerca de 30 Escritórios Nacionais (ONs) e 27 Escritórios de Programas (OPs) (Zwieten; Lamers; Van Der Duim, 2019). O propósito dos relatórios vai além da mera determinação da Pegada Ecológica de município ou país; a organização busca-se estabelecê-la como uma ferramenta eficaz na gestão ambiental urbana.

Embora o cálculo desempenhe um papel crucial nesse processo, A WWF destaca que é necessário mobilizar a população para compreender profundamente seu significado. A ideia é que, a partir das discussões sobre os resultados divulgados pela organização, sejam desenvolvidas estratégias de mitigação em colaboração com os setores público e privado (WWF, 2012).

Dessa maneira, o cálculo não se limita a uma mera prática de contabilidade ambiental, transformando-se em uma ferramenta catalisadora que incentivará a população a reconsiderar seus hábitos de consumo, favorecendo a escolha de produtos mais sustentáveis. Além disso, essa abordagem buscará motivar as empresas a aprimorarem suas cadeias produtivas em prol da sustentabilidade (WWF, 2012).

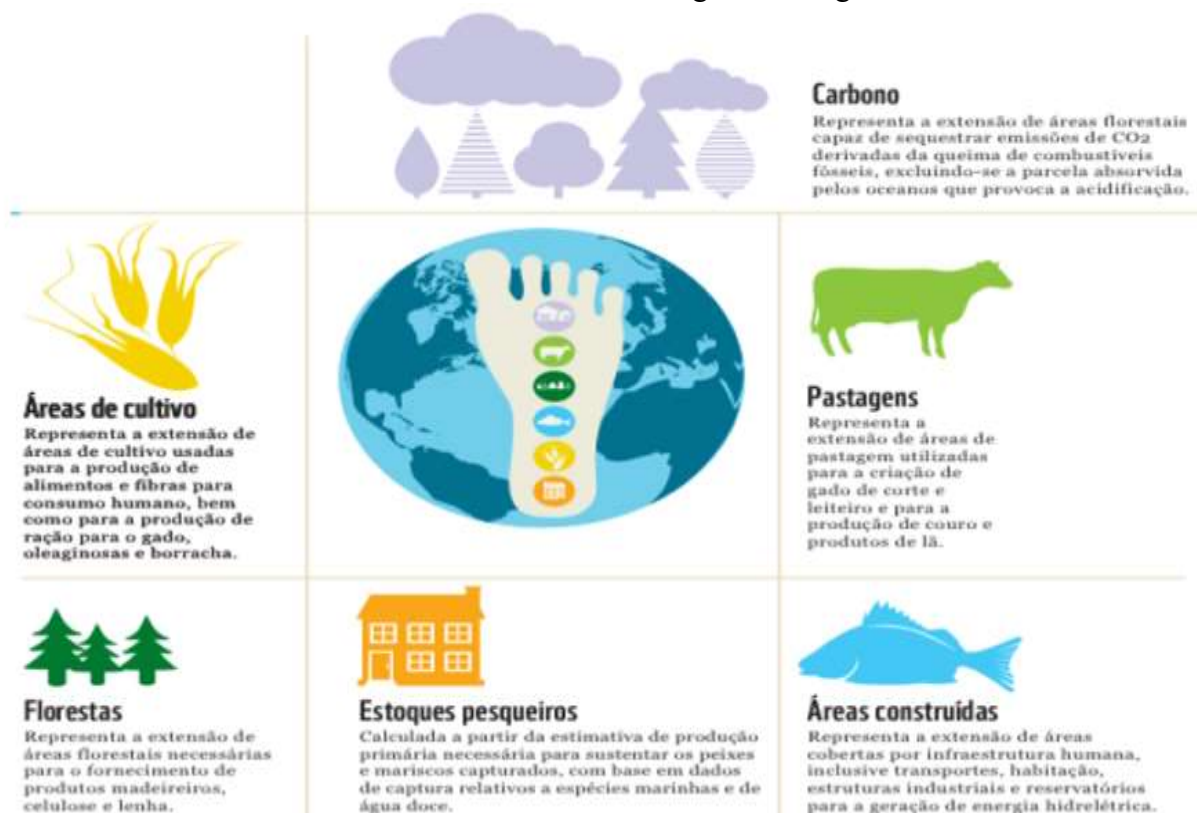
Método da Pegada Ecológica

O conceito de pegada ecológica abrange não apenas a quantidade de recursos que consumimos, mas também, à medida que, produzimos resíduos, considerando os limites da capacidade do planeta em absorvê-los e transformá-los em recursos ao longo do tempo. Essa relação é fundamental para avaliar como o uso de recursos naturais e a geração de resíduos se alinham à capacidade de regeneração do planeta. A compreensão dessa dinâmica levou ao desenvolvimento do conceito de sociedade sustentável, que preconiza a utilização equilibrada dos recursos naturais, sem comprometer sua disponibilidade para as gerações futuras, resultante das atividades subjacentes de exploração (Fontgalland, 2022).

