



UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO SOCIOMETABOLISMO (1991-2020)

Anderson Henrique dos Santos Araújo

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

anderson.hsa@gmail.com

Daniel Caixeta Andrade

Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

daniel.andrade@ufu.br

Resumo

O trabalho tem a finalidade de compreender o potencial bibliográfico em torno da pesquisa sociometabólica por meio da construção de um portfólio bibliométrico. O levantamento contou com cinco palavras chaves, resultando em 890 produções científicas publicadas entre 1991-2020, disponíveis no banco de dados Web Of Science (WOS). Usando os *softwares* VOSviewer e *Biblioshiny*, foram mapeados os dez principais autores, artigos e países; além de cocitações e coocorrência de palavras. Os resultados indicam uma relevante rede de pesquisa em torno do sociometabolismo na Europa, a expansão da China como tema-chave e uma carência de artigos em inglês vindos da América Latina, o que representa um potencial fronteira de expansão. Os periódicos *Journal of Cleaner Production* (maior índice G) and *Ecological Economics* (maior índice H) são os veículos mais relevantes para a publicação da pesquisa sociometabólica. Muito embora os temas sejam conceitualmente interligados, advoga-se por uma maior aproximação de colaboração de pesquisa entre economistas ecológicos e pesquisadores do sociometabolismo.

Palavras-chave: análise bibliométrica; *Biblioshiny*; *VOSviewer*; sociometabolismo; contabilidade de fluxo material.

Abstract

This paper is aimed at understanding the bibliographic potential around sociometabolic research, through constructing a bibliometric portfolio. The survey had five keywords, resulting in 890 scientific productions published between 1991-2020, available in the Web Of Science (WOS) database. Using VOSviewer and Biblioshiny softwares, the top ten authors, articles, and countries were mapped besides the co-citations and co-occurrence of words. The results indicate a relevant research network around sociometabolism based in Europe, the expansion of studies related to China, as well as the shortage of paper in English coming from Latin America, which represents a potential expansion frontier. Although these themes are conceptually interconnected, it is advocated for a closer approximation of research collaboration between ecological economists and sociometabolism research.

Keywords: bibliometric analysis; *Biblioshiny*; *VOSviewer*; sociometabolism; material flow accounting.

JEL Codes: Q50; Q56; Q57





1. Introdução

Buscando eficiência na construção de referenciais teóricos, tem-se defrontado com bases de dados cada vez mais amplas para verificar o estado da arte em múltiplas áreas de conhecimento. Consequentemente, vem-se aperfeiçoando os ferramentais quantitativos aplicados nos campos da biblioteconomia e ciência da informação, que auxiliam na construção de referenciais bibliográficos acerca da produção científica e permitem clarificar a evolução de novas áreas de pesquisa.

Uma área de estudo que vem ganhando mais notoriedade é o Metabolismo Socioeconômico (MSE), ou sociometabolismo, um dos temas convergentes com a economia ecológica. A premissa básica das pesquisas sociometabólicas é que informações quantitativas e qualitativas sobre as sociedades, sistemas econômicos e suas interações com os ecossistemas (ou genericamente, o mundo natural) são necessárias para a operacionalização e estabelecimento de estratégias para a sustentabilidade (Araújo et al. 2019; Fischer-Kowalski e Haberl, 1999).

Afim de compreender o potencial bibliográfico em torno do MSE no campo das ciências sociais aplicadas e ambientais, buscou-se realizar um estudo quantitativo, utilizando elementos que nascem na bibliometria. Vale destacar que o uso da bibliometria é relativamente frequente em outros temas que tangenciam questões ambientais e são teoricamente próximos à economia ecológica. São exemplos o metabolismo urbano (Cui 2018), sustentabilidade (Sharifi 2021; Sneegas et al. 2021; Zhang et al. 2019), pagamento por serviços ambientais (Wang et al. 2021; Pauna et al. 2019) e economia circular (Luis; Celma 2020).

Pretende-se utilizar os principais indicadores analíticos da bibliometria, a fim de mapear as bases, obtendo um quadro elucidativo sobre a área de pesquisa sociometabólica, e sua

contribuição para a ciência da sustentabilidade.

A análise informacional do MSE pretendida neste artigo se restringirá as publicações acadêmicas, valendo-se das técnicas de bibliometria, dado o caráter estatístico empregado, e cienciometria, dada a mensuração e interpretação dos dados catalogados¹. Em última instância, pretende-se compreender a comunicação científica acerca do MSE, quais os centros (e redes) de pesquisa mais relevantes, periódicos que concentram o maior volume de publicações, termos comumente utilizados, dentre outros critérios.

Para tanto, o presente trabalho está dividido em três seções: a primeira busca compreender os principais meandros da pesquisa bibliométrica, seguindo-se com a descrição do método analítico que será utilizado; a segunda tece os principais os resultados do levantamento e; a terceira, apresenta as principais conclusões do artigo.

2. Método Analítico

Dentre os principais elementos de análise informacional, destacam-se a bibliometria, cienciometria, informetria e a webemetría. Tais ferramentas buscam quantificar a propagação e fluxos de conhecimento a partir de diferentes abordagens, chegando a um mesmo denominador comum: a necessidade de busca de conhecimento a partir da literatura científica (Björneborn e Ingwersen, 2001).

¹ Vanti (2002) destaca que os objetos de estudo bibliométricos são mais restritos (livros, autores, documentos e artigos), se ampliando na cienciometria (que inclui Patentes, Teses e Dissertações). Além disso, ocorrência de palavras, termos, expressões chaves e comunicação científica também são oriundos da cienciometria. Portanto, tais áreas informacionais tendem a ser mais relevantes na presente proposta de artigo.



A bibliometria, conforme Broaudus (1987), é definida como uma análise estatística da produção científica de forma abrangente, interdisciplinar e multidisciplinar. Para tanto, utiliza indicadores e/ou modelos matemáticos buscando compreender as propriedades e o comportamento da informação.

Dentre as principais aplicações, destacam-se: a Lei de Lotka (1926), proporcionalidade entre o número de autores que realizam contribuições (muitas ou poucas) e os autores que fazem um única contribuição em um determinado campo científico, utilizando a lei do quadrado inverso; a Lei de Bradford (1934), ou Lei da dispersão, que analisa a recorrência nos campos científicos a partir dos periódicos e; a Lei de Zipf (1949), que aplica a Lei da potência à frequência de determinada palavra e seu uso, observando uma regularidade entre os termos.

A cienciometria (ou cientometria) é uma técnica aperfeiçoada na década de 1960 por Nalimov e Mul'chenko (1971), partindo da avaliação das produções científica ou tecnológica no interior das áreas de conhecimento, ou seja, de forma mais restrita, quando comparada à bibliometria. Sua eficácia está na identificação de temas de interesse e concentração de temáticas a partir de bases de dados distintas: resumos, palavras-chaves, relatórios técnicos e científicos, livros, etc. No tocante aos indicadores, destacam-se o número de trabalhos e citações, coautorias, co-ocorrências, fator de impacto e *bibliographic coupling*.

A informetria, por sua vez, é um campo subsequente da ciência da informação, quantificando a informação em qualquer

formato, não se restringindo à bibliografia científica. Portanto, é uma versão ampliada da cienciometria e bibliometria, de onde incorpora as técnicas analíticas. O termo é originalmente atribuído a Nacke (1979).

Com a expansão das redes de computadores nasceu a webometria, que busca levantar informações oriundas do universo web: *sites*, *links*, *hiperlinks* e páginas de busca. Basicamente, é a aplicação de métodos informétricos à *Word Wide Web*, atribuindo-lhe um caráter científico. (Almind; Ingwersen, 1997)

A própria relevância metodológica da cienciometria, e sua interação com a construção bibliométrica, possibilita a análise do todo, não apenas sobre um trabalho específico, além de permitir quantificar o progresso científico sob múltiplos prismas: métodos, abordagens, áreas, etc. (Parra et al. 2019)

Os mecanismos analíticos da cienciometria e bibliometria partem de indicadores selecionados, como demonstrados na definição conceitual. Utilizando a terminologia proposta por Donthu et al. (2021), será utilizado o termo “análise bibliométrica”, qualificada pelos autores como uma fusão entre elementos da bibliometria e cienciometria.

Como ressaltam Leite et al. (2019), os indicadores para análise bibliométrica são classificados como de “atividade científica” e “associações temáticas”, uma vez que mapeiam a contribuição científica dos trabalhos, produtividade dos autores, colaboração entre pares, referências mais citadas, etc.