A Pegada Ecológica é um método contábil que avalia as demandas simultâneas da humanidade sobre a biosfera, comparando a demanda humana com a capacidade regenerativa do planeta. Esse processo envolve a soma das áreas necessárias para fornecer recursos renováveis utilizados pelas pessoas, as áreas ocupadas por infraestrutura e as áreas necessárias para absorver resíduos.

Nos balanços nacionais atuais da Pegada Ecológica, os insumos de recursos monitorados incluem grãos, peixes, madeira e pasto. O CO₂ é o único resíduo considerado atualmente. Como o consumo humano abrange recursos globais, a Pegada Ecológica totaliza essas áreas independentemente de sua localização no planeta (WWF, 2013).

FIGURA 03: Elementos da Pegada Ecológica.



FONTE: WWF, (2012).

Para avaliar se a demanda humana por recursos renováveis e a absorção de CO₂ podem ser sustentadas, a Pegada Ecológica é comparada com a capacidade regenerativa do planeta, ou seja, sua biocapacidade. Ambas são expressas em hectares globais (gha), representando a capacidade produtiva de um hectare de terra com produtividade média mundial.

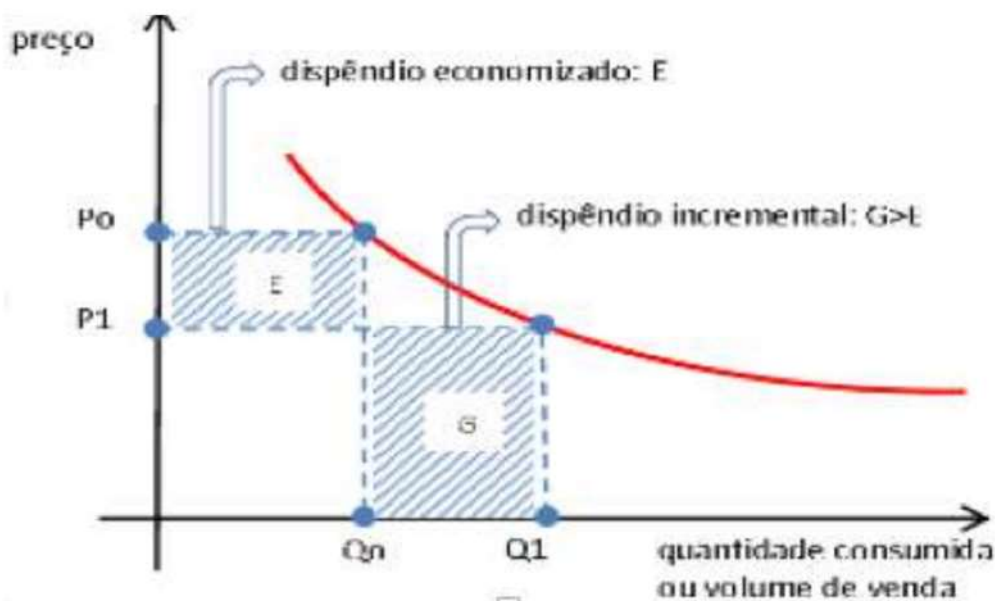
Para Fontgalland (2022) a Pegada Ecológica é uma medida quantitativa que avalia os recursos naturais necessários para manter o padrão de vida da sociedade. Quando o nível de consumo de um indivíduo ultrapassa a capacidade de reposição da natureza, ele contribui para um gasto insustentável que representa uma ameaça à sustentabilidade futura e à preservação da vida no planeta. A Pegada Ecológica utiliza fluxos de materiais e energia para calcular a carga biofísica que as populações humanas ou processos industriais impõem aos ecossistemas globais.

A avaliação da pegada ecológica da população de uma determinada área, que representa a demanda por serviços provenientes do capital natural, é realizada considerando o consumo ocorrido dentro de seus limites geográficos (Gonzalez; Andrade, 2015). Esse processo é expresso segundo Ewing *et al.*, (2010) na Equação 1.

$$PE_c = PE_p + PE_i - PE_e \quad [1]$$

Na equação, PE_c denota a pegada ecológica do consumo, enquanto PE_p reflete a demanda por bens da região, incluindo alimentos, produtos florestais e a biocapacidade utilizada em áreas urbanas, bem como a biocapacidade necessária para absorver o carbono emitido pela população local. PE_i representa a mesma demanda, porém associada à produção de bens originados fora da região (importações), e PE_e é a porção da PE_p que corresponde à produção regional destinada a outras áreas (exportações) (Ewing *et al.*, 2010). Essa equação é empregada quando os dados de consumo da população não estão disponíveis, recorrendo-se, assim, aos dados de produção e comércio (Ewing *et al.*, 2010; Gonzalez; Andrade, 2015).