**Quadro 1. Síntese dos indicadores para análise bibliométrica**

Indicador	Descrição	Unidade de Análise
Citação	Influência de autores, documentos e periódicos através das taxas de citação	Autores Publicações Países Periódicos
Cocitação	Conecta documentos, autores ou periódicos com base em aparições em listas de referência	Autores Publicações Países Periódicos
<i>Bibliographic Coupling</i>	Conecta documentos, autores ou periódicos sobre a base do número de referências compartilhadas	Autores Publicações Países Periódicos
Coautor	Interações entre autores	Autores Instituições Países
Co-ocorrências	Conecta palavras-chave quando eles aparecem no mesmo título, resumo ou lista de palavras-chave	Palavras-Chaves Autores

Fonte: Adaptado de Zupic e Carter (2015)

Os indicadores citados no Quadro 1 possibilitam o uso de diversos ferramentais para mapeamento quantitativo, como *softwares* específicos. A partir da década de 1990, a universalização no uso de computadores pessoais viabilizou o desenvolvimento de várias interfaces de análise informacional.

Moreira et al. (2020) destacam a ampliação no número de *softwares* disponíveis, motivando-os na elaboração de um estudo comparativo sobre qual ferramenta seria mais completa dentre dezesseis pré-selecionadas, a partir dos seguintes critérios: atualização do *software*, disponibilização de licenças

gratuitas, qualidade da informação e interface gráfica. As conclusões apontaram que 4 ferramentais com maiores utilizações – quais sejam, *Biblioshiny*, *VOSviewer*, *Publish or Perish* e *CiteSpace* –, sendo que os dois primeiros realizam o maior quantitativo de tarefas bibliométricas e cienciométricas existentes.

Assim, a análise bibliométrica do MSE deste artigo apoiar-se-á nos *softwares* gratuitos *Biblioshiny* e *VOSviewer*, levando em consideração que ambos possuem limitações, mas que são sanadas quando utilizados em conjunto. O *Biblioshiny* permite, dentre outras funções, a construção de nuvens de



frequência, aplicação das Leis de Lotka (e Bradford) e o *download* de dados para manipulação em planilhas eletrônicas. Já o VOSviewer é mais eficiente na construção de mapas de densidade com a base de dados selecionada.

O VOSviewer é um programa para *desktop* desenvolvido por Van Eck e Waltman (2007; 2010), que utiliza o método VOS (*Visualization of Similarities*), construção de padrões de aproximação (ligações ou mapas) utilizando um índice de força de associação dos termos (palavras-chave, nome de autores, instituições, etc.) em uma matriz de similaridades (S_{ij}), onde o padrão de associação dois itens i e j é obtido por:

$$S_{ij} = \frac{c_{ij}}{w_i w_j}, \quad (1)$$

Em que $c_{ij} = c_{ji} \geq 0$, $c_i = \sum_{i \neq j} c_{ij}$. Assim, c_{ij} denota o número de pares de coocorrências (para determinado elemento textual) e, w_i e w_j inferem o número total de repetições para os itens i e j nos documentos analisados.

Van Eck e Waltman (2007; 2010) também partem da constatação que (1) gera uma razão proporcional entre o número observado de co-ocorrências dos itens i e j , supondo que as respectivas co-ocorrências são estatisticamente independentes.

Já os mapas bidimensionais são construídos a partir de uma matriz de similaridade, organizando o termo selecionado de acordo com sua semelhança, utilizando o argumento que existem maiores similaridades em menores distâncias (e menores similaridades em distâncias maiores), permitindo visualizar objetos nesse padrão. Os autores supracitados argumentam que a técnica VOS minimiza as somas ponderadas das distâncias euclidianas de i e j e, para evitar mapas espúrios, impõe-se uma restrição entre os dois itens igual a 1. Na forma de função:

$$V(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i < j} s_{ij} \|x_i - x_{ij}\|^2, \quad (2)$$

Em que o vetor $x_i = (x_{i1}, x_{i2})$ denota a localização do item i no mapa bidimensional e $\|\bullet\|$ expressa a norma euclidiana. Para evitar sobreposição, a restrição que minimiza a função objetivo é executada:

$$\frac{2}{n(n-1)} \sum_{i < j} \|x_i - x_{ij}\| = 1. \quad (3)$$

Assim, o resultado gerado pelas equações (1), (2) e (3) é convertido em mapas visuais de similaridade, que são diferenciados por meio de digramas de *clustering*, indicando os agrupamentos de cada *link* e a força entre os termos.

A aplicabilidade do método VOS nos indicadores do Quadro 1 pode ser visualizada de duas formas: (i) por meio de fluxos entre as unidade de análise (autores, publicações, palavras chaves, instituições ou países), em que as linhas (ou nós) ligam tanto os termos internos dos *clusters*, quanto externos (agregados a outros *clusters*) e; (ii) mapas de densidade, com visualização da unidade de análise em formato de ilhas de calor: quanto mais forte a cor (turquesa → verde → amarelo → vermelho), maior é a ocorrência (e relevância) do indicador selecionado. (Van Eck; Waltman 2007; 2010)

Quanto ao *Biblioshiny*, trata-se de uma versão *WEB* desenvolvida na linguagem de programação "R", de código aberto e manutenção voluntária, cuja *interface* possibilita a utilização dos indicadores dispostos no Quadro 1. Além do mapeamento científico, o *software* permite a análise temática, seguindo o aporte teórico de Callon et al. (1991). Tal método expressa graficamente mapas temáticos em um plano cartesiano, classificando-os em centralidade (eixo x) e intensidade (eixo y).

Callon et al. (1991) destacam que a centralidade implica na força de ligação dos elementos constantes em um determinando critério (como a co-ocorrência) a outro,



dividindo-os em *clusters*, e quanto mais numeroso e forte forem esses elos, maior a relevância para a comunidade científica. Já a densidade implica na coerência a partir da linha evolutiva de um critério, expressando a força dos *links* que unem o critério de um determinado *cluster*, aferindo a coesão desta temática ao campo de pesquisa avaliado. Já Giannakos et al. (2019) interpretam que uma maior centralidade expressa *links* externos mais fortes, quando comparados a outras redes presentes no mapeamento bibliométrico e; uma maior densidade indica

relações internas mais fortes entre os elementos do indicador selecionado.

No uso do indicador de co-ocorrência, por exemplo, são expressos mapas com agrupamento de palavras-chaves, e suas respectivas interconexões. Cada grupamento é dividido em núcleos(*clusters*), e inclusos em um plano cartesiano (eixos “Densidade” e “Centralidade”). Cobo et al. (2011) indica as quatro áreas do plano para inserção dos núcleos, de acordo com os valores médios dos termos que nomeiam os eixos do plano, conforme a Figura 1.

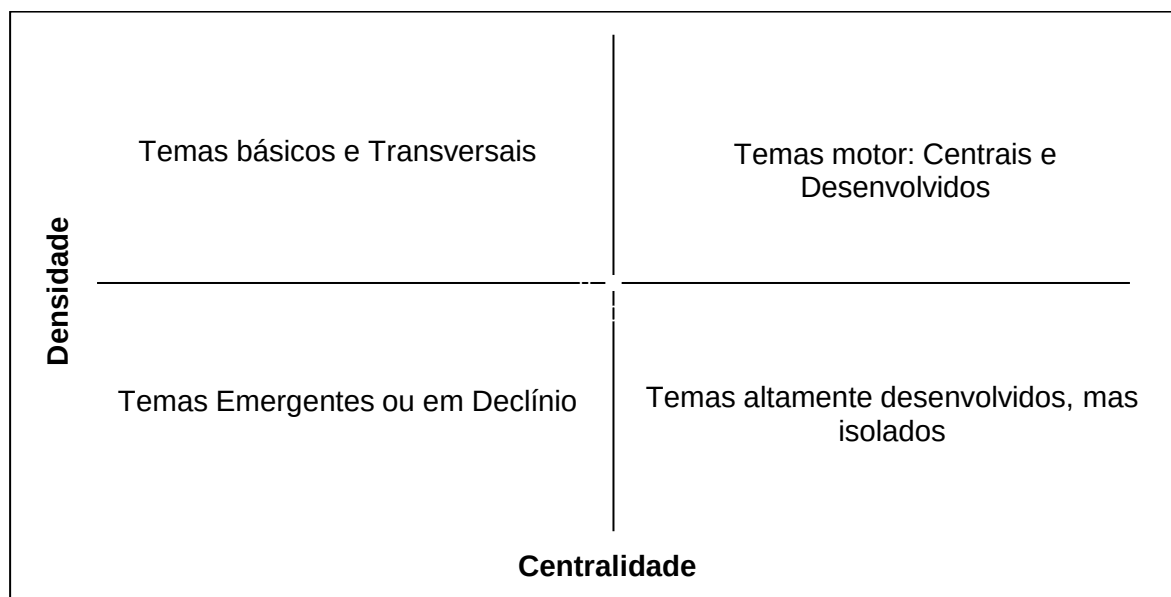


Figura 1. Diagrama Estratégico do Mapa Temático. Fonte: Adaptado de Cobo et al. (2011)

Os resultados incluídos no quadrante superior direito são bem desenvolvidos e importantes para a estruturação de um campo de pesquisa, por isso chamado de “motores de especialidade”, uma vez que conduzem todos os demais temas de pesquisa. No quadrante superior esquerdo, temas com níveis de desenvolvimento baixos (centralidade), que apresentam importância para pesquisa, mas são transversais para o campo. No quadrante inferior direito, os temas com importância secundária, uma

vez que são muitos especializados, embora bastantes desenvolvidos. Por fim, os temas emergentes ou que estão desaparecendo, uma vez que são pouco desenvolvidos e marginais, localizados no quadrante inferior esquerdo. (Cobo et al. 2011; Callon et al. 1991)

Uma vez definida a base metodológica, foi necessário definir uma metodologia analítica para seleção e interpretação dos dados. O acompanhamento e revisão de estudos informacionais permitem a



construção de um esquema metodológico,
conforme Figura 2:

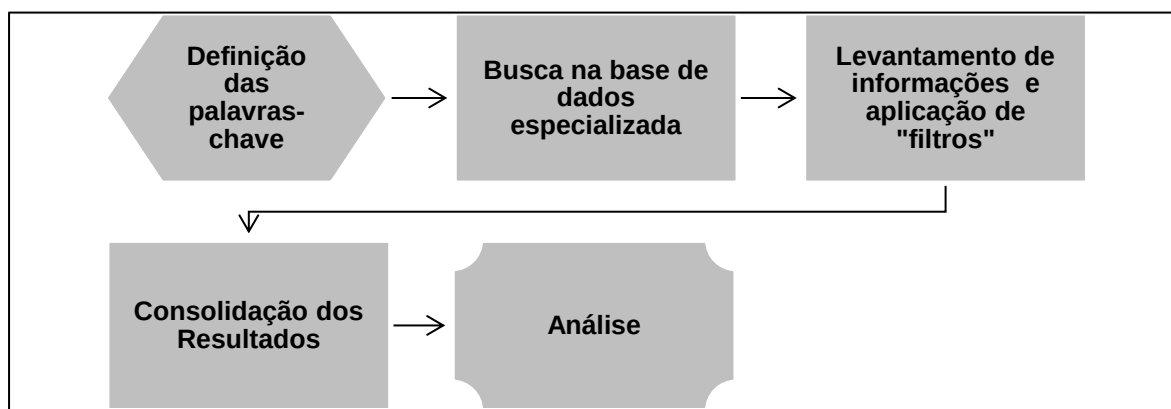


Figura 2. Metodologia Analítica de seleção de artigos científicos para as análises bibliométricas. Fonte: Elaboração própria

Para a definição das palavras-chaves, um levantamento preliminar sobre o metabolismo socioeconômico indicou terminologias distintas para a mesma temática: metabolismo social, metabolismo industrial, sociometabolismo e metabolismo socioeconômico, que variam conforme a abordagem e o indexador utilizado. A análise compreendeu o período de 1991-2020, marco da consolidação dos indicadores sociometabólicos, simbolizada na obra *Metabolismo do Antropoceno* (Brunner, 1991).

No que se refere à busca por uma base de dados especializada, optou-se pela meta-base *Web Of Science Core Collection* (WOS), uma das principais referências em análises bibliométricas, reunindo os principais periódicos nacionais e internacionais. O critério para essa seleção esteve baseado em dois argumentos: a primeira parte dos resultados de Alvarez-Melgarejo e Torres-Barreto (2018), que classificam essa plataforma com maior poder de impacto (autores relevantes, publicações mais citadas e filtros específicos), quando comparada com a base *Scopus*, resultando em evidências mais robustas. O segundo elemento reside no experimento prático, uma vez que todos os termos listados também foram aplicados nas

bases *Scopus* e *Dimensions*, mas a WOS se mostrou mais adequada aos objetivos do trabalho.

Com objetivo de atingir um volume de ocorrências mais eficiente, serão utilizados termos na língua inglesa, resultando na seguinte busca: *Social Metabolism*, “OU” *Socioeconomic Metabolism*, “OU” *Sociometabolism*, “OU” *Industrial Metabolism* “E” *Material Flow Analysis*².

Vale salientar que o termo “*Metabolismo*” remete a várias áreas de pesquisa, sobretudo aquelas ligadas às ciências da saúde e engenharias. Portanto, foram realizados os devidos filtros na base WOS, restringindo a análise para áreas das ciências ambientais, sociais aplicadas e da sustentabilidade, totalizando 890 referências científicas, sendo 759 artigos, 70 artigos de conferência, um

² Infante-Amate et al. (2017) qualifica diversos indicadores sociometabólicos, destacando que a Contabilidade de Fluxos Materiais demonstra mais efetividade no uso, sendo referência recorrente para pesquisadores e organismos oficiais. Assim, aplicou-se o termo como fator restritivo (vide a conjunção “E”).



capítulo de livro e 60 outras (material editorial, resumo de reuniões, etc.)³.

3. Resultados consolidados da análise bibliométrica

O número de publicações acerca do MSE apresenta um rápido progresso nos últimos dez anos, como verificado no gráfico 1. Nota-se uma expansão considerável nos trabalhos acerca do MSE a partir de 2012, cuja tendência foi crescente (atingindo 128 documentos em 2018), indicando um maior engajamento da comunidade científica com a temática.

Outros resultados acerca da análise bibliométrica estarão segmentados nas subseções seguintes.

3.1 Citações e Coautorias

As citações são caracterizadas como referências bibliográficas que são resgatadas pelo autor, a fim de enfatizar determinados pressupostos. Em estudos bibliométricos, sua relevância reside na caracterização de ideias, instituições e áreas de pesquisa. O quantitativo de autores mais citados (min= 5 publicações por autor) é ilustrado na Figura 3, onde 42 autores (em um universo de 3.101) são divididos em quatro *clusters*. Essa classificação é diferenciada por cores, destacando o azul, cujos autores possuem um maior quantitativo de citações. Ainda, os elos de ligações indicam menções realizadas entre os autores, cujo maior efetivo é destacado na escala tipográfica ampliada (também azul).

³ A mesma base de dados é codificada na WOS e reconhecida nos *softwares* utilizados, gerando os resultados analíticos disponíveis em cada sistema. Vale ressaltar que os resultados dos metadados foram conferidos nos dois sistemas, constatando padrões de similaridade.

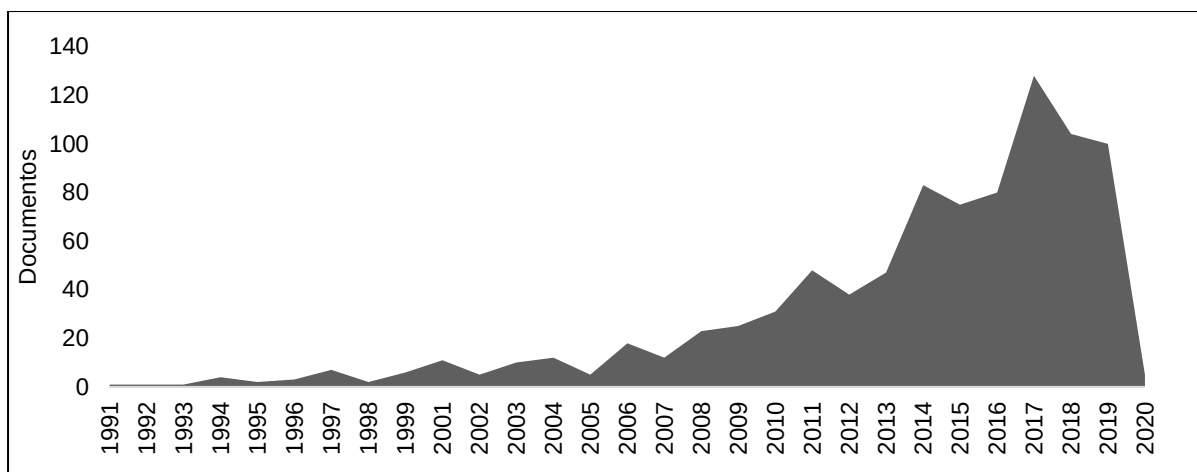


Gráfico 1. Número de Documentos publicados (1991-2020). Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS.