A metodologia da pegada ecológica utiliza um conceito chave de *Overshoot*. Assim como as despesas são comparadas às receitas em finanças, as Contas Nacionais da Pegada Ecológica realizam uma comparação entre os valores do Produto Interno Bruto (PIB) para avaliar o estado do capital natural. Um déficit de biocapacidade é identificado quando o valor da Pegada Ecológica excede o valor da biocapacidade. Por outro lado, quando a biocapacidade supera a Pegada Ecológica, as Contas Nacionais da Pegada Ecológica indicam uma situação de reservas de biocapacidade (Fontgalland, 2022).

FIGURA 04: Relação do preço com a quantidade consumida.

FONTE: Wacknagel & Rees (1992); Fontgalland, (2022, p. 91)

A premissa subjacente é que diferentes atividades humanas, como consumo de energia, recursos e emissão de resíduos, demandam uma certa quantidade de produção, terra ou água para absorção. Em um contexto de globalização, a Pegada Ecológica fornece *insights* sobre os elementos necessários para entender e sustentar a existência de uma população humana específica, muitas vezes situada muito além da área física em que essa população reside (Fontgalland, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

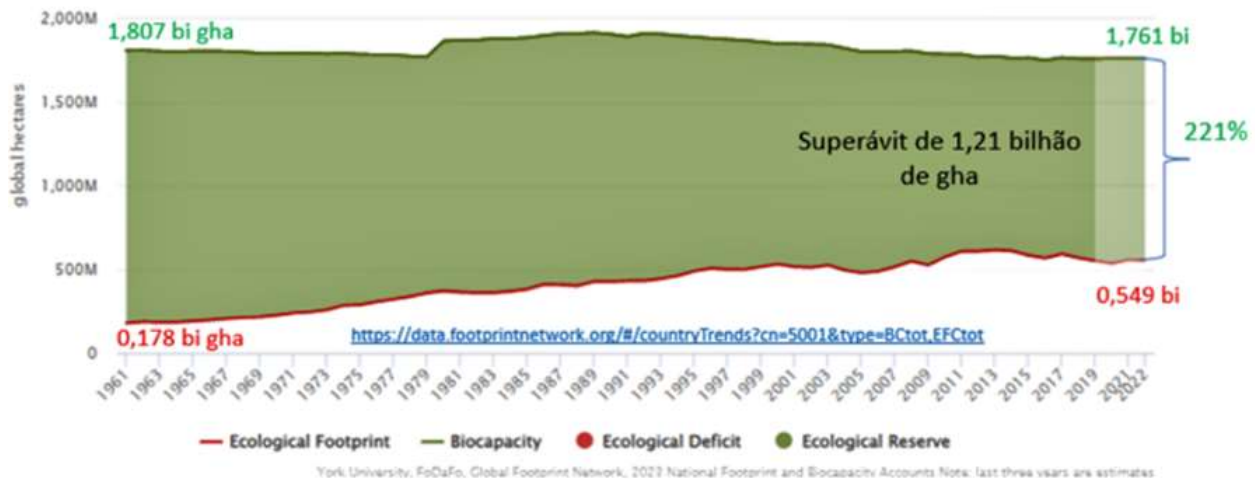
A Pegada Ecológica no Brasil

Mathis Wackernagel relata que “o Brasil é um dos países mais ricos em biocapacidade. Mas não aproveitou essa vantagem” (Neofeed, 2022). A afirmação de Mathis Wackernagel destaca uma contradição percebida em relação ao Brasil e sua posição em termos de biocapacidade. Ele observa que o Brasil é considerado um dos países mais ricos em biocapacidade, como demonstrado na Tabela 01, o que significa que tem uma capacidade significativa de produzir recursos naturais e serviços ecossistêmicos. No entanto, ele aponta que essa vantagem não foi totalmente explorada ou utilizada de maneira eficaz.

Apesar do potencial abundante de recursos naturais e da capacidade do país em fornecer serviços ecossistêmicos, há uma lacuna ou falha na transformação dessa vantagem em benefícios sustentáveis. Essa lacuna pode ser atribuída a vários fatores, como práticas insustentáveis, políticas inadequadas,

exploração desenfreada de recursos ou falta de consciência ambiental eficaz. Na Figura 05 destaca a Pegada Ecológica e a Biocapacidade no Brasil de 1961 até 2022:

FIGURA 05: Pegada Ecológica e a Biocapacidade no Brasil de 1961 até 2022.