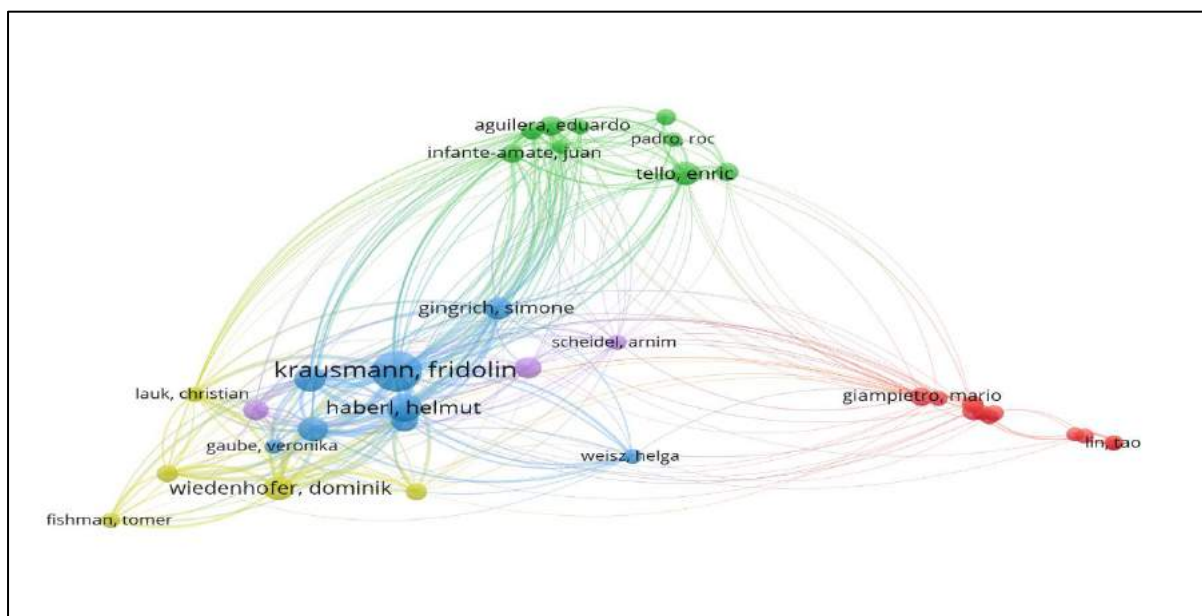


Figura 3. Autores mais citados na amostra selecionada para a análise bibliométrica (1991-2020). Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software VOSviewer.

Já a Tabela 1 restringe a análise para o *ranking* dos dez autores mais prolíficos e com os índices “H”, aferindo a produção acadêmica e o fator de impacto. Segundo a metodologia proposta por Hirsch (2007), o número referente ao índice “H” expressa o quantitativo de publicações para um

determinado autor e o mínimo de citações que cada trabalho possui. Assim, o maior índice H encontrado do pesquisador Fridolin Krausmann (*Institute of Social Ecology*) indica que o mesmo possui 35 publicações acerca da temática mapeada com no mínimo 35 citações cada.

**Tabela 1. Fator de Impacto (Índice H), Citações e Número de Publicações por Autor (1991-2020)**

Autor	Índice “H”	Citações	Publicações Mapeadas
Fridolin Krausmann	35	4.105	48
Helmut Haberl	28	2.758	32
Karl- Heinz Erb	23	2.329	24
Marina Fischer- Kowalski	11	1.456	13
Juan Martinez-Alier	10	495	11
Heinz Schandl	10	563	14
Dominik Wiedenhofer	10	866	12
Nina Eisenmenger	9	900	11
Simone Gingrich	9	1.001	10
Yating Li	9	313	12

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do *Software Biblioshiny*.

Um uso comum para o fator de impacto também é na seleção de periódicos para publicação. Tais critérios de classificação são comumente utilizados e assumem um caráter de significância para autores, editores, pareceristas e instituições de pesquisa (Bendels et al. 2018).

A Tabela 2 ranqueia os periódicos mais utilizados e seus respectivos fatores de impacto, citações, efetivo de publicações. Destacam-se as revistas direcionadas ao meio ambiente, ecologia e sustentabilidade industrial.

**Tabela 2. Fatores de Impacto (Índice “H” e “G”, Citações e Número de Publicações por Periódico (1991-2020))**

Periódico	Índice “H” *	Índice “G” **	Citações	Publicações Mapeadas
<i>Ecological Economics (EE)</i>	36	60	3.656	67
<i>Journal of Cleaner Production (JCP)</i>	26	42	2.017	68
<i>Journal of Industrial Ecology (JIC)</i>	26	46	2.187	54
<i>Resources, Conservation and Recycling (RCR)</i>	20	29	895	34
<i>Land and Use Policy (LUP)</i>	18	24	1.614	24
<i>Environmental Science and Technology (EST)</i>	14	17	1.037	17
<i>Sustainability (S)</i>	13	20	520	51
<i>Ecological Modelling (EM)</i>	11	15	482	15
<i>Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences (PRSBS)</i>	11	15	467	15
<i>Global Environmental Change (GEC)</i>	10	11	778	11

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do *Software Biblioshiny*. *) Índice “H”: Indica que o quantitativo de artigos do periódico foi citado em um número igual, ou superior de vezes. **) Índice “G”: Número de artigos (g) que receberam pelo menos g² citações conjuntamente, ou na média.

Dentre os trabalhos mais citados (min=185 citações), o Apêndice 1 descreve as dez referências mais utilizadas, quantificando-as. Destaca-se que a pesquisa sociometabólica começa a se consolidar após uma década, uma vez que os documentos têm publicações após 2002. Uma segunda constatação é a aderência da temática à economia ecológica, justificada pela utilização desse periódico na maioria das publicações, corroborando com a Tabela 3.

Outro mecanismo para mapeamento da produção científica é por meio das análises de coautoria, uma vez que identificam colaborações e parcerias entre segmentos de uma determinada área científica, aferindo padrões e similaridades. Em relação à pesquisa sociometabólica, a Tabela 3 elenca os 11 autores com maior quantitativo de cocitações (min=11 documentos publicados), resultando em 3 *clusters*.

**Tabela 3. Coautoria: Rede de Pesquisadores (1991-2020)**

Documentos	Citações	Autor	Clusters
12	556	Juan Martinez-Alier	1
21	1.904	Helmut Haberl	
16	1.505	Karl- Heinz Erb	
13	1.317	Simone Gingrich	
42	3.217	Fridolin Krausmann	2
13	1.423	Marina Fischer Kowalski	
12	564	Heinz Schandl	
15	1.491	Nina Eisenmenger	
11	340	Anke Schaffartzik	3
15	965	Dominik Wiedenhofer	
14	425	Enric Tello	(Sem Cluster)

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software VOSviewer.

O primeiro *cluster* representa a rede de autores que abordam MSE, enfatizando a transição sociometabólica e ecologia política: iniciando com Juan Martinez-Alier, um dos precursores da economia ecológica, egresso da *Universitat de Barcelona* e; Helmut Haberl, Karl- Heinz Erb e Simone Gingrich, vinculados ao *Institute of Social Ecology* (SEC), abrigado no *Department of Economics and Social Sciences* (WiSo), em Viena (Áustria).

O segundo *cluster* é formado por pesquisadores do mesmo instituto, cuja produção está ligada a construção teórica do sociometabolismo e transição socioecológica. Vale destacar que a obra de Marina Fischer-Kowalski é uma das principais referências teóricas acerca do MSE, e já presidiu a

International Society for Industrial Ecology e *Society for Ecological Economics*.

No terceiro *cluster*, são enfatizadas aplicações do sociometabolismo à economia circular e uso eficiente dos recursos materiais⁴.

Um ponto em comum a todos os autores é a afiliação europeia. Tal indicativo aponta que o centro de pesquisa sociometabólica é sediado no continente europeu. Outra constatação geral é que outros cofundadores da economia ecológica não geraram resultados

⁴ Uma exceção é Enric Tello, com expressivo número de citações, mas que não mostrou padrões de acoplamento junto a outros autores. O autor supracitado aborda o metabolismo social agrário, e é vinculado à *Universitat de Barcelona*, Espanha.



significativos na pesquisa. Tal fato não chega a ser surpreendente, pois a economia ecológica é diversa (Norgaard, 1989), gerando um indicativo que tais acadêmicos se dedicam a outros temas. Contudo, como afirma Araújo et al. (2019), o sociometabolismo é convergente com a economia ecológica, uma vez que se propõe a uma leitura biofísica dos processos econômicos e sociais. Trata-se de uma importante área que deve ser melhor explorada por economistas ecológicos.

Já o indicador de coautoria está relacionado a nacionalidade institucional dos autores, evidenciando os níveis de cooperação entre Nações. Tal mapeamento científico para o sociometabolismo é descrito no Tabela 4.

Os países com os maiores níveis de publicações não necessariamente são aqueles com níveis de cooperação mais altos. A China, apesar de sediar o maior número de documentos científicos (n=159), possui uma razão de múltipla nacionalidade (27,7%) menor que os demais Países, com exceção da Espanha (n=100 menções) e razão de 25%. Os melhores níveis multinacionais encontram-se: na Itália (n=23), com razão de 56,50%; França (n=19), com 50,50% e; Japão (n=37), com 54,10%.

Ainda em relação à nacionalidade dos trabalhos, é baixo o efetivo dos países latino-americanos. Brasil (n=11) e razão de múltipla nacionalidade de 45,50%; Colômbia (n=9) e razão de 55,60% e; Argentina(n=3) e razão de 66,67%, foram os únicos resultados mapeados no trabalho.



Tabela 4. Países com maiores efetivos de publicações (1991-2020)

País	Total Publicações	Única Nacionalidade¹	Múltipla Nacionalidade²	Razão de Múltipla Nacionalidade³
China	159	115	44	27,70%
Espanha	100	75	25	25%
Estados Unidos	95	66	29	30,50%
Áustria	92	56	36	39,10%
Reino Unido	62	36	26	41,90%
Japão	37	20	10	54,10%
Alemanha	30	17	20	33,33%
Canadá	23	14	9	39,10%
Itália	23	13	9	56,50%
França	19	10	9	54,50%

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do *Software Biblioshiny*. ¹ Afiliação do(s) autor(es) em um único País, segundo metadados da WOS. ² Autores afiliados em diferentes Países, segundo metadados da WOS. ³ Quociente entre múltipla nacionalidade e o total de publicações.

Continuando, a rede de colaboração entre países é ilustrada na Figura 4.

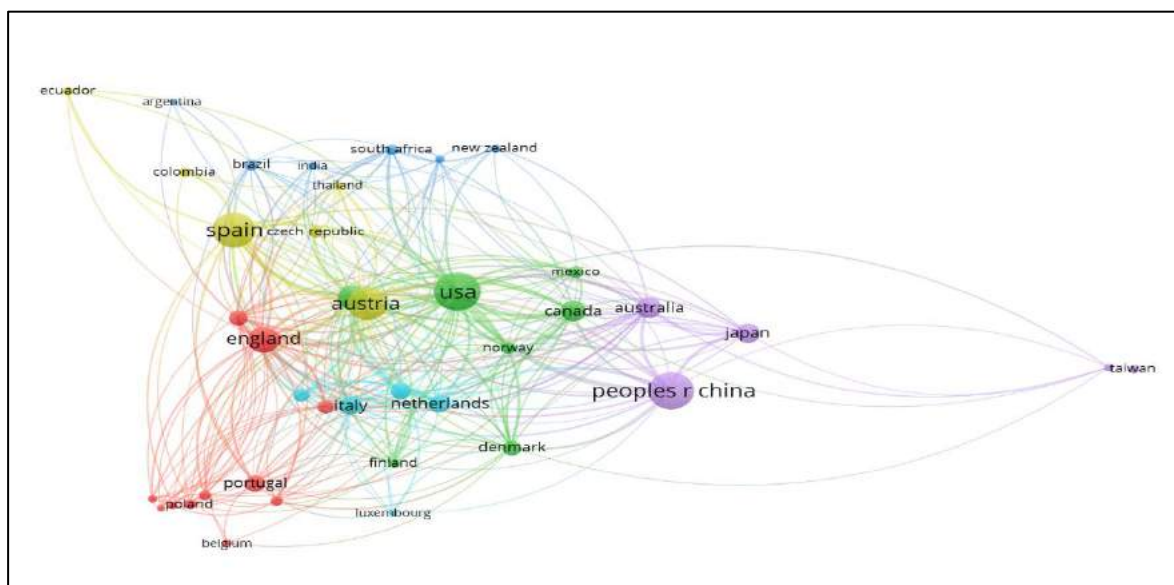


Figura 4. Coautoria: Cooperação entre Países (1991-2020). Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software VOSviewer.

Em relação à rede de coautoria dividida em *clusters*, os países em destaque (maior tipografia) apresentam os maiores efetivos. Apesar de a China despontar em resultados absolutos, a rede formada por Espanha, Áustria e EUA apresenta um número maior de elos de ligações. No caso do Brasil e alguns países da América Latina (canto superior esquerdo), é possível perceber que os mesmos possuem elos de cooperação com a Espanha, muito embora não conformem um *cluster*.

3.2 Cocitações e *Bibliographic Coupling*

A análise de cocitação busca evidenciar níveis de similaridade semântica a partir das evidências que dois ou mais trabalhos

estão sendo citados em conjunto por outros documentos.

Considerando o universo da pesquisa, foram mapeadas dez referências com maior força de cocitação (min=185 menções) na Figura 5, com o aparecimento das obras seminais para as seguintes ramificações: metabolismo urbano (Woman 1965), Metabolismo industrial (Ayres e Simonis, 1994) e sociometabolismo (Fischer-Kowalski e Hüttler 1998).

Os dez trabalhos mais cocitados estão divididos em dois *clusters*: o sociometabolismo em vermelho e o metabolismo urbano em verde, com suas respectivas referências.

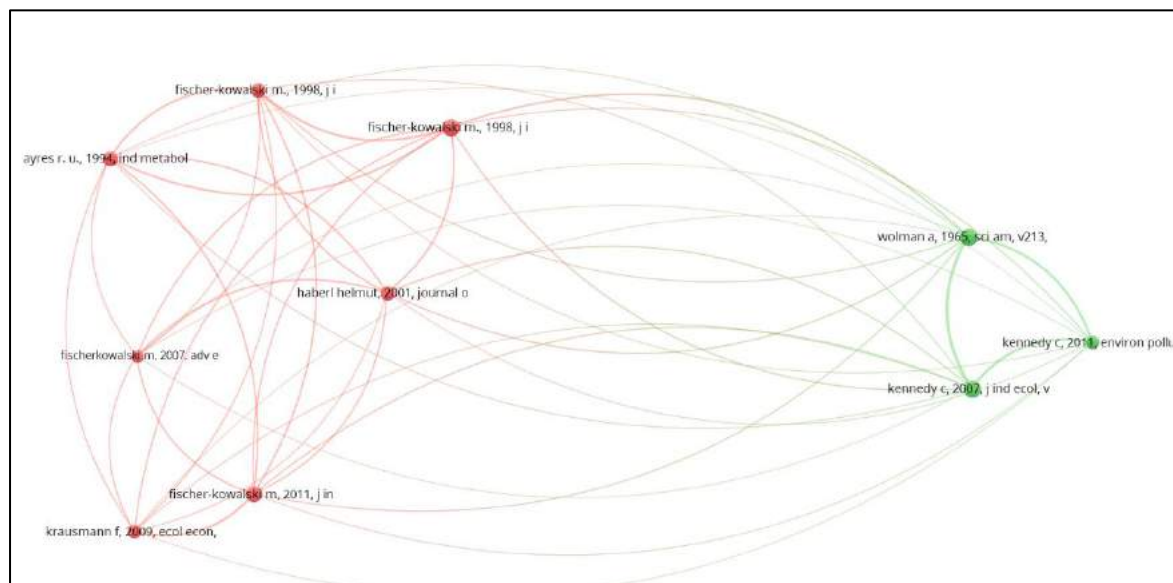


Figura 5. Trabalhos mais cocitados no Mapeamento Bibliométrico (1991-2020). Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software VOSviewer.

O *Bibliographic Coupling*, desenvolvido por Kessler (1963), assemelha-se à análise de cocitação, estabelecendo um grau de similaridade entre os textos. Basicamente, estima a probabilidade de duas ou mais obras (ou autores) tratarem dos mesmos assuntos, a partir das citações em comum.

Foram mapeados os onze autores⁵ mais relevantes (min=12 documentos), cujo mapa de densidade, disposto na Figura 6, aponta com a coloração amarela forte aqueles que possuem mais de 40 ocorrências, enfraquecendo (até a coloração esverdeada) à medida que os resultados diminuem, orbitando em uma média de 15 publicações para os demais.

⁵ Nesse caso, houve um empate de doze documentos para os 10º e 11º autores.

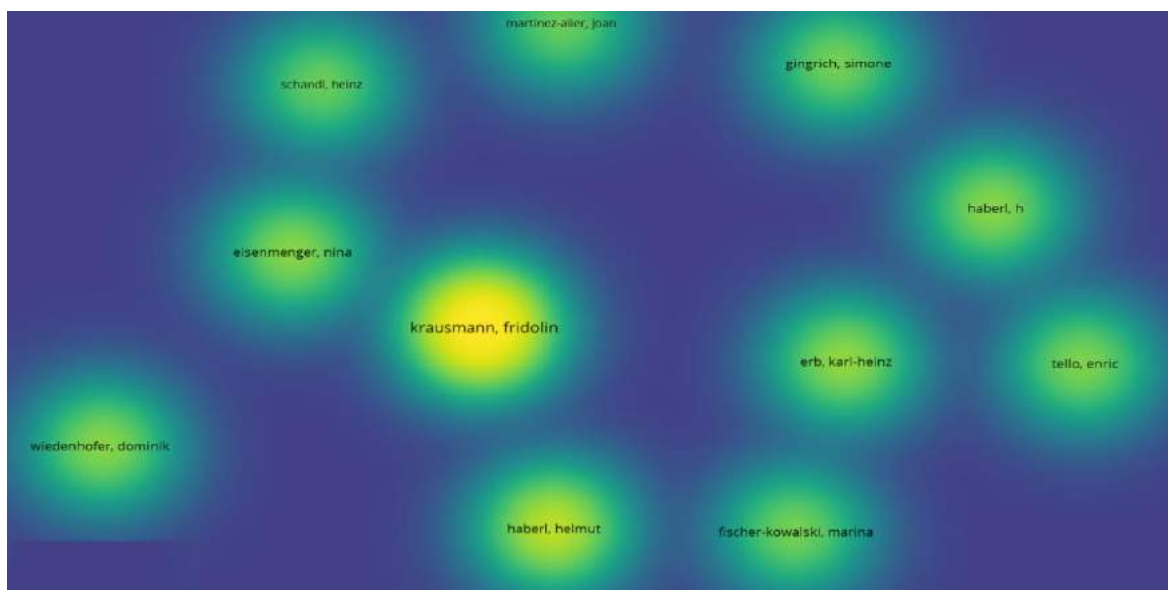


Figura 6. *Bibliographic Coupling*: Autores mais relevantes no Mapeamento Bibliométrico (1991-2020).