FONTE: Instituto Global Footprint Network (2023).

Apesar de possuir a quinta maior pegada ecológica global, o Brasil se destaca notavelmente por ostentar a maior biocapacidade do planeta e, conseqüentemente, o maior superávit ambiental absoluto em nível mundial. Embora a pegada total do Brasil tenha dobrado desde 1961, a biocapacidade total do país registrou um aumento discreto, impulsionado por práticas agrícolas mais intensivas (Lamim-Guedes, 2018).

Em 1961, com uma população de aproximadamente 75 milhões de habitantes, o Brasil registrava uma pegada ecológica de 0,178 bilhão de gha e uma biocapacidade de 1,807 bilhão de gha, resultando em um superávit ambiental absoluto de 1,62 bilhão de gha. Ao longo das últimas seis décadas, apesar do crescimento populacional e econômico, a pegada ecológica aumentou, enquanto a biocapacidade total diminuiu. Mesmo assim, o Brasil mantém o maior superávit ambiental em comparação com todos os países do cenário internacional.

Conforme Moran *et al.*, (2008), em 1961, redução dessa capacidade ao longo do tempo no Brasil é atribuída principalmente ao crescimento populacional, uma vez que um aumento no número de pessoas resulta em uma menor área bioproductiva disponível. Os autores destacam que esse fenômeno representa um crescimento horizontal de escala, sendo mais proeminente em países menos desenvolvidos, onde há mais pessoas com um nível de consumo individual mais ou menos constante. Paralelamente, existe o crescimento vertical de escala, característico de países desenvolvidos, nos quais a população permanece mais ou menos constante, mas os níveis de consumo individual aumentam.

Atualmente, a maior ameaça à intensificação do crescimento da pegada ecológica é a combinação do crescimento horizontal e vertical de escala no sistema econômico. Esse fenômeno é particularmente observado em países em desenvolvimento/emergentes, como Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China e África do Sul (grupo BRIICS), nos quais persiste o crescimento populacional, associado ao aumento do consumo possibilitado pelo incremento nos níveis de renda da população (Gonzalez; Andrade, 2015). Essas preocupações, destacadas no relatório WWF Internacional (2012), apontam para o potencial de estimativas mais elevadas da pegada ecológica para esses países em um futuro próximo.

Wackernagel destaca a importância de não apenas possuir biocapacidade, mas também de gerenciá-la e utilizá-la de maneira responsável e sustentável. A simples presença de recursos naturais não garante automaticamente um uso sustentável, e a gestão eficaz desses recursos é essencial para garantir a continuidade dos benefícios ambientais a longo prazo (Neofeed, 2022).

Em 2022, com uma população de 203.062.512 de habitantes (IBGE, 2022), o Brasil apresentou uma pegada ecológica de 0,549 bilhão de gha e uma biocapacidade de 1,76 bilhão de gha. Como resultado, o superávit ambiental absoluto foi de 1,21 bilhão de gha, correspondendo a um superávit relativo de 221%.

Observam-se notáveis disparidades na pegada ecológica per capita entre diferentes segmentos da população. Por exemplo, muitos residentes do Rio de Janeiro ou São Paulo possuem pegadas superiores à média de um cidadão norte-americano, enquanto em outras regiões do país, como nas cidades do interior do nordeste e na Amazônia, a pegada ecológica é significativamente inferior.

A Pegada Ecológica média no Estado de São Paulo em 2012 era de 3,52, indicando que se todos habitantes do planeta adotassem um estilo de vida semelhante ao dos paulistas, seriam necessários quase dois planetas para sustentar tal consumo. Comparativamente, a Pegada Ecológica da cidade de São Paulo é 49% maior que a média nacional e 25% superior à do Estado de São Paulo. Por sua vez, o Estado de São Paulo apresenta uma Pegada Ecológica 20% maior que a média brasileira, que é de 2,93 hectares globais por pessoa. Observa-se que, embora haja diferenças na escala do consumo de recursos ecológicos entre a cidade, o Estado e o Brasil como um todo, os padrões de distribuição são semelhantes. Existe um padrão brasileiro distintivo, destacando a demanda por áreas de pastagem, agricultura e absorção de CO₂, em comparação com a média global, influenciada pela baixa intensidade de emissões na matriz elétrica e pelo uso eficiente de recursos (WWF São Paulo, 2012).