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software VOSviewer.

Já em relação aos trabalhos mais citados (*Bibliographic Coupling*), são destacados dez artigos (min=185 menções) no Apêndice 2. Com exceção de dois trabalhos já referenciados, tratam-se de novas obras, com ênfase no estudo de emissões e metabolismo urbano.

3.3 Coocorrências e Análise Temática

A análise bibliométrica de coocorrência (*Co-word Analysis*) busca apreciar um conjunto de vocábulos representativos em determinado campo científico a partir de suas repetições em títulos, resumos, palavras-chaves, descritores e demais identificadores documentais. Sua relevân-

cia reside na compreensão de termos, conceitos ou ideias a partir da extensiva repetição e formações de *clusters*.

A nuvem de palavras constante na Figura 7 descreve as 50 palavras mais mencionadas nos documentos mapeados na pesquisa. Embora o ordenamento dos vocábulos siga um padrão aleatório, os termos com maior efetivo de repetição são alocados em tipografia maior que as demais, além do posicionamento mais centralizado. De tal modo, “metabolismo,” “sustentabilidade”, “consumo” e “energia” foram os termos mais mencionados nos 890 documentos mapeados.



Já o mapa de densidade da Figura 8 lista as palavras-chave mais atribuídas pelos autores em seus documentos, observando se existem padrões de associação. A partir de um mínimo de 8 ocorrências, foram mapeados 44 itens, que se dividem

em 8 *clusters* (diferenciados por cores). Os termos destacados tem como núcleos: “metabolismo social” (laranja), “metabolismo urbano” (vermelho) e “ecologia industrial” (verde).

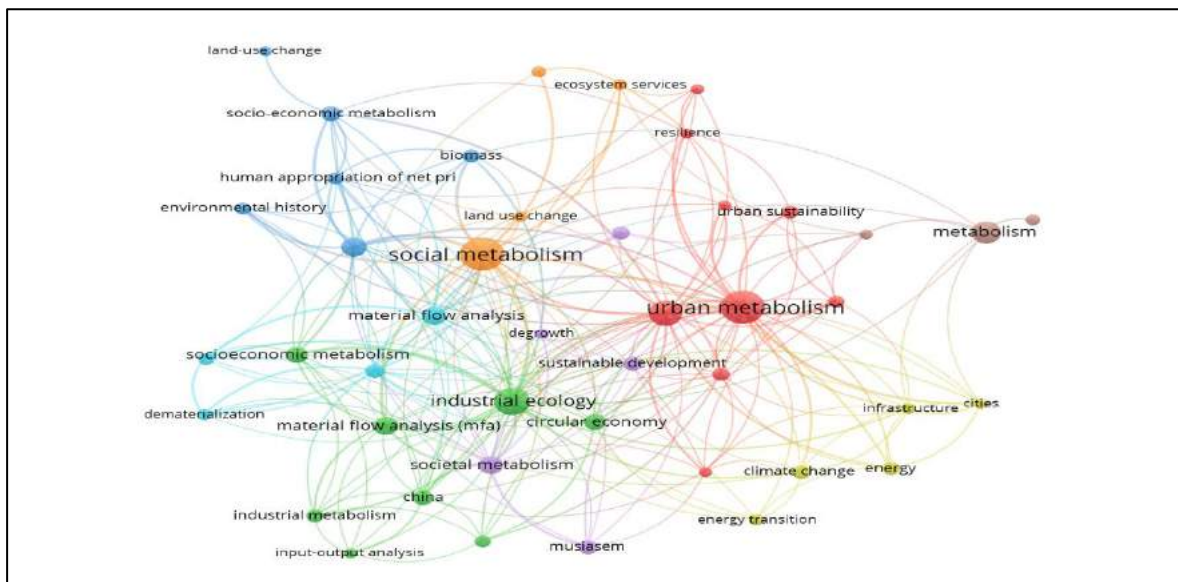


Figura 8. Coocorrência: Palavras-chave atribuídas pelos autores (1991-2020). Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software VOSviewer.

O mapa temático para a pesquisa sociometabólica é ilustrado na Figura 9. Cada *cluster* é segmentado por círculos, e sua dimensão (mapeamento dos vocábulos mencionados em todos os documentos)

indica sua relevância perante aos demais. quadrante superior direito indica os motores, isto é, o tema fundamental para a condução do campo de pesquisa é o “Metabolismo”.

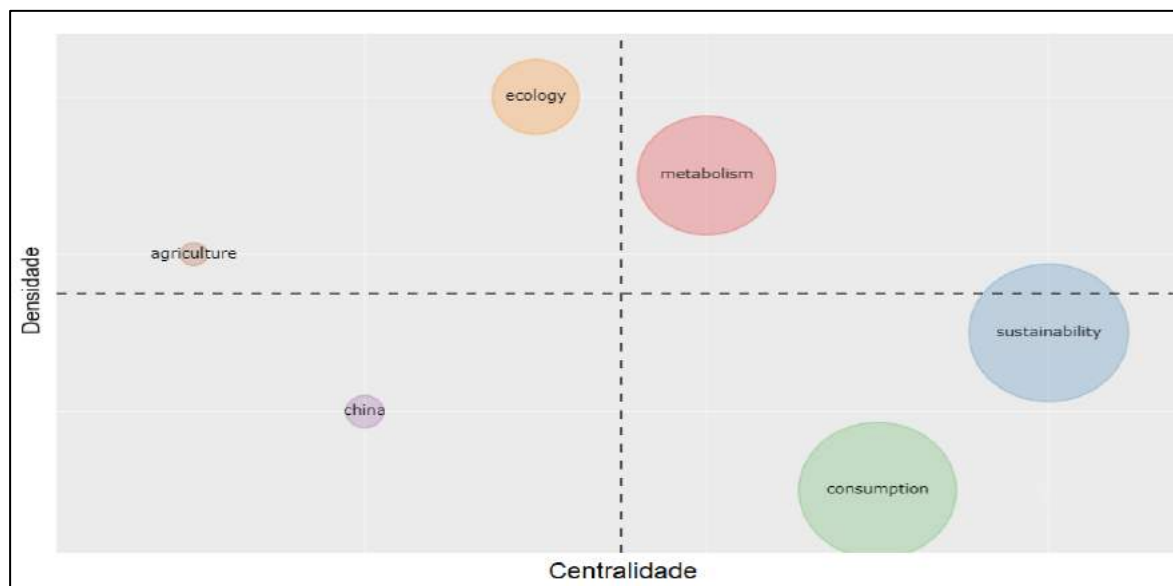


Figura 8. Mapa Temático da Pesquisa Sociometabólica (1991-2020). Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software Biblioshiny.

O quadrante superior esquerdo indica que tópicos ligados à “agricultura” e “ecologia” são áreas básicas e transversais, mas não menos importantes para a pesquisa. Já no quadrante inferior direito incluem-se os temas desenvolvidos e muito especializados, que podem se configurar como áreas de expansão (tornar-se motores): “sustentabilidade” e “Consumo”. Por último, o termo “China”, representado no quadrante inferior esquerdo, apresenta-se como emergente (baixas centralidade e densidade), pois, conforme o levantamento realizado, há uma expansão publicações envolvendo a China nos últimos anos.

3. Considerações finais

O sociometabolismo está intrinsecamente ligado à economia ecológica uma vez que busca interpretar, do ponto de vista biofísico, os processos econômicos e sociais, fornecendo pistas sobre a (in)sustentabilidade dos países. É desejável e importante, portanto, compreender a dinâmica e trajetória das investigações sociometabólica enquanto ferramenta teórico-metodológica relevante dentro da pesquisa econômico-ecológica mais ampla. Este estudo utilizou o mapeamento bibliométrico da área, que possibilitou aferir algumas nuances acerca da pesquisa sociometabólica, enfatizando sua natureza contemporânea em função do volume significativo (e crescimento) de trabalhos publicados na última década.