Estudo realizado em Campo Grande – MS, mostra que a Pegada Ecológica média dos habitantes daquela cidade equivale a 3,14 hectares globais, indicando que a população utiliza uma extensão de 2.471.821 hectares globais. Esse valor representa 35% da Pegada Ecológica do Estado e 0,46% da Pegada Ecológica do país. Comparativamente, a Pegada Ecológica de Campo Grande é 8% maior do que a

Pegada Ecológica Brasileira, 10% superior à do Estado do Mato Grosso do Sul e 14% maior que a Pegada média mundial (conforme mostram as Figuras 01 e 05). O Estado de Mato Grosso do Sul, por sua vez, apresenta uma Pegada Ecológica 3% menor que a média brasileira (WWF Campo Grande, 2012).

A Pegada Ecológica média por habitante no município de Natal é de 3,44 hectares globais, superando a biocapacidade mundial (1,8 gha/cap) em 1,63 hectares globais por pessoa. Isso implica que, se todos os habitantes do planeta adotassem um padrão de consumo semelhante ao dos natalenses, seriam necessários 1,9 planetas para sustentar esse estilo de vida. Além de ultrapassar a capacidade de regeneração do planeta, a Pegada Ecológica dos cidadãos de Natal é 15% superior à média nacional brasileira e 21% maior do que a média global.

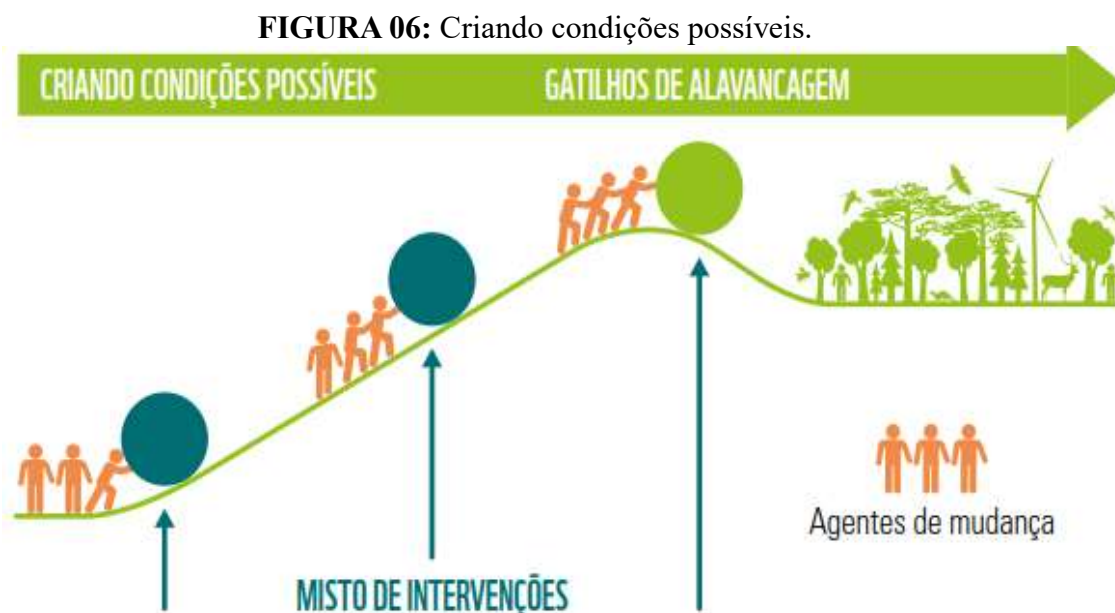
No Estado de Minas Gerais, Gonzalez e Andrade (2015) relatam que sua pegada ecológica em 2008 foi de aproximadamente 4,75 gha per capita, enquanto a biocapacidade global em 2007 foi de 1,8 gha per capita.

Os criadores do cálculo da pegada ecológica, destacam que os resultados da pegada ecológica de cada região devem ser confrontados com a biocapacidade global. De acordo com essa perspectiva, a pegada não deve ser interpretada como um indicador exclusivo da sustentabilidade local, mas sim como uma medida da contribuição da região para a insustentabilidade global. Isso pode limitar a utilidade do indicador para a gestão ambiental em nível local (Costanza, 2000; Veiga, 2010; Gonzalez; Andrade, 2015).

Ao comparar a pegada per capita local com a biocapacidade per capita global, é possível determinar o número mínimo de planetas Terra necessários para manter o padrão de consumo da região, caso esse padrão fosse universalizado em escala mundial (MORAN et al., 2008).

Para WWF (2022) em seu relatório Planeta Vivo, transformações significativas podem ser desencadeadas por intervenções estratégicas, cuidadosamente planejadas para impactar pontos cruciais em várias escalas de ação. Essas intervenções visam alterar a arquitetura de escolha que sustenta as decisões cotidianas. A criação dessas intervenções e as condições necessárias para sua efetivação devem equilibrar objetivos concorrentes, considerando diferentes localidades e grupos dentro do sistema socioecológico (WWF Planeta Vivo, 2022).