A síntese dos indicadores utilizados permite afirmar que o desenvolvimento da pesquisa sociometabólica possui as seguintes características: (1) os pesquisadores europeus, principalmente vinculados à Áustria, assumem um protagonismo na produção científica do MSE, com forte influência (e coautoria) da Espanha; (2) tomando-se por base as publicações mais referenciadas (Apêndice 1), é possível afirmar que o metabolismo socioeconômico é frequentemente utilizado como principal ferramenta metodológica em pesquisas sobre emergência climática, dinâmica de emissões e transições socioecológicas; (3) o MSE apresenta fortes conexões com o metabolismo urbano, corroborando os resultados de Cui (2018); (4) existe uma maior aderência da temática em periódicos ligados à economia ecológica e ciências ambientais, e; (5) o mapa temático mensura a possibilidade de estudo futuros em temas que unam o sociometabolismo ao consumo material, ecologia e sustentabilidade.

Entretanto, alguns gargalos também se fizeram presentes: (1) Apesar do interesse global por novos padrões de consumo material (Pauliuk e Müller 2014), a colaboração entre países não demonstrou resultados expressivos, o que é refletido na concentração das publicações em língua inglesa; (2) o volume de publicações é concentrado em 8 nações, tendo a China como a grande protagonista e; (3) mesmo com a convergência entre sociometabolismo e economia ecológica, é necessária uma

maior aproximação entre dois campos por meio de redes de coautorias. Uma importante interface é a emergente área de macroeconomia ecológica. Com relação a este último ponto, é importante lembrar que a economia ecológica e sociometabolismo são áreas conceitualmente interligadas e com raízes teóricas comuns. É sintomática a ausência de economistas ecológicos tradicionais na lista daqueles mais influentes na pesquisa sociometabólica. A exceção notória é Joan Martinez-Alier.

Outro ponto também chama a atenção: verificou-se um baixo efetivo de autores e, consequentemente, um reduzido número de instituições latino-americanas com resultados significativos. Apesar de ser uma região marcada pelo intenso intercâmbio material, a produção bibliográfica e um maior quantitativo de interconexões são lacunas a serem preenchidas. Reconhece-se, contudo, que esta pesquisa utilizou apenas termos em inglês, o que pode sugerir que investigações sobre MSE na América Latina estão majoritariamente em espanhol e/ou português.

Por fim, uma recomendação para futuros estudos bibliométricos reside nas diversas metodologias existentes para aferição do sociometabolismo. Além da tradicional contabilidade de fluxos materiais, é possível o mapeamento bibliométrico das demais abordagens emergentes, como a análise integrada em várias escalas do metabolismo da sociedade e do ecossistema (MuSIASEM) e o metabolismo hídrico.



Referências

- Almind, T.C. e P Ingwersen., 1997. Informetric analyses on the world wide web: methodological approaches to 'webometrics'. *Journal of Documentation*.
- Alvarez-Melgarejo, M. e M.L. Torres-Barreto., 2018. Resources and capabilities from their very outset: A Bibliometric comparison between Scopus and the web of science. *Rev. Eur. Stud.* Vol. 10:, No. 4: 1-30.
- Araújo, A. H. D. S., Andrade, D. C., Souza H. F. D, 2019. Metabolismo socioeconômico (MSE): Construção Conceitual e Convergência com a Economia Ecológica (EE). *Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 31: 127-143.
- Ayres, R. U. e Simonis, U. E. (Eds.). 1994. *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development* (Vol. 376). Tokyo: United Nations University Press.
- Bendels, M. H., Müller, R., Brueggmann, D., Groneberg, D. A., 2018. Gender disparities in high-quality research revealed by Nature Index journals. *PloS one*, Vol. 13, No. 1: e0189136.
- Björneborn, L., Ingwersen, P., 2001. Perspective of webometrics. *Scientometrics*, Vol. 50, No. 1: 65-82.
- Bradford, S.e. Sources of information on scientific subjects, 1934. *Engineering* Vol. 137: 85-6.
- Broadus, R. N., (1987. Toward a definition of "bibliometrics". *Scientometrics* Vol. 12, No. 5: 373-379.
- Brunner, P. H., 1991. *Metabolism of the Anthroposphere*. Berli: Springer Verlag.
- Callon, M., Courtial, J. P., Laville, F., 1991. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. *Scientometrics* Vol. 22, No. 1: 155-205.
- Clark, B., York, R., 2005. Carbon metabolism: Global capitalism, climate change, and the biospheric rift. *Theory and Society* Vol. 34, No. 4: 391-428.
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., Herrera, F. 2011. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. *Journal of Informetrics* Vol.5: 1-30.
- Cui, X. 2018. How can cities support sustainability: A bibliometric analysis of urban metabolism. *Ecological Indicators* Vol. 93: 704-717.
- Decker, E. H., Elliott, S., Smith, F. A., Blake, D. R., Rowland, F. S., 2000. Energy and material flow through the urban ecosystem. *Annual Review of Energy and the Environment* Vol. 25, No. 1: 685-740.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., Lim, W. M. 2021. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research* Vol. 133: 285-296.
- Ellis, E. C. 2015. Ecology in an anthropogenic biosphere. *Ecological Monographs* Vol. 85, No. 3: 287-331.
- Fischer-Kowalski, M., Hüttler, W., 1998. Society's Metabolism: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology* Vol. 2, No. 4: 107-136.
- Fischer-Kowalski M., Weisz H., 1999. Society as a hybrid between material and symbolic realms. Toward a theoretical framework of society-nature interaction. *Advances in Human Ecology* Vol. 8: 215-51.
- Giampietro, M., Mayumi, K., Ramos-Martin, J., 2009. Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale. *Energy* Vol. 34, No. 3: 313-322.



- Giannakos, M., Papamitsiou, Z., Markopoulos, P., Read, J., Hourcade, J. P. 2020. Mapping child-computer interaction research through co-word analysis. *International Journal of Child-Computer Interaction* Vol. 23: 100-165.
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Heinz, M. 2015. How circular is the global economy? : An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. *Journal of Industrial Ecology* Vol. 19, No. 5: 765-777.
- Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Weisz, H., Winiwarter, V., 2004. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. *Land Use Policy* Vol. 21, No. 3: 199-213.
- Hirsch, J. E., 2007. Does the h index have predictive power?. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Vol. 104, No. 49: 19193-19198.
- Huisingh, D., Zhang, Z., Moore, J. C., Qiao, Q., Li, Q. 2015. Recent advances in carbon emissions reduction: policies, technologies, monitoring, assessment and modeling. *Journal of Cleaner Production* Vol. 103: 1-12.
- Infante-Amate, J., de Molina, M. G., Toledo, V. M. 2017. El metabolismo social. Historia, métodos y principales aportaciones. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 27: 130-152.
- Infante-Amate, J., Urrego Mesa, A., Tello Araguay, E. 2020. Las venas abiertas de América Latina en la era del antropoceno: un estudio biofísico del comercio exterior (1900-2016). *Diálogos Revista Electrónica de Historia*, Vol. 21, No. 2: 177-214.
- Kennedy, C., Cuddihy, J., Engel-Yan, J., 2007. The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 11, No. 2: 43-59.
- Kennedy, C., Pincetl, S., Bunje, P. 2011. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution* Vol. 159, No. 8-9: 1965-1973.
- Kennedy, C., Steinberger, J., Gasson, B., Hansen, Y., Hillman, T., Havranek, M., Mendez, G. V., 2009. Greenhouse gas emissions from global cities. *Environmental Science & Technology* Vol. 43, No. 19: 7297-7302.
- Kennedy, C., Steinberger, J., Gasson, B., Hansen, Y., Hillman, T., Havránek, M., Mendez, G. V. 2010. Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities. *Energy Policy* Vol. 38, No. 9: 4828-4837.
- Kessler, M. M., 1963. Bibliographic coupling between scientific papers. *American Documentation* Vol. 14, No. 1: 10-25.
- Krausmann, F., 2004. Milk, manure, and muscle power. Livestock and the transformation of preindustrial agriculture in Central Europe. *Human Ecology* Vol. 32, No. 6: 735-772.
- Krausmann, F., Erb, K. H., Gingrich, S., Lauk, C., Haberl, H., 2008. Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. *Ecological Economics* Vol. 65, No. 3: 471-487.
- Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Schandl, H., Eisenmenger, N., 2008. The global sociometabolic transition: past and present metabolic profiles and their future trajectories. *Journal of Industrial Ecology* Vol. 12, No. 5-6: 637-656.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K. H., Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., 2009. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics* Vol. 68, No. 10: 2696-2705.
- Krausmann, F., Haberl, H., 2002. The process of industrialization from the perspective of energetic metabolism: Socioeconomic energy



flows in Austria 1830–1995. *Ecological Economics* Vol. 41, No. 2: 177-201.