Além disso, é vital considerar o papel dos incentivos e das barreiras políticas na implementação dessas políticas conforme a Figura 06.



FONTE: WWF Planeta Vivo (2022).

As mudanças transformadoras exigem uma abordagem abrangente, combinando regulamentações, engajamento público e instrumentos baseados em comportamento e mercado. Simultaneamente, é crucial interromper subsídios prejudiciais e desincentivos que possam prejudicar tais mudanças. Essa abordagem multifacetada é fundamental para promover uma transformação real e duradoura no modo como tomamos decisões e operamos em nosso sistema socioecológico.

Uma pesquisa conduzida por cientistas da Universidade de *Oxford* estabeleceu uma ligação inédita entre o consumo de carne, saúde, meio ambiente e economia. Os pesquisadores apontam que a criação de animais ruminantes tem impactos significativos no planeta, uma vez que esses animais liberam consideráveis quantidades de gás metano na atmosfera, sendo o metano 21 vezes mais potente em termos de efeito estufa do que o dióxido de carbono (CO_2). Além disso, a prática da pecuária e agricultura leva ao desmatamento de áreas florestais, resultando na perda da capacidade das árvores de absorver CO_2 e na redução expressiva da biodiversidade local (Springmann *et al.*, 2016).

Os cientistas também identificaram que reduzir o consumo de carne está associado à diminuição de doenças crônicas não transmissíveis, relacionadas ao excesso de peso e dietas não saudáveis. No contexto econômico, preveem que hábitos mais saudáveis podem resultar em menores gastos com tratamento de doenças, implicando em economia anual significativa, estimada entre US\$700 bilhões a US\$1 trilhão (Springmann *et al.*, 2016).

A Pegada Ecológica enfrenta uma grande barreira, pois seus objetivos muitas vezes entram em conflito com os interesses econômicos. Esses interesses econômicos geralmente têm prioridade, pois oferecem soluções mais rápidas para problemas financeiros. No entanto, a Pegada Ecológica destaca de

maneira clara, por meio de dados, os riscos sociais e ambientais que a humanidade enfrenta (SOUZA *et al.*, 2017).

É importante ressaltar que a intenção não é diminuir a qualidade de vida das pessoas, mas sim aprender a usar os recursos naturais de maneira consciente. No entanto, essa realidade ainda parece distante devido ao consumismo desenfreado, que gera lucro significativo e prioriza o interesse da maioria, ignorando as consequências drásticas da exploração desenfreada dos recursos naturais e a finitude do planeta.

CONCLUSÕES

A situação atual em que os seres humanos estão colocando o planeta é alarmante devido aos seus padrões de vida e hábitos, especialmente em países mais ricos e desenvolvidos, colocando em perigo não apenas a espécie humana, mas também todas as outras espécies.

A análise do déficit da Pegada Ecológica no Brasil, à luz dos relatórios da *World Wide Fund for Nature* (WWF) e na literatura mostraram a complexidade dos desafios ambientais e as oportunidades para uma gestão mais sustentável dos recursos naturais. A análise revela disparidades marcantes entre a biocapacidade do país e sua Pegada Ecológica, apontando para uma lacuna significativa na transformação da abundância de recursos em benefícios sustentáveis.

O Brasil, possuindo uma das maiores biocapacidades do planeta, no entanto enfrenta desafios cruciais na transformação dessa vantagem em benefícios sustentáveis. O aumento da Pegada Ecológica ao longo das décadas, em contraste com o crescimento discreto da biocapacidade, sinaliza a necessidade de abordar práticas insustentáveis, políticas inadequadas e a exploração desenfreada de recursos.

O crescimento contínuo da Pegada Ecológica, mesmo diante do aumento populacional e econômico, apresenta desafios críticos. A combinação do crescimento horizontal e vertical de escala no sistema econômico do Brasil representa uma ameaça à sustentabilidade ambiental. É imperativo desenvolver estratégias que equilibrem o crescimento econômico com a preservação dos recursos naturais.

A gestão responsável da biocapacidade emerge como um requisito essencial para garantir benefícios ambientais a longo prazo. A presença de recursos naturais não garante automaticamente um uso sustentável; é a gestão eficaz desses recursos que determina a sustentabilidade. As recomendações de Mathis Wackernagel sobre a importância de gerenciar e utilizar a biocapacidade de maneira responsável destacam a necessidade de uma abordagem holística na gestão dos recursos naturais.