Krausmann, F., Schandl, H., Sieferle, R. P., 2008. Socio-ecological regime transitions in Austria and the United Kingdom. *Ecological Economics*: 65, No. 1: 187-201.

Leite, R. A. S., Da Silva, M. B., de Aragão, I. M., Camargo, M. E. 2019. Bibliometria como trilha de conhecimento e pesquisa. V ENPI- Encontro Nacional de Propriedade Intelectual, 16 a 18 de maio, 2019, Florianópolis, Brasil, p. 1094-1105.

Liedtke, C., Bienge, K., Wiesen, K., Teubler, J., Greiff, K., Lettenmeier, M., Rohn, H. 2014. Resource use in the production and consumption system—The MIPS approach. *Resources* Vol. 3, No. 3: 544-574.

Lotka, A. J., 1926. Elements of physical biology. *Science Progress in the Twentieth Century (1919-1933)* Vol. 21, No. 82: 341-343.

Luis, E. C., Celma, D. 2020. Circular economy. A review and bibliometric analysis. *Sustainability* Vol. 12, No. 16: 6381-6409.

Martinez-Alier, J., Kallis, G., Veuthey, S., Walter, M., Temper, L. 2010. Social metabolism, ecological distribution conflicts, and valuation languages. *Ecological Economics* Vol. 70, No. 2: 153-158.

McClintock, N. 2010. Why farm the city? Theorizing urban agriculture through a lens of metabolic rift. *Cambridge journal of regions. Economy and Society* Vol. 3, No. 2: 191-207.

Nalimov, V. V., Mul'chenko, Z. M., 1971. Measurement of Science. Study of the Development of Science as an Information Process.

Newman, P. W., 1999. Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning* Vol. 44, No. 4: 219-226.

Norgaard, R. B., 1989. The case for methodological pluralism. *Ecological Economics* Vol. 1, No. 1: 37-57.

Pataki, D. E., Alig, R. J., Fung, A. S., Golubiewski, N. E., Kennedy, C. A., McPherson, E. G., Romero Lankao, P., 2006. Urban ecosystems and the North American carbon cycle. *Global Change Biology* Vol. 12, No. 11: 2092-2102.

Parra, M. R., Coutinho, R. X., Pessano, E. F. C. 2019. Um breve olhar sobre a cienciometria: origem, evolução, tendências e sua contribuição para o ensino de ciências. *Revista Contexto & Educação* Vol. 34, No. 107: 126-141.

Pauliuk, S., Müller, D. B. 2014. The role of in-use stocks in the social metabolism and in climate change mitigation. *Global Environmental Change* Vol. 24: 132-142.

Schandl, H., Schulz, N., 2002. Changes in the United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land-use from 1850 to the present day. *Ecological Economics* Vol. 41, No. 2: 203-221.

Sharifi, A. 2021. Urban sustainability assessment: An overview and bibliometric analysis. *Ecological Indicators* Vol. 121:107-132.

Sneegas, G., Beckner, S., Brannstrom, C., Jepson, W., Lee, K., Seghezze, L. 2021. Using Q-methodology in environmental sustainability research: A bibliometric analysis and systematic review. *Ecological Economics* Vol. 180: 1-14.

Tanguy, A., Bahers, J. B., Athanassiadis, A. 2020. Outsourcing of urban metabolisms and its consequences: A multiscale energy flow analysis of a French port-city. *Resources, Conservation and Recycling* Vol. 161: 104-951.

Van Eck, N. J., Waltman, L., 2007. VOS: A new method for visualizing similarities between objects. In Decker, R. e H.-J. Lenz (Eds.) *Advances in Data Analysis*.



Proceedings of the 30th Annual Conference of the Gesellschaft für Klassifikation e.V., Freie Universität Berlin, March 8-10, 2006. Berlin: Springer.

Van Eck, N. J., Waltman, L. 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* Vol. 84, No. 2: 523-538.

Vanti, N. A. P., 2002. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. *Ciência da Informação* Vol. 31: 369-379.

Weisz, H., Krausmann, F., Amann, C., Eisenmenger, N., Erb, K. H., Hubacek, K., Fischer-Kowalski, M., 2006. The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption. *Ecological Economics* Vol. 58, No. 4: 676-698.

Wang, B., Zhang, Q., Cui, F. 2021. Scientific research on ecosystem services and human well-being: A bibliometric analysis. *Ecological Indicators* Vol. 125: 107-449.

Wolman, A., 1965. The metabolism of cities. *Scientific American* Vol. 213, No. 3: 178-193.

Zipf, G. K., 1949. Human behaviour and the principle of least-effort. Cambridge, Massachusetts: Addison-Wesley.

Zhang, C. Fang, Y., Chen, X., Congshan, T. 2019. Bibliometric analysis of trends in global sustainable livelihood research. *Sustainability*, Vol. 11, No. 4:1150.

Zupic, I., Čater, T. 2015. Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods* Vol. 18, No. 3: 429-472.

APÊNDICE

Apêndice 1. Publicações mais citadas no Mapeamento Bibliométrico.

Autor (es)	Ano	Nome do Artigo	Periódico	Citações mapeadas	Citações globais ¹	Citações Google ²
Krausmann F. et al.	2009	<i>Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century</i>	EE	46	523	1264
Krausmann F. et al.	2008	<i>The global sociometabolic transition: past and present metabolic profiles and their future trajectory</i>	JIC	38	169	414
Schandl, H.; Schulz, N.	2002	<i>Changes in the United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land-use from 1850 to the present day</i>	EE	35	91	180
Krausmann, F.; Haberl, H.	2002	<i>The process of industrialization from the perspective of energetic metabolism: Socioeconomic energy flows in Austria 1830–1995</i>	EE	30	81	204
Krausmann F. et al.	2008	<i>Global patterns of socioeconomic biomass flow in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints</i>	EE	30	204	416
Krausmann, F.	2004	<i>Milk, manure, and muscle power. Livestock and the transformation of preindustrial agriculture in Central Europe</i>	HU ³	29	103	213



Autor (es)	Ano	Nome do Artigo	Periódico	Citações mapeadas	Citações globais ¹	Citações Google ²
Weisz, H. et al.	2006	<i>The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption</i>	EE	29	146	328
Giampietro, M. et al.	2009	<i>Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale.</i>	E	26	126	261
Martinez-Alier, J. et al.	2010	<i>Social metabolism, ecological distribution conflicts, and valuation languages.</i>	EE ⁴	25	129	339
Krausmann, F. et al.	2008	<i>Socio-ecological regime transitions in Austria and the United Kingdom</i>	EE	24	101	242

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software Biblioshiny. 1) Total de Citações na WOS. 2) Google Acadêmico: Buscador de metadados da literatura científica. 3) HU: *Human Ecology*. 4) E: *Energy*.

Apêndice 2. Bibliographic Coupling: Trabalhos mais Referenciados.

Autor (es)	Ano	Nome do Artigo	Periódico	Citações mapeadas	Citações globais¹	Citações Google²
Krausmann F. et al.	2009	<i>Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century</i>	EE	46	523	1264
Biro, P. A.; Stamps, J. A..	2010	<i>Do consistent individual differences in metabolic rate promote consistent individual differences in behavior?</i>	TEE ³	9	501	702
Kennedy, C. et al.	2009	<i>Greenhouse gas emissions from global cities</i>	EST ⁴	14	382	686
Haas, W. et al.	2015	<i>How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005.</i>	JIC	15	376	834
Ellis, E. C.	2015	<i>Ecology in an anthropogenic biosphere</i>	EMO ⁵	0	277	555
Pataki, D. E. et al.	2006	<i>Urban ecosystems and the North American carbon cycle</i>	<i>Global Change Biology</i> ⁶	0	256	484
Kennedy, C., et al.	2010	<i>Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities</i>	EP ⁷	0	241	430
McClintock, N.	2010	<i>Why farm the city? Theorizing urban agriculture through a lens of metabolic rift.</i>	CRE ⁸	0	213	570
Krausmann F. et al.	2008	<i>Global patterns of socioeconomic</i>	EE	30	204	416



Autor (es)	Ano	Nome do Artigo	Periódico	Citações mapeadas	Citações globais ¹	Citações Google ²
		<i>biomass flow in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints</i>				
Huisingh, D. et al.	2015	<i>Recent advances in carbon emissions reduction: policies, technologies, monitoring, assessment and modeling</i>	JCP	0	182	256

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso dos Softwares VOSviewer e Biblioshiny. 1) Total de Citações na WOS (parâmetro considerado pelo VOSviewer). 2) Google Acadêmico: Buscador de metadados da literatura científica. 3) *Trends in ecology & Evolution*. 4) *Environmental Science & Technology*. 5) *Ecological Monographs*. 6) *Global Change Biology*. 7) *Energy Policy*. 8) *Cambridge journal of regions, Economy and Society*.