Os relatórios da WWF destacam a importância de intervenções estratégicas para desencadear transformações significativas. Essas intervenções devem impactar pontos cruciais em várias escalas de

ação, alterando a arquitetura de escolha que sustenta as decisões cotidianas. A abordagem multifacetada que combina regulamentações, engajamento público e instrumentos baseados em comportamento e mercado é essencial para uma transformação real e duradoura.

Vale destacar que a Pegada Ecológica enfrenta desafios devido a conflitos com interesses econômicos. Priorizar soluções rápidas para problemas financeiros muitas vezes prevalece sobre os objetivos da Pegada Ecológica. No entanto, a conscientização sobre os riscos sociais e ambientais é fundamental. O desafio reside em equilibrar interesses econômicos imediatos com a necessidade de preservar o meio ambiente para as gerações futuras.

Por fim, nesse sentido, o estudo destaca a necessidade de repensar os modelos de consumo e adotar práticas mais sustentáveis. O déficit da Pegada Ecológica no Brasil exige uma resposta proativa e colaborativa de formuladores de políticas, comunidades e setores econômicos. Somente através de intervenções estratégicas e uma mudança fundamental na abordagem em relação aos recursos naturais, pode-se aspirar a um futuro onde a biocapacidade do Brasil seja efetivamente transformada em benefícios sustentáveis, garantindo a harmonia entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, J. E. D. Oito países consomem toda a biocapacidade do Planeta. in *Clima e Energia, Destaque, Geral, Sustentabilidade, Ambiente Legal*, 2023. Disponível em: <https://www.ambientelegal.com.br/oito-paises-consoem-toda-a-biocapacidade-do-planeta/>. Acesso em: 17 out. 2023.
- [2] AZDI, O.; PEDROSO, F. A pegada ecológica e a manutenção do capital natural: limites para o crescimento econômico? *REVIBEC - Revista Iberoamericana de Economia Ecológica*, v. 32, n. 1, p. 102–119, 2020.
- [3] CAVALCANTI, C. Desenvolvimento Sustentável e Gestão dos Recursos Naturais. *Referências Conceptuais e de Política. Raízes, Campina Grande*, v. 22, n. 2, p. 96–103, 2003.
- [4] COSTANZA, R. Forum: The ecological footprint. *Special section of ecological economics. Ecological Economics*, v. 32, p. 341-394, 2000.
- [5] EWING, B.; REED, A.; GALLI, A.; KITZES, J.; WACKERNAGEL, M. *Calculation methodology for the National Footprints Account*. Edition Oakland, CA: Global Footprint Network, 2010.
- [6] FAVA, F.; VIALLI, A. De quantos planetas você precisa? *O Estado de São Paulo*, 2009. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/sustentabilidade/de-quantos-planetavoce-precisa/>. Acesso em: 18 out. 2023.

- [7] FONTGALLAND, I. L. A Pegada Ecológica conduzindo à educação ambiental: O Brasil e o resto do mundo no debate mundial. In: Sustentabilidade em quatro tons. FONTGALLAND, I. L. Campina Grande: Editora Amplla, 2022.
- [8] IBGE. Panorama do Censo 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 18 out. 2023.
- [9] GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Ecological Footprint Data. Global Footprint Network, 2023. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/>. Acesso em: 17 out. 2023.
- GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. State of the States Report. Global Footprint Network, 2015. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/2015/07/14/states/>. Acesso em: 17 out. 2023.
- [10] GONZALEZ, M. H. G.; ANDRADE, D. C. A sustentabilidade ecológica do consumo em Minas Gerais: Uma aplicação do método da pegada ecológica. Economia e Sociedade Brasileira, Nova Econ., v. 25, n. 2, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-6351/2214>. Acesso em: 20 out. 2023.
- [11] LAMIM-GUEDES, V. Pegada ecológica como recurso didático em atividades de educação ambiental on-line. Educação Unisinos, v. 19, n. 2, p. 283-289, 2015.
- [12] LAMIM-GUEDES, V. Pegada ecológica: consumo de recursos naturais e meio ambiente. Educação Unisinos, v. 1, n. 38, 2018.
- [13] LISBOA, C. K.; BARROS, M. V. F. A pegada ecológica como instrumento de avaliação ambiental para a cidade de Londrina. Confins, v. 1, n. 8, 2010.
- [14] MARTINS, M. S.; FONTGALLAND, I. L. 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, 2021.
- [15] MORAN, D. D.; WACKERNAGEL, M.; KITZES, J. A.; GOLDFINGER, S. H.; BOUTAUD, A. Measuring sustainable development - nation by nation., Ecological Economics, v. 64, p. 470-4, 2008.
- [16] NATHANIEL, S. P. Ecological footprint and human well-being nexus: accounting for broad-based financial development, globalization, and natural resources in the Next-11 countries. Futur Bus J, v. 7, n. 24, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s43093-021-00071-y>, Acesso em: 20 out. 2023.
- [17] NEOFEED. Entrevista exclusiva Mathis Wackernagel fala sobre os desafios no mundo e no Brasil. NEOFEED, 2022. Disponível em: <https://neofeed.com.br/blog/home/o-criador-do-conceito-pegada-ecologica-quer-rever-toda-cadeia-da-fazenda-a-mesa/#:~:text=uma%20grande%20quest%C3%A3o.-,O%20Brasil%20%C3%A9%20um%20dos%20pa%C3%ADses%20mais%20ricos%20em%20biocapacidade,que%20os%20ladr%C3%B5es%20levem%20tudo%E2%80%9D>. Acesso em: 21 out. 2023.
- [18] ONU BRASIL. ONU promove campanha '7 Bilhões de Ações' para superar desafios do crescimento populacional. Organização das Nações Unidas no Brasil. Boletim semanal da ONU Brasil – N. 21, setembro 2011.
- [19] REES, W. E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. Environment and Urbanization., v. 4, n. 2, 1992.

- [20] SOUSA, M. V. L. C.; ALMEIDA, A. P. S.; LEAL, L. B.; NERES, L. L. F. G. As dificuldades para alcançar a sustentabilidade sob o enfoque do conceito de Pegada Ecológica. *Engineering Sciences*, v. 5, n. 1, 2017.
- [21] SPRINGMANN, M. Analysis and assessment of the co-benefits of dietary changes and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS*, Saint Paul, v. 113, n. 15, 2016.
- [22] VAN BELLEN H. M. Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, CPGE/UFSC, 2002.
- [23] VEIGA, J. E. da. Indicadores de sustentabilidade. *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, p. 39-52, 2010.
- [24] WACKERNAGEL, M.; REES, W. Our ecological footprint reducing human impact on the earth. Canada: New Society Publishers, 1996.
- [25] WWF BRASIL CAMPO GRANDE. A Pegada Ecológica de Campo Grande e a família de pegadas. Coordenação Geral: Michael Becker e Terezinha da Silva Martins; Fabrício de Campos; Jennifer Mitchell. WWF-Brasil, Brasília, 2012.
- [26] WWF BRASIL NATAL. A Pegada Ecológica da cidade de Natal. Coordenação Geral de Jean Timmers, Mariana Valente, Terezinha da Silva Martins, Cristiano Cegana, Fabrício de Campos, Jason Ortego. – Brasília: WWF-Brasil, 2015.
- [27] WWF BRASIL SÃO PAULO. A Pegada Ecológica de São Paulo - Estado e Capital e a família de pegadas. Coordenação Geral: Michael Becker e Terezinha da Silva Martins; Fabrício de Campos; Juan Carlos Morales. WWF-Brasil, Brasília, 2012.
- [28] WWF BRASIL. Pegada Ecológica Global. World Wide Fund for Nature Brasil, 2023. Disponível em:
https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/pegada_ecologica_global/#:~:text=Atualmente%2C%20a%20m%C3%A9dia%20mundial%20da,0%2C9%20gha%2Fcap. Acesso em: 17 out. 2023.
- [29] WWF CHINA. WWF-China: 30 years and growing. WWF, 2023. Disponível em:
<https://en.wwfchina.org/>. Acesso em: 20 out. 2023.
- [30] WWF INTERNACIONAL. Nature Living planet report 2012: Biodiversity, biocapacity and better choices. Gland, Switzerland: World Wide Fund for – WWF, 2012. Disponível em:
https://files.worldwildlife.org/wwfmsprod/files/Publication/file/5bd0cghy29_Living_Planet_Report_2012_Biodiversity_biocapacity_and_better_choices.pdf?_ga=2.12979831.1328380612.1697900599-1102895388.1697900599. Acesso em: 21 out. 2023.
- [31] WWF PLANETA VIVO. Relatório Planeta Vivo 2022 – Construindo uma sociedade positiva para a natureza. Almond, R.E.A., Grooten, M., Juffe Bignoli, D. & Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Suíça, 2022.

[32] WWF. Who we are. World Wide Fund for Nature, 2023. Disponível em: https://wwf.panda.org/discover/about_wwf/#:~:text=ABOUT%20WWF,Who%20we%20are,-All%20around%20the. Acesso em: 17 out. 2023.

[33] ZWIETEN, N. A.; LAMERS, M.; VAN DER DUIM, R. Funding for nature conservation: a study of public finance networks at World Wide Fund for nature (WWF). *Biodivers Conserv*, v. 28, p. 3749–3766, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01848-y>. Acesso em: 17 out. 2023